

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Josef Olmr; Štefan Pintér
Sluneční vítr

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 20 (1975), No. 2, 84--90

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138557>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1975

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>

Sluneční vítr

Josef Olmr, Ondřejov

Štefan Pintér, Hurbanovo

I.

Slunečním větrem rozumíme tok elektricky nabitých částic, zejména elektronů a protonů, pocházejících ze Slunce a šířících se do meziplanetárního prostoru. Dnes se existence slunečního větru obecně přijímá, neboť tok částic byl zjištěn pomocí detektorů na četných družicích a sondách, např. na některých družicích typu Pioneer, Luník, Explorer, Veněra a Vela. (Viz seznam družic a sond měřících sluneční vítr str. 86.)

První experimentální zjištění slunečního větru pochází od BIERMANNA z roku 1951. Bylo odvozeno z pozorování komet a formy jejich ohonů, na základě pozorování HOFFMEISTROVA (obr. 1). Před Hoffmeistrem a Biermannem předvíдали nebo spíše tušili — tedy bez experimentálního ověření — sluneční vítr BIERKELAND, FITZGERALD, LODGE aj. Usuzovali na něj ze skutečnosti, že po velkých slunečních erupcích se zvýšila intenzita polárních září.

Protože komety nejsou vždy po ruce, přišel Biermann na myšlenku ověřit si existenci slunečního větru tím, že by byl vypuštěn do meziplanetárního prostředí umělý oblak sodíku nebo barya; takto uměle vytvořené oblaky se pozvolna ionizují v důsledku fotoionizace. Ionty jsou zajaty siločarami magnetického pole; oblak se prodlužuje podle siločar. Aby existence slunečního větru byla očividná, byly provedeny rovněž pokusy uvnitř magnetosféry, tedy v prostředí, kde sluneční vítr nepůsobí.

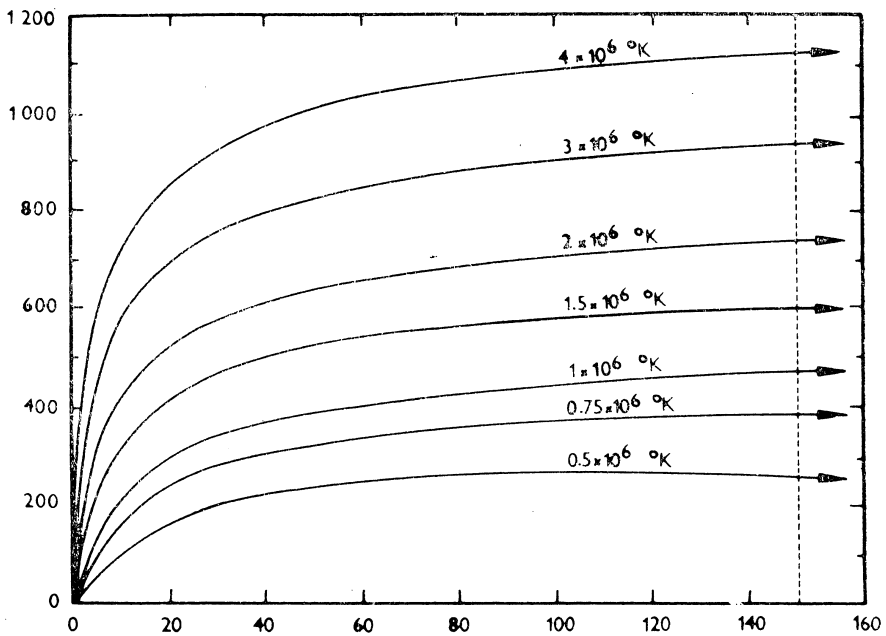
Po prvních pokusech Biermannových otázku slunečního větru teoreticky první propracoval E. N. PARKER. Jeho teorie byla přijímána zpočátku s nedůvěrou; dnes se po pokusech se sondami a družicemi po doplnění obecně uznává.

Parker vychází z toho, že sluneční koróna není stav statický. Původně se myslelo, že částice, z nichž se skládá koróna, zůstávají v klidu v důsledku hydrostatické rovnováhy. Podle Parkera, jehož model koróny se dnes obecně přijímá, koróna je v neustálé expanzi a částice — různé ionty, protony, elektrony, urychlené na únikovou rychlost, která je pro Slunce asi 800 km/s, odcházejí ze Slunce do meziplanetárního prostoru. Matematické vyjádření vede k řadě křivek vyjadřujících rychlost expanse jako funkci vzdálenosti; teplota je parametrem.

Detektory na sondách a družicích bylo možno zjistit řadu parametrů částic slunečního větru, zejména jejich rychlost, hmotu a teplotu. Souběžně se zkoumala i intenzita, směr a fluktuace magnetického pole. Z Měsíce pak byly přivezeny na Zem vzorky sebraných částic zvláštními přístroji, což dovolilo určit složení slunečního větru. V okolí Země průměrná rychlost slunečního větru činí 300 až 400 km/s a hustota je asi 5 až 10 částic na cm^3 . Tyto údaje se podstatně mění vlivem aktivních procesů na Slunci, zejména erupcí. Složení slunečního větru je proměnlivé, ale hlavními složkami jsou elektrony



Obr. 1. Mrkosova kometa (1957 d). Na obrázku je možno vidět dva ohony, jeden z plazmy, druhý z prachu: liší se svou formou. Je vidět působení slunečního větru.



Obr. 2. Graf znázorňuje rychlost částic (v km/s) jako funkci vzdálenosti (v km). Teplota je parametrem.

Meziplanetární sondy a družice měřící sluneční vítr

Družice	Vypuštěna	Apogeum	Poznámka
Pionner 1	11. října 1958	18,6	Měření od 12. 3. – 14. 8. R_z
Pioneer 4	3. března 1959		
Luník 2	12. září 1959		200 eV < E < 20 keV
Luník 3	4. října 1959		
Pioneer 5	3. března 1960		
Veněra 1	12. února 1961	46,6	E > 50 eV
Explorer 10	25. března 1961	46,6	
Explorer 12	15. srpna 1961	13,1	
Mariner II	27. dubna 1961		Výzkum Venuše
Explorer 18 (IMP-1)	27. listopadu 1963		Perigeum 169 km Apogeum 264 247 km
Vela II A + B (1964-4 A + B)	17. července 1964		
Vela III A + B (1965-58 A + B)	20. července 1965		
Pioneer VI (1965-105 A)	16. prosince 1965		Perihelium 0,81 AU Afel 0,99 AU
Explorer 33 (AIMPI) (1966-58 A)	1. července 1966		Perigeum 40 800 km Apogeum 476 231
Pioneer VII (1966-75 A)	17. srpna 1966		Perihelium 1.01 AU Afel 1.13 AU
Mariner V (1967-60 a)	14. června 1967		Perihelium 0,56 AU, Afel 0.73 AU
Explorer 34 (1970-40 A-B)	24. května 1967		Perigeum 242 km Apogeum 214 382 km
Vela IV A + B (1967-40 A + B)	28. dubna 1967		Apogeum 115 227 km Perigeum 107 185 km
Explorer 35 (1967-70 A)	10. července 1967		Kolem Měsíce Nejbližší vzd. 805 km Největší vzd. 7400 km
Pioneer VIII (1967-123 A)	13. prosince 1967		Perihelium 1.00 AU, Afel 1.10 AU
Mariner IV (1964-77 A)	28. listopadu 1964		K Marsu Perihelium 1.11 AU, Afel 1.57 AU
Pioneer 9	8. listopadu 1968		Kolem Slunce
Explorer 18	{ 27. lis.opadu 1963 – 3. dubna 1964 27. listopadu 1963 – 3. listopadu 1965		
Explorer 21(64-060 A-07)	4. října 1964 – 23. prosince 1964 11. října 1964 – 24. září 1965		
OGO-5	4. března 1968		Apogeum 24,4 R_z Perigeum 24,4 R_z
Vela 5 a, b	23. května 1969		
Explorer 43	16. března 1971		
Apollo 16	16. dubna 1972		

R_z = zemský poloměr

AU = astronomická jednotka (150 000 000 km)

a protony. Asi 4% tvoří jádra hélia. Ovšem v slunečním větru jsou přítomny v nepatrném množství i jiné prvky jako O, Ne, N. Těžké prvky jako železo a nikl se vyskytují zřídka; předpokládá se, že v důsledku gravitace dochází v koróně ke třídění.

Parker ve svém modelu předpokládá, že koróna má kulovou symetrii a že je možno zanedbat sluneční magnetické pole.

Fyzikální vlastnosti slunečního větru v blízkosti oběžné dráhy Země vyplývají z tabulky, ve které jsou v prvním sloupci uvedeny údaje pro klidný sluneční vítr, v druhém pro sluneční vítr, který je možno přidružit k nějakému významnému jevu na Slunci, jako jsou například větší erupce:

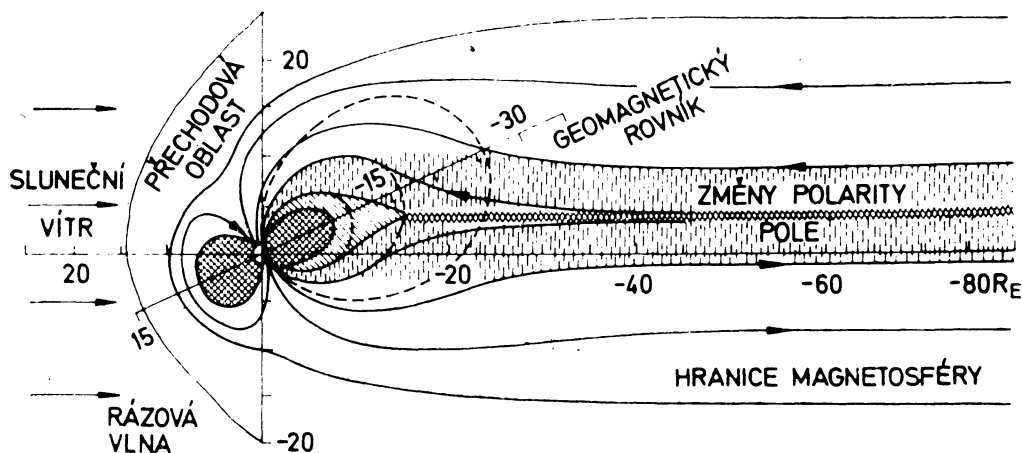
Rychlost částicového toku	320 km/s v průměru	800–1200 km/s
Hustota protonů a elektronů	5 až 8 cm ³	40–60 cm ³
Protonová teplota	40 000 °K	800 000 °K
Elektronová teplota	150 000 °K	800 000 °K
Magnetické pole	řádově 5 × 10 ⁻⁵ gaussů	řádově 20–80 × 10 ⁻⁵ gaussů
Průměrný čas příchodu	asi 4,5 dní	> 16 hod. i 1–2 dny

Velmi energetické částice mohou mít rychlosti mnohem větší, než jaké jsou uvedeny v tabulce, a dorazí tedy k Zemi mnohem dříve. Vzhledem k tomu, že teplota a rychlost postupně klesá, jak se částice šíří od emitujícího zdroje, budeme se ptát, zda a kde sluneční vítr končí. A tu odpovídá zatím jen teorie. Ta předpokládá na základě výpočtu, že ve vzdálenosti 30 nebo 40 astronomických jednotek (astr. jednotka = 150 miliónů km) je rychlost řádově 100 km/s. Ve vzdálenosti větší než 300 astronomických jednotek rychlost částic by měla být asi 5 km/s; protonová hustota by byla nižší než 0,1 částic/cm³.

II.

Velká pozornost se věnuje interakci mezi slunečním větrem a Zemí. Sluneční vítr hraničí se zemským magnetickým polem povrchem zvaným magnetopauzou: předpokládá se, že se nachází v průměrné vzdálenosti 10 zemských poloměrů ve směru Slunce (obr. 3). V opačném směru sluneční vítr vytahuje pole do dlouhého ohonu, takže se podobá kometě. Horní polovina sestává ze siločar z oblasti severního geomagnetického pólu, ve spodní polovině se uplatňují siločáry z oblasti jižního pólu; uprostřed, mezi dvěma oblastmi opačných polí (opačných polarit) je quasineutrální vrstva, kde pole je velmi slabé. Umělé družice zjistily tento ohon ještě ve vzdálenosti 500 000 km za oběžnou dráhou Měsíce. Zemské magnetické pole tvoří štít proti částicím slunečního větru. Při přibližování k Zemi bude magnetické pole silnější: bude-li dostatečně intenzivní, bude bránit částicím v jejich cestě. Jen částice dostatečně energetické proniknou magnetickým polem. Musí se však podřídít zákonům magnetického pole. Siločáry zemského magnetického pole budou deformovány, stlačeny ve směru od Slunce. Vně magnetosféry jsme v přímém kontaktu se slunečním větrem. Rychlost větru, jak jsme viděli, je nadzvuková. Uvidíme proto nárazovou vlnu, oddělenou od magnetopauzy, která se bude nacházet mezi ní a Sluncem. Mezi magnetosférou a magnetopauzou tok částic a magnetické pole jsou velmi zmítány, jak to dokazují měření z některých družic.

Jaký je vliv poruch meziplanetární plazmy, způsobený sluneční činností, na magnetosféru? K takovým poruchám dojde nejspíše v důsledku sluneční erupce, neboť v době erupce jsou vysílány nabitě částice o různých energiích. Nejprve jde o částice velmi energetické, 100 miliónů elektrovoltů nebo i více, ty tvoří sluneční kosmické záření. Dojde k Zemi za 1–5 hodin. Potom jde hlavně o nárazovou vlnu, která se šíří rychlostí 1000 až 4000 km/s: nabitě částice odnášejí s sebou magnetické pole. K poruchám na Zemi dochází asi 36 hodin po erupci. Když nárazová vlna přijde do blízkosti Země, tlak na magnetopauzu se zvýší a celá struktura magnetosféry se mění. Částice obohacují radiační pásy ve výšce asi 3000 a 6000 km. Konečně v ionosféře, v zemské atmosféře částečně ionizované, v polárních oblastech mohou částice z radiačních pásů sestoupit dost nízko a vyvolat elektrické poruchy dosahující 50 000 nebo 100 000 ampérů.



Obr. 3. Okolí Země sestávající z magnetosférické plazmy a z energetických částic; číslice udávají vzdálenosti od středu Země v zemských poloměrech. Ionosféra není na obrázku patrna, neboť tvoří vrstvu rovnou jen desetíně zemského poloměru. Oblasti vyšrafované čtverečky jsou van Allenovy pásy, oblast vyšrafovaná jednoduše obsahuje vysoce energetické částice, oblast vytečkovaná je vrstva plazmy, oblast křížkovaná je neutrální vrstva.

Jevy zasahující ionosféru vyvolávají poruchy v telekomunikaci. Z erupce dorazí nejdříve částice velmi energetické a rentgenovské záření, které je zasaženo magnetosférou. Jsou absorbovány nízkými vrstvami ionosféry, způsobují na krátkou dobu vymizení rádiových spojení, zejména na krátkých vlnách. Konečně nabitě částice v oblastech vysokých šířek, kde radiační pásy sestupují dost nízko do atmosféry, dávají vznik polárním zářím jak na severní, tak na jižní polokouli.

Polární záře jsou nejvýraznějším ionosférickým jevem odehrávajícím se ve výšce od 80 km do několika set kilometrů. V našich zeměpisných šířkách jsou celkem jevem vzácným, ale v době maxima sluneční činnosti je možno někdy pozorovat červenavé nebo nazelenalé záření, které barví severní oblohu, mění svou intenzitu a pak se pozvolna ztrácí. Ty pravé nádherné polární záře ve formě zářících ploch, vlnících se drapérií, jednotlivých svítících paprsků, jsou však známy jen obyvatelům vysokých zeměpisných

šířek. Nárazy částic slunečního větru na atomy vysoké atmosféry (ionosféry) je excitují do vyšších hladin a při návratu do původních hladin dochází k viditelnému záření.

Aby mohla být lépe studována fyzikální podstata některých jevů v magnetosféře a ionosféře, vyvolají se tyto jevy uměle tím, že se z rakety („z elektronových děl“) vstříkují svazky elektronů o 8–40 keV s pulsy v trvání zlomku sekundy nebo i sekundy. Jejich pohyb v magnetosféře nebo ionosféře se sleduje a analyzuje. Tyto pokusy – v mnohem dokonalejší formě – jsou pokračováním pokusů z balónů, které se poprvé prováděly v roce 1957.

V září 1973 se konalo v Kyoto (Japonsko) druhé všeobecné vědecké shromáždění Mezinárodního sdružení pro geomagnetismus a aeronomii, kde bylo pojednáno o dosažených výsledcích kontrolovaných magnetosférických pokusů i o plánech do budoucna.

Mezi jevy uměle vyvolanými (např. některé druhy rádiových záblesků) jsou i polární záře. První takový pokus byl s úspěchem proveden v lednu 1969, další pak v říjnu 1972; tyto pokusy o vyvolání polární záře na severní polokouli vyvrcholily v Sovětském svazu v dubnu a červnu 1973.

V roce 1975 má být uskutečněn francouzsko-sovětský pokus „ARAKS“ (Artificial Radiation and Aurora at Kerguelen and Sogra) v Indickém oceánu v Kerguelen Islands s dvěma raketami. Rakety budou vybaveny „elektronovými děly“ vystřelujícími elektrony 0,01, 0,5 a 1A s energiemi 15 a 27 keV s trváním pulsů 0,02 a 1,28 sekundy. Budou „vystřeleny“ i rádiové přijímače pracující v rozsahu od 0 do 5 MHz k přijímání záření v důsledku interakce.

Vlastní záření slunečního větru prakticky neexistuje nebo není je možno zjistit. Jsou dvě metody jeho zjištění: je možno pozorovat jeho vliv na záření, které má jiný původ, nebo je možno v jeho lůně umístit přístroj kterým by se sluneční vítr zjistil.

První metoda se skutečně používá. Záření, které je nejvíce zasaženo meziplanetárním prostředím se nachází v oboru metrových vln. Statistické fluktuace elektronové hustoty v plazmě rozptylují vlny vyslané rádiovými zdroji: v důsledku toho se zdá, že zdánlivý průměr těchto zdrojů se zvětšuje, když záření prochází oblastí, kde hustota plazmy je vyšší. Tak zjistíme tuto hustotu jako funkci vzdálenosti od Slunce. Tyto fluktuace u rádiových zdrojů s malým zdánlivým průměrem dávají ohybové obrazy, které se pohybují na Zemi, kde jsou přijímány rádiovými teleskopy: je to jev scintilace, známý u hvězd ve viditelném světle, jestliže atmosféra je turbulentní. Měření této rychlosti posuvu je téměř přímým měřením rychlosti slunečního větru. Bylo zjištěno, že tato rychlost je vyšší ve směru slunečních pólů než v rovině ekliptiky.

Díky zdokonaleným technickým prostředkům (družicím a sondám) poznáváme lépe fyziku zemského okolí. Doufáme, že v budoucnu to dovolí ovládat naše okolí a zlepšit podmínky života na Zemi. Pod tímto zorným úhlem jsou výzkumy v tomto oboru značně důležité.

Literatura

K části I:

- [1] PARKER E. N.: *Astrophysical Journal* 132, 860 (1960)
- [2] BIERMANN L. a TREFFY E.: *Zeitschrift für Astrophysik* (1960)
- [3] PARKER E. N.: *Interplanetary dynamical Processes*, London 1963
- [4] *The solar Wind*, Proceedings of a Conference held at the California Institute of Technology Pasadena, California, USA, April 1–4, 1964, edited by ROBERT J. MACKIN and MARCIA NEUGEBAUER
- [5] SEVERNY A. B., *Astrophys. Sci Library*, Vol 29, Part I
- [6] CHAMBERLAIN, J. W.: *Journal of Geophysical Research* 68, 5667 (1963)
- [7] NEHER, H. V. and ANDERSON H. R.: *Journal of Geophysical Research* 69, 1911 (1964)
- [8] *La nouvelle astronomie*, Librairie Hachette, 1971

K části II:

- [1] BEARD D. B.: *The interaction of the Terrestrial Magnetic Field with the Solar corpuscular Radiation*, *J. Geophys.*, Res. 65, 3559 (1960)
- [2] PIDDINGTON, J. H.: *Geophysical Journal* 3, 319 (1960)
- [3] PETRIE W.: *Keoeit- the Story of the Aurora Borealis*, Pergamon Press, 1963
- [4] SNYDER, C. W.: NEUGEBAUER, M. and RAO U. R.: *Journal of Geophysical Research*, 68, 6361 (1963)
- [5] GUÉRIN P.: *Planètes et satellites*, Librairie Larousse, Paris 1967
- [6] MC DONOUGH, BRICE N. M.: *Icarus*, Vol. 15, 505–510 (1972)
- [7] TOICHI T.: *Solar wind plasma*, *Phys. Abstr.*, Vol. 75 (1972)
- [8] *Space Science Reviews*, Vol 15, No 6, 1974

„Filosofie je dáma velmi neskromná a hašteřivá, se kterou není radno si něco začít“, vyjádřil se prý I. NEWTON, když na něho přátelé naléhali, aby své stěžejní dílo o mechanice nazval *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Newton měl původně připraven název *De motu corporum* [O pohybu těles], ale nakonec podlehl nátlaku přítele Halleye a snad i vydavatele, kteří chtěli mít přitažlivější titul.

Genius koná v duchu pravidel, aniž by věděl, že existují. *Expert* postupuje podle pravidel, aniž by na ně myslel, ale v případě potřeby by kdykoliv mohl citovat pravidlo, jež lze v dané situaci uplatnit. *Začátečník*, který se snaží pracovat podle pravidel, si nejspíš jejich význam uvědomí až na základě úspěchů a neúspěchů.

G. Polya