

„... a nad hrobem polární záře“

Jakub Rozehnal

Inspirací k napsání tohoto článku bylo letošní březnové číslo Sky&Telescope. Prolezl jsem několik webů, zašel do knihovny a sháněl materiály. Ne - polární záři v noci 6. 4. 2000 jsem neviděl. Ani žádnou jinou předtím. Doufám, že vy ano. Snad vám tento článek pomůže osvětlit některé rysy tohoto úchvatného fenoménu.

První písemné zmínky o pozorování polární záře najdeme jako obvykle u starověkých národů - Řeků a Číňanů. Na alespoň částečné objasnění tohoto jevu si však lidstvo muselo počkat několik tisíc let, do roku 1896. Tehdy dospěl norský fyzik Kristian Birkeland k závěru, že polární záře vznikají v okolí pólů zachytáváním proudu slunečních elektronů magnetickým polem Země, a jako původce polárních září tedy označil Slunce. Přesný model zachytávání elektronů a jiných iontů v magnetosféře byl publikován zhruba o 40 let později. Tyto částice (nazývané slunečním větrem) byly poprvé přímo detekovány až v roce 1960 sovětskými a americkými družicemi, které odstartovaly novou etapu výzkumu Slunce a vztahů Slunce - Země. V roce 1963 bylo družicovými snímky potvrzeno, že polární záře vznikají v kruhových prstencích o průměru kolem 4000 km s centrem v geomagnetickém pólu.

Sluneční vítr vzniká v nejvyšších slunečních vrstvách - v koroně, která je dostatečně teplá na to, aby ionizovala atomy vodíku, které se sem dostanou z mnohem chladnější fotosféry. Zde elektroneutrální atomy zanikají a vytváří plazmový obal, z něhož jsou částice vyvrhovány. Se Zemí se pak obvykle potkávají rychlostí okolo 400 km/s.

K mnohem energičtějším a impulzivnějším vývrhům dochází díky koronálnímu dírám, slunečním erupcím a vývrhům koronální hmoty (CME - Coronal Mass Ejection). Koronální díry, poprvé objevené roku 1957, jsou rozsáhlé a relativně stabilní oblasti s nižší hustotou, teplotou a intenzitou magnetického pole. Částice vyvržené těmito děrami dosahují v okolí Země rychlostí kolem 800 km/s. Koronální díry se mohou objevovat na různých místech koróny a mohou zde existovat i měsíce. Jestliže se taková koronální díra objeví

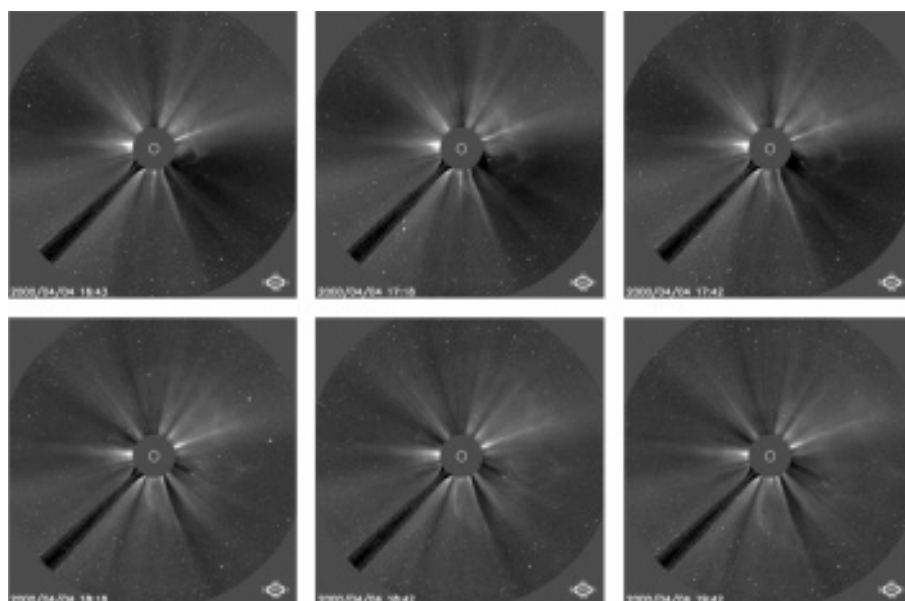
v blízkosti rovníku, můžeme na Zemi pozorovat polární záře opakující se díky sluneční rotaci s 27 denní periodou. Sluneční erupce jsou energetické exploze, které mohou vrhnout částice do zemské magnetosféry rychlostí okolo 1000 km/s. V extrémních případech může erupce vyzářit během několika málo minut stejné množství energie jako celé Slunce za 0,1 sekundy. Přesto nejsou erupce tak důležitými činiteli ve vztazích Slunce - Země, neboť je jen malá pravděpodobnost, že relativně úzký proud částic zasáhne Zemi v tom správném místě. Na vzniku polárních září mají největší podíl vývrhy koronální hmoty, poprvé pozorované na Skylabu v roce 1973. Jsou to největší známé výrony slunečního materiálu, které typicky představují 10^{12} kg vyvržené látky. Díky nim se částice uvolněné energií 10^{25} Joulů srážejí se Zemí rychlostmi okolo 2000 km/s.

Obraňným štítem Země proti dopadu vysokoenergetických částic slunečního větru je magnetosféra, od níž se většina částic slunečního větru odrazí. Za splnění dvou podmínek však mohou do magnetosféry vniknout.

Za prvé musí sluneční vítr na magnetosféru působit dostatečně silně. Částice vyvržené z koronálních děr a při koronálních vývrzích jsou rychlejší a dostihují částice, které byly vyvrženy menšími rychlostmi. Vzniká tak rázová vlna, která při dopadu magnetosféru deformuje (více než obvykle) a prstence polární záře se tak rozšíří a posunou směrem k noční straně.

Za druhé musí dojít k interakci magnetosféry a meziplanetárního magnetického pole (jedná se o jakési „vzájemné spojení siločar“), čímž se vytvoří jakási „trhlina“, kterou do magnetosféry mohou vniknout i „pomalé“ elektrony.

Předposlední článek řetězce vzniku polární záře se odehrává ve výškách 80 000 - 100 000 kilometrů nad zemským povrchem, kde se meziplanetární magnetické pole setkává s magnetosférou.



Sekvence šesti snímků ukazuje vzdalující se výtrysk koronální hmoty po počátku sluneční erupce ze 4. dubna 2000.

Jakub Rozehnal (*1975)

Pracuje jako odborný pracovník na Štefánikově hvězdárně v Praze, kde se věnuje zejména popularizaci astronomie. Dále působí jako vedoucí odborného programu Městské hvězdárny ve Slaném, kde vyvíjí software pro zpracování naměřených spekter a věnuje se možnosti hledání extrasolárních planet v amatérských podmínkách.

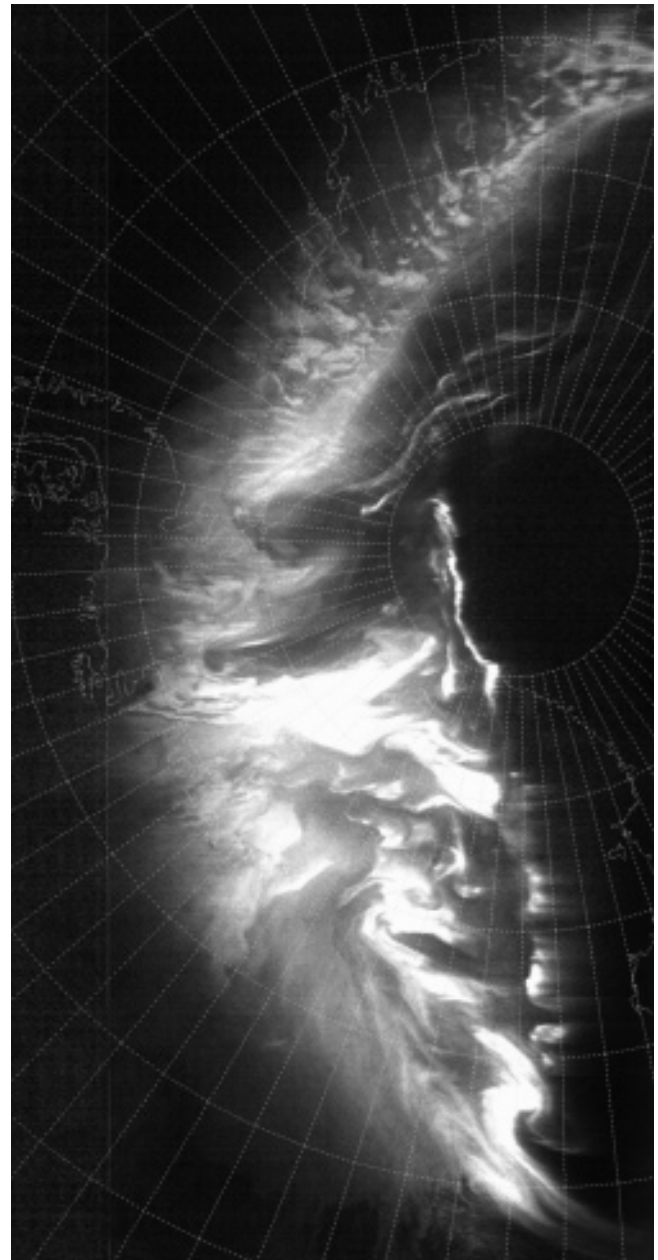
Na rozdíl od častých představ neplyne proud částic přímo k magnetickému pólu, ale mísí se s částicemi ionosféry a přechází do plazmatického chvostu na noční straně. Mechanismus toku slunečního plazmatu do tohoto chvostu není dosud přesně znám. Faktem zůstává, že částice v této oblasti mají mnohem větší energii než částice původního plazmatického proudu. Zatímco elektrony slunečního větru mají průměrnou energii jen několik elektronvoltů, elektrony, které nakonec způsobují vznik polární záře, mají energii až 10 000krát větší. Za urychlování těchto elektronů je zřejmě zodpovědný právě výše popsany proces interakce (spojování a rozpojování) magnetického pole Země s meziplanetárním magnetickým polem. Při rozpojování pak vznikají silná lokální pole, která elektrony nasměrují k zemské atmosféře, kde nakonec polární záře vzniká. Maximální urychlení částic nastává ve výškách 15 000 až 3 000 km nad zemským povrchem. Některé částice jsou přitom magnetickým polem odraženy zpět, což závisí především na úhlu jejich dopadu, jejich rychlosti a intenzitě magnetického pole. Zjednodušeně můžeme říci, že čím je částice rychlejší, tím větší má šanci dostat se do atmosféry. Proto jsou polární záře způsobeny většinou pouze proudem elektronů, které lze pochopitelně urychlit mnohem snáze než třeba mnohem těžší protony. Děj, který nastává ve chvíli, kdy urychlený elektron vstoupí do atmosféry, je již dobře znám. Polární záře vzniká ve výškách 100 - 1000 km, kde hustota atmosféry a její složení ovlivňuje intenzitu a frekvenci emitovaných fotonů - tedy barvu polární záře.

Nejčastěji pozorovanou barvou je zelená. Valenční elektron atomu kyslíku je ve výškách pod 400 km, kde jeho množství začíná pomalu narůstat, excitován „o dvě hladiny nahoru“. V tomto stavu je schopen setrvat necelou sekundu. Poté elektron přechází o hladinu níže, což způsobuje emisi zeleného fotonu o vlnové délce 557,7 nm. V novém stavu je elektron schopen zůstat podstatně déle, necelé dvě minuty. Pokud během této doby nedojde k interakci atomu s jinou částicí, je vyzářen červený foton o vlnové délce 630 resp. 636 nm. Ke vzniku červené polární záře tedy dochází ve vyšších vrstvách atmosféry, kde jsou interakce excitovaných molekul méně pravděpodobné a pozorování červené polární záře je proto méně obvyklé. Další možností vzniku červené barvy je excitace molekulárního dusíku ve výškách kolem 90 km nad povrchem. K vybuzení elektronu je však zapotřebí přibližně 1000krát větší energie než u atomu kyslíku. Při návratu elektronu na původní hladinu může být emitováno několik odstínů červené.

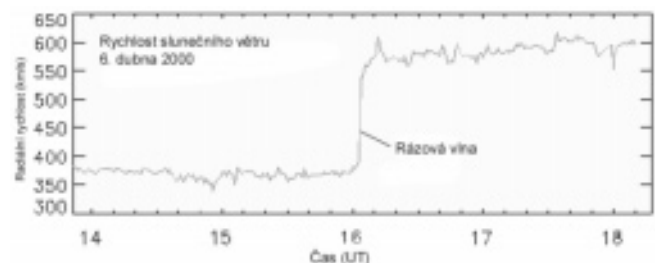
Modrá nebo fialová barva vzniká ve výškách kolem 1000 km, kde dochází k excitaci iontů N_2^+ vzniklých ionizací molekul dusíku slunečním ultrafialovým zářením. A konečně, je-li molekula dusíku zasažena velmi energetickým fotonem, může být emitováno slabě růžové světlo. Vzájemnou kombinací vzniklých barev pak vznikají barvy další (například žlutá kombinací zelené a červené).

S nadcházejícím slunečním maximem by se četnost polárních září měla zvýšit a mohly by být pozorované i u nás. Poprvé (doufáme že nikoli naposledy) se tak stalo v noci ze 6. na 7. dubna. Budeme-li pravidelně sledovat sluneční aktivitu, mohli bychom zhruba za dva dny po silné CME očekávat zářící noční oblohu.

Ačkoli bývají polární záře často neprávem pokládány pouze za úchvatné přírodní útvary, jejich sledování zjevně přináší mnoho nového nejen v oblasti výzkumu naší magnetosféry, ale i do studia meziplanetárního a slunečního magnetického pole. To jim ovšem na jejich kráse a tajemnu nic neubírá. Právě naopak. Věřím, že každý z vás nějakou polární září uvidí. Budoucí generace, které svůj život stráví kupříkladu na Marsu, tuto možnost mít nebudou.



Satelitní snímek jižní záře z 26.7.1993.



Data z družice ACE (Advanced Composition Explorer, NASA) ukazují rychlost slunečního větru ve vzdálenosti 1,5 milionu km v libračním bodě L1. Strmý vzestup rychlosti je způsoben rázovou vlnou, která vznikla při výtrysku koronální látky dne 4. dubna 2000. Události zaznamenané družicí se na Zemi projeví zpravidla o jednu hodinu později.