

## Komentář k článku R. Ladburyho

*Alena Janáčková a Ctirad Matyska, Praha*

Článek R. Ladburyho upozorňuje na vytvoření počítačového modelu ukazujícího, že nelineární dynamický systém, který je popsán základními rovnicemi magneto-hydrodynamiky (Navierovou–Stokesovou rovnicí v Boussinesqově přiblížení, rovnicí přenosu tepla a Maxwellovými rovnicemi v kvazistacionárním přiblížení), skutečně umožňuje udržet magnetické pole při svém vnitřním vývoji, je-li do něj dodávána energie. Euforie, která je v autorově popisu patrná, je snadno pochopitelná. Přestože není přinášěn žádný nový princip, jde o první dynamický model, protože dosavadní úvahy o udržování geomagnetického pole byly založeny na kinematických představách o proudění v jádře Země a nebylo prokázáno, zda výše uvedený dynamický systém takové vhodné proudění vytváří. Laboratorní simulace tohoto systému pro parametry odpovídající Zemi nejsou možné, a tak pouze počítačové simulace mohou zachytit jeho dynamiku.

Doba vývoje modelu je však ještě příliš krátká (pouze několiknásobek magnetického difuzního času), takže si nemůžeme být jisti, zda stav modelu je již dostatečně blízko atraktoru uvažovaného dynamického systému. Jinými slovy, není zřejmé, zda takové efekty jako přepólování magnetického pole nejsou zatím pouze důsledkem náběhového stavu. Další potíž je v tom, že pro dlouhodobé zachycení magneto-hydrodynamiky nízkoviskózní kapaliny, která je asi charakteristická pro jádro Země, jsou současné výpočetní prostředky nedostatečné. Autoři modelu proto potlačují krátkovlnnou část spektra (v prostoru i času) umělým zvýšením viskozity. Je samozřejmě otázkou, jak takový zásah mění charakteristiky dlouhovlnné části spektra, která je s krátkovlnnou spřažena díky nelinearitě systému. Otevřeným problémem proto je, na základě jakých kritérií rozhodnout, zda dynamika Glatzmaierova a Robertsova modelu může vystihnout skutečné základní charakteristiky dynamiky zemského jádra, nebo zda jde o model, který „pouze“ vnitřně konzistentním způsobem zachycuje princip mechanismu umožňujícího generování magnetických polí.

Protože článek R. Ladburyho je, jak již bylo řečeno, euforický a ze samé radosti nad novým úspěchem opomíjí předchozí vývoj teorie, připojme ještě následující historickou poznámku. Intenzivní studie o buzení a udržování geomagnetického pole tak zvaným geodynamem začaly asi před padesáti lety. Bylo především třeba usmířit představu geodynamu se všemi postuláty fyziky, to jest vyvrátit všechny možné námitky, které by mohly vést k závěru, že geodynamo je fyzikálně nemožné. Možnost funkce geodynamu byla prokázána již v polovině století pracemi britského geofyzika Edmunda Cripse Bullarda, zejména jeho modelem tak zvaného diskového dynamu. Je méně známo, že Bullardovy práce o diskovém neboli homopolárním dynamu navázaly na práce britského fyzika Josepha Larmora z let 1918 a 1919 o magnetickém poli Slunce. V těch

---

RNDr. ALENA JANÁČKOVÁ, CSc. (1932), doc. RNDr. CTIRAD MATYSKA, CSc. (1958), katedra geofyziky MFF UK, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8.

byla poprvé formulována představa dynamu udržujícího magnetické pole v rotujícím tělese. Larmor sám již nadhodil, že by se jeho úvahy mohly týkat i magnetického pole Země.

K převzetí a rozpracování Larmorovy myšlenky došlo až po třiceti letech. Důvodem tohoto odkladu byl mimo jiné tak zvaný antidynamový teorém britského fyzika Thomase Geoga Cowlinga z roku 1934. V Cowlingově článku, týkajícím se magnetického pole slunečních skvrn, se dokazuje, že magnetické pole, které je symetrické kolem osy, se nemůže udržet žádným systémem pohybů. Tuto překážku bylo třeba překonat, neboť uváděla v pochybnost celou ideu geodynamu. Této věci bylo věnováno mnoho úsilí. Již Bullard a Gellman se v roce 1954 pokusili o numerické řešení rovnic geodynamu v jádře, získali dokonce určité nadějně výsledky, ale nakonec se ukázalo, že jejich řešení nekonverguje. Za dostatečný důkaz překonání „antidynamu“ byly nakonec přijaty zjednodušené fyzikální diskové modely, například Herzenbergovo dynamo a Backusovo dynamo, obě z roku 1958. K překonání „antidynamu“ významně přispěl S. I. Braginskij. Ten v sedmdesátých letech rozpracoval v řadě prací model tzv. geodynamu s malou odchylkou od symetrie, který byl mezinárodně přijat jako rozumný.

Mnoho diskusí se vedlo o předávání energie mezi dvěma typy magnetických polí v jádře. Je všeobecná shoda v tom, že kromě poloidálního typu pole, který vystupuje z jádra na zemský povrch, existuje v jádře ještě pole toroidální čili pole, jehož siločáry probíhají po sférických plochách uvnitř jádra a nelze je pozorovat na zemském povrchu. Obě tato pole jsou přitom řešením Maxwellových rovnic. Existence obou polí je nadto ospravedlněna i energetickými úvahami. Protože v kapalině zemského jádra jsou siločáry magnetického pole, jak se všeobecně soudí, „vrostlé“ do hmoty a pohybují se spolu s ní a protože je dále pravděpodobné, že v této vrstvě dochází k diferenciální rotaci, lze si poměrně snadno vysvětlit, jak toroidální pole vznikají z polí poloidálních. Obrácený děj, vytváření polí poloidálních z toroidálních, však dlouho odolával vysvětlení. Tento hlavolam byl v šedesátých letech úspěšně zdolán týmem německých geofyziků, kteří vypracovali teorii středních polí a tzv. alfa-efektu. Tato teorie popisuje, jak magnetické pole jednoho typu může při splnění určitých, nikoli nereálných předpokladů ve statistickém průměru zplodit pole druhého typu prostřednictvím prostorově omezeného pole turbulentních rychlostí. Řešení těchto otázek je v modelu implicitně zahrnuto, protože jde o numerické řešení magnetohydrodynamických rovnic v úplném tvaru.

Řada prací byla věnována vazbám mezi pláštěm a svrchními vrstvami jádra. Jde o vazby, které mohou bránit vzájemnému skluzu jádra a pláště při rotaci. Vazby mohou být mechanické i elektromagnetické. Ty druhé se studují těžko, protože elektrická vodivost obou objektů je odhadnuta prozatím nedostatečně. K možnostem mechanických vazeb patří, kromě evidentního viskózního tření na rozhraní, tzv. Taylorův sloupec, jehož existence plyne z Proudmanova–Taylorova teorému. Podle tohoto teorému mají hrboly na rozhraní mezi pláštěm a jádrem ten důsledek, že se nad nimi rychlost kapaliny ve směru rovnoběžném s rotační osou nemění a vzhledem k hraniční podmínce tedy zůstává v celém sloupci kapaliny nad hrbolem prakticky nulová, takže sloupec funguje v kapalině jako pevné těleso.

Zůstává otázkou, zda některé zjednodušující předpoklady v modelu Glatzmaiera a Robertse přece jen v něčem neznásilňují realitu. Tak například zesílení viskozity by

mohlo potlačovat turbulence rychlosti, které mohou mít zásadní význam při interakci mezi toroidálním a poloidálním polem (alfa-efekt). Bude též zajímavé sledovat, zda model bude schopen odrazit určité faktické rysy pomalé časové variace geomagnetického pole, například to, že v obdobích, kdy probíhají inverze polarity, putují geomagnetické póly vždy přibližně po týchž drahách (alespoň pokud jde o několik posledních inverzí). Tento jev možná svědčí právě o nějakém systematickém prvku vazby mezi jádrem a pláštěm, který může patřit ke klíčovým v chování celého dynama. Naše dosavadní představy o dlouhodobém průběhu konvekce v plášti a paleomagneticky získané údaje o inverzích pole sice prozatím nepotvrzují, ale také nevyvracejí možnost, že vývoj zemského jádra i pláště jsou nějakým způsobem spřaženy.

Doufejme jen, že na průlom při řešení těchto otázek nebudeme muset čekat další desetiletí. Ladburyho způsob propagace modelu trochu připomíná americkou komerční reklamu, ale to neznamená, že bychom neměli mít důvěru v solidnost nové metody.

## Třetí Newtonův zákon a necentrální síly

Jan Obdržálek, Praha

Článek rozebírá třetí Newtonův zákon a dokazuje nevhodnost zúžení jeho platnosti na síly centrální. Vyšetřují se podrobně síly statické až kvazistacionární; nestacionární silová pole se neuvažují.

Článek byl podrobně prodiskutován na autorově pracovišti (katedra teoretické fyziky na Matematicko-fyzikální fakultě Karlovy univerzity) jako jeden z podkladů k tvorbě výkladového slovníku fyziky spolupřipravovaného autorem.

### 1. Zákony mechaniky

#### 1.1. Newtonovský popis

V newtonovské mechanice je hlavním objektem studia mechanické *těleso*. Vzájemnou interakci (vzájemné působení) těles popisujeme pojmem *síly*: říkáme, že na těleso působí síla, resp. síly, a zabýváme se jejich statickými či dynamickými účinky. (Naproti tomu např. v analytické mechanice popisujeme vzájemnou interakci nikoli vektorovou silou, ale skalárním lagranžianem<sup>1</sup>) či hamiltoniánem).

<sup>1</sup>) Z jazykového hlediska viz např. [2].