

Polární záře



Petr Kulhánek

Pro nás středoevropany je polární záře, neboli aurora, zcela výjimečným úkazem. V severských zemích jde však o jev běžný. V maximu slunečního cyklu se mohou severské národy obdivovat intenzivním polárním zářím i několikrát za noc. V době objevitelských cest sledovali polární záře mořeplavci ve vysokých zeměpisných šířkách na obou polokoulích. Existuje řada záznamů o pozorování polárních září při plavbě v Severním ledovém oceánu i při obeplouvání Ohňové země. Lidé si po mnohá staletí kladli otázky: Co polární záře způsobuje? Jaká je jejich podstata? Jak vysoko na obloze jsou? Proč se pozorují jen v blízkosti pólů? Souvisejí nějak s magnetickým polem Země? Některé odpovědi na tyto i další otázky jsou námětem článku, který právě začínáte číst.

Tušení souvislostí

Pomineme-li naivní názory severských národů, které považovaly polární záře za plápolající duše mrtvých, započal seriózní vědecký výzkum polárních září v 16. a 17. století. Kvalitní záznamy o pozorování polárních září zanechal Tycho Brahe (1546–1601). Ten je sledoval na hvězdárně Uraniborg na ostrovu Hven. To, že by polární záře mohly nějak souviset se sluneční činností, pravděpodobně poprvé vyslovil francouzský geofyzik Jean Jacques Dortous de Mairan (1678–1771) v roce 1733. Současně uvažoval, že pokud jsou polární záře pozorovány v blízkosti severního pólu, měl by obdobný jev existovat i v blízkosti pólu jižního. To potvrdil kapitán

Prof. RNDr. Petr Kulhánek, CSc. (*1959) vystudoval MFF UK, obor teoretická fyzika. V současné době se zabývá fyzikou plazmatu na katedře fyziky FEL ČVUT.

James Cook (1728–1779) až v roce 1770, když uviděl polární záře ve vysokých jižních šířkách. Mezitím objevili v roce 1741 Anders Celsius (1701–1744) spolu se svým

Polární záře vyfotografovaná 18. 1. 2005 nad Medvědím jezerem (Bear Lake) u letecké základny Eielson na Aljašce

asistentem Olofem Hiorterem (1696–1750) zajímavý jev. Zjistili, že v průběhu polární záře je střelka kompasu velmi neklidná a nepravidelně se komihá. Poprvé tak byla experimentálně prokázána souvislost polárních září s magnetickým polem Země. To, co tenkrát pozorovali, bychom dnes nazvali magnetickou bouří. Švédský astronom Pehr Wilhelm Wargentin (1717–1783) zjistil v roce 1775, že se polární záře vyskytují současně na



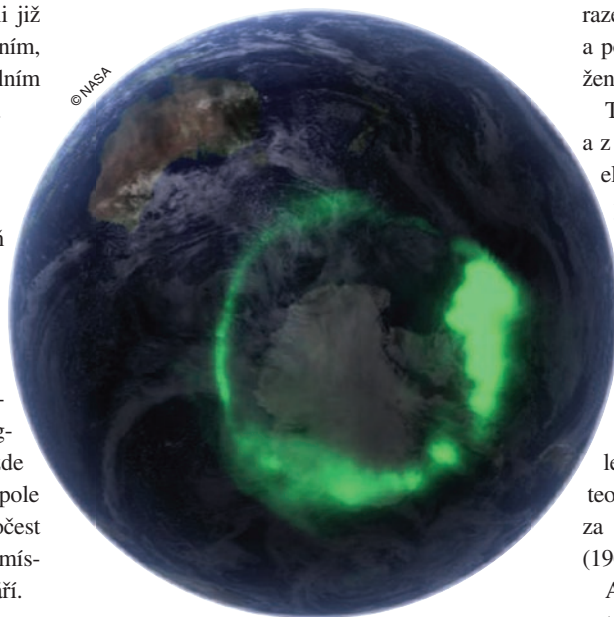
Christian Birkeland (1867–1917). Portrét na 200korunové norské bankovce. Vlevo je vyobrazena terella.

mnoha místech s obdobnou zeměpisnou šířkou a fakticky tak objevil aurální ovál, jehož dnešní snímky z oběžné dráhy zdobí mnohé učebnice astronomie. V tu chvíli již bylo jasné, že polární záře jsou globálním, celoplanetárním fenoménem, nikoli lokálním jevem, jako například blesky při bouřích.

První teorie a experimenty – svítání

První ucelenou teorii, která alespoň zhruba odpovídá dnešním představám, navrhl norský fyzik a vynálezce Christian Birkeland (1867–1917). Předpokládal, že polární záře souvisí se sluneční činností a že elektrony vyvrhované ze Slunce nějak interagují s magnetickým polem Země a vytvářejí zde plošné proudy tekoucí podél silokřivek pole (dnes tyto proudy nazýváme na jeho počest Birkelandovými proudy). Atmosféra v místech tekoucích proudů je excitována a září.

Birkeland byl rozhodně mimořádnou vědeckou osobností, byť ve své době příliš nepochopenou. Nespokojil se s vymyšlením



© NASA

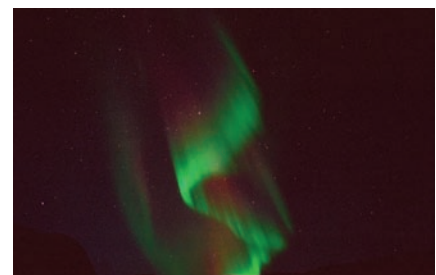
Země. Povrch koule byl potažen tenkou vrstvou platiničitanu barnatého, který při dopadu elektronů fosforeskuje. Dnes je terella vyobrazena na dvousetkorunové norské bankovce a poslední verze terelly z roku 1917 je uložena v Muzeu polárních září v Tromsø.

Terella byla umístěna ve vakuové komoře a z katodové trubice byla ostřelována tokem elektronů. Elektrony proudily do oblasti pólů, kde budily k záření řídký plyn. Birkeland předvedl na univerzitě v Oslo mechanismus vzniku polárních září a poskytl přihlížejícím obrázek polárních září, tak, jak by je viděli z vesmíru. Tehdejší vědecká komunita však nebyla ještě připravena revoluční Birkelandovy myšlenky přijmout. Na mnohá desetiletí se jediným zastáncem Birkelandovy teorie stal pozdější nositel Nobelovy ceny za fyziku, švédský fyzik Hannes Alfvén (1908–1995).

Alfvén je dnes označován za otce magnetohydrodynamiky, vědecké disciplíny,

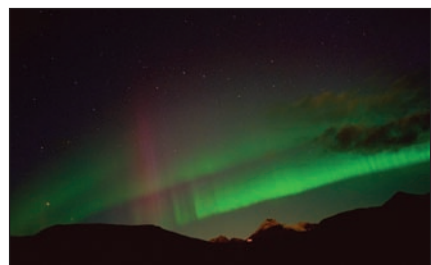
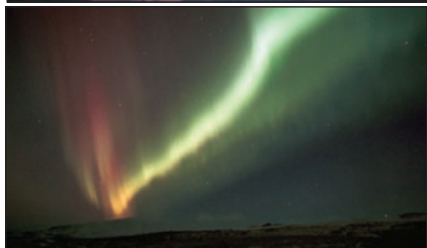
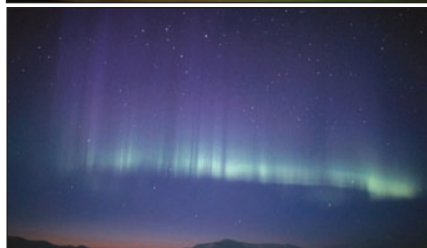
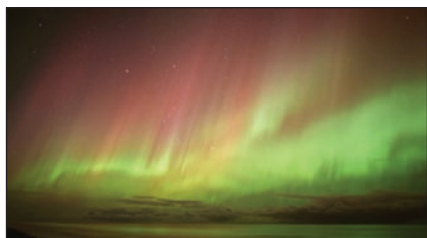
Obrázek aurory australis – jižní polární záře – pořízený satelitem IMAGE 11. 9. 2005 a promítnutý na běžný satelitní snímek Země.

teorií, ale pokoušel se je ověřovat ve své laboratoři. Vyrobil z mosazi zmenšený model naší Země, který nazýval *terella*. Uvnitř koule se nacházel elektromagnet simulující dipólové pole Země. Jeho osa byla skloněna o stejný úhel jako skutečná magnetická osa



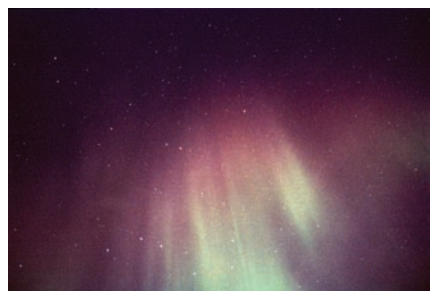
© Jakub Rozehnal

© FunOnTheNet.IN / Nikodemus Komirzski a Alex Markoff



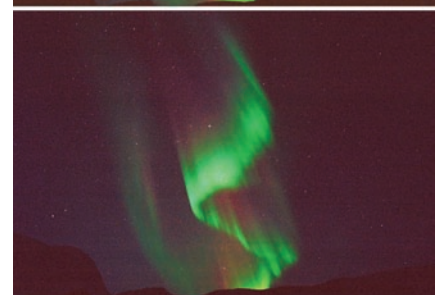
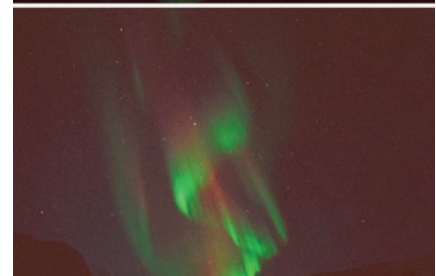
© Jakub Rozehnal

Polární záře v horách Skjorndalen. (Exponováno 20 s clonou 2,2 18. 9. 2002 v 0:52 SEČ na diapozitivní materiál Kodak EPL 5075, citlivost 400 ISO.)



© Jakub Rozehnal

Polární záře v horách Skjorndalen v Norsku (18. 9. 2002, 23:55 SEČ). (Expoziční doba 15 s, clona 2,2, materiál Kodak Gold, 400 ISO.)



Horní obrázek vznikl složením dolních dvou, čímž byla částečně potlačena jeho zrnitost. Snímky byly pořízeny v rozmezí 40 s dne 19. 9. 2002 v 0:40 SEČ v horách Skjorndalen (Norsko). Expoziční doba 30 s, clona 2,2, materiál Kodak Gold, 400 ISO.

Série snímků mimořádně intenzivních polárních září pořízená 15. 9. 2005 poblíž Moskvy.

kteřá popisuje plazma jako vodivou tekutinu schopnou generovat magnetická pole a reagovat na ně. Alfvén jako první ukázal, že magnetické pole se v plazmatu může měnit jen dvěma mechanismy. Prvním z nich je klasická difúze. Magnetické pole difunduje do okolí a postupně slabne obdobně jako vůně rozprášená v místnosti. Druhým mechanismem je sledování pohybu plazmatu. Magnetické silokřivky jsou unášeny pohybujícím se plazmatem a protahovány ve směru jeho pohybu, obdobně jako by k plazmatu byly nějakým způsobem přilepené. Někdy hovoříme o jevu vmrznutého magnetického pole. Záleží na teplotě (vodivosti), rychlosti a velikosti oblaku plazmatu, který z obou způsobů změn magnetického pole bude dominantní. Fyzikové zavádějí tzv. Reynoldsovo magnetické číslo. Pokud je toto číslo větší než jedna, převládá pohyb magnetického pole spolu s plazmatem (například ve slunečním plazmatu), pokud je menší než jedna, převládá pomalá difúze pole (například v plazmatu mlhovin).

Alfvénovy práce byly klíčové k pochopení mechanismu šíření plazmových oblak ze Slunce sluneční soustavou a jejich interakce s magnetosférami planet [1].

Birkelandovi se tak nechtěně podařilo založit zcela nový směr astronomie, který se zabývá významem elektromagnetických dějů pro sluneční soustavu i vesmír jako celek. Prvním pokračovatelem byl Hannes Alfvén a dnes je asi nejvýznamnějším zastáncem této „školy“ Anthony Peratt, autor vynikající knížky *Plasma Universe* a přední

astrofyzik, který v současnosti přednáší na univerzitě v Jižní Karolíně a pracuje na oddělení aplikované teoretické fyziky v Los Alamos National Laboratory.

Družicový výzkum

Dokud lidé neviděli polární záře z vesmíru, neměli o nich úplný obrázek. Elektrické proudy tekoucí v horních vrstvách atmosféry objevil navigační satelit 1963-38C v roce 1966. Podrobná měření ale provedla až družice TRIAD 1 v roce 1973. Podle Birkelandových předpokladů tekly proudy podél svislých stěn orientovaných ve směru magnetického pole Země s maximem na 70. magnetické rovnoběžce. Jeho hypotéza se tak po 75 letech dočkala experimentálního ověření. V roce 1981 vyfotografovala v ultrafialovém oboru družice Dynamics Explorer (1981–1991) celý aurorální ovál – rozsvícený prstenec polárních září v okolí 70. magnetické rovnoběžky. Na konci 20. století pak zkoumala vztah Slunce a Země řada sond a družic. Z těch nejvýznamnějších jmenujme alespoň SOHO určené k výzkumu Slunce, dvojici spolupracujících družic Polar (1996) a Wind (1994), síť 17 družic NOAA nebo ambiciózní evropský program CLUSTER zkoumající magnetosféru Země od roku 2000.

Skutečné mechanismy – od Slunce k Zemi

Sluneční soustava je jakoby protkána pavučinou neviditelných silokřivek magnetických polí. Z některých těles tyto silokřivky vychá-



Pehr Wilhelm Wargentin (1717–1783). Podobizna zveřejněná v roce 1866 ve švédském časopise *Svenska Familj-Journalen*, který vycházel v letech 1864 až 1887.

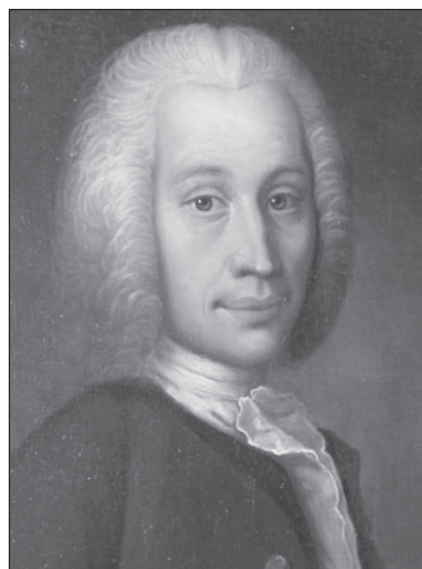
zejí, někdy se vrací do téhož tělesa a někdy do jiného. Po těchto silokřivkách kloužou jako po neviditelných tobogánech nabitě částice. Pohybují se napříč sluneční soustavou po charakteristických spirálách vinoucích se podél těchto silokřivek.

Zdrojem magnetických silokřivek jsou tělesa, v jejichž nitru je vodivé prostředí otáčející se diferenciální rotací. Tam jsou většinou splněny podmínky pro vznik tzv. tekutinového dynamu. Například Slunce má diferenciální rotaci v azimutálním směru (rovníkové oblasti rotují jinou rychlostí než polární) a v radiálním směru (mezi konvективní zónou a vrstvou v zářivé rovnováze je skok v rychlosti rotace). Elektrické proudy tekoucí pod povrchem generují magnetické pole. Pokud má na počátku pole dipólový charakter, kvůli rotaci dochází k navíjení silokřivek do azimutálního směru, hovoříme o tzv. *omega efektu* (omega je písmeno označující úhlovou rychlost tělesa). Magnetické pole tak získává podstatnou složku ve směru rovnoběžek tělesa. Opačným jevem je *alfa efekt*, kdy jsou silokřivky ve směru rovnoběžek vychylovány diferenciální rotací do polárního směru (písmeno alfa symbolizuje tvar vychýlených silokřivek). Kombinace obou jevů způsobuje udržování a pravidelné překlápění pole Slunce nebo planet. Globální magnetická pole mají kromě Slunce všechny obří planety, z kamenných planet jen Merkur a Země.

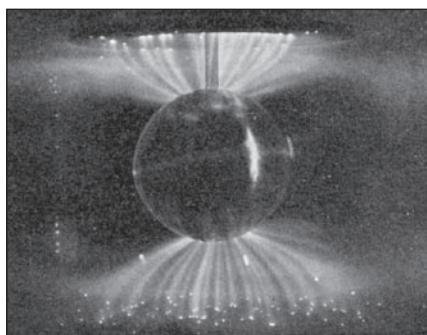
Nejen gravitační, ale i magnetickou dominantou sluneční



Jean Jacques Dortous de Mairan (1678–1771). Dobová rytina Simona Charlese Migera.



Anders Celsius (1701–1744). Dobová olejomalba Olofa Arenia.



Terella. Vyobrazení z knihy Ch. Birkeland: *The Norwegian Aurora Polaris Expedition 1902-1903 publikované v roce 1913.*

soustavy je Slunce. Oblast jeho magnetického vlivu nazýváme heliosférou. V období minima sluneční aktivity je sluneční pole alespoň přibližně dipólové, v období maxima sluneční činnosti (přepólování) je zcela chaotické [1]. Část silokřivek se vrací do Slunce, část prochází sluneční soustavou a napojuje se na silokřivky planetárních polí dalších zdrojů. Ze Slunce uniká velké množství nabitých i nenabitých částic, které nazýváme sluneční vítr.

Při tvorbě hvězd dokáže raný hvězdný vítr spolu s intenzivním ultrafialovým zářením vymést zbytky zárodečné mlhoviny za hranice rodící se soustavy. V pozdějších obdobích hvězdný vítr formuje magnetosféru planet. Zemská magnetosféra má v těsné blízkosti přibližně dipólový charakter. Ve větších vzdálenostech se podobnost s dipólem ztrácí, na denní straně je rázová vlna vzniklá interakcí se slunečním větrem a na noční straně ohon táhnoucí se do stonásobku rozměrů Země. Většina částic slunečního větru se odklání na čelní rázové vlně a magnetosféru Země obtéká. Některé ale pronikají až do horních vrstev atmosféry po slunečních silokřivkách, které se propojily se zemskými nebo procházejí trychtýřovitými oblastmi, které nazýváme polární kasy (z anglického „cusp“ – roh neboli cíp). Tyto otevřené silokřivky jsou zhruba na 70. stupni geomagnetické šířky. Na nižších šířkách se silokřivky vrací zpět do nitra Země, na vyšších šířkách odplouvají buď do magnetického ohonu, nebo do meziplanetárního prostoru. (Ani u střelky obyčejného magnetu se polární silokřivky nevracejí zpět do střelky, ale napojují se na magnetické silokřivky zemského pole. Právě proto mívá střelka k severu.)

Sluneční vítr zajišťuje stálý přísun těchto částic a tak je jejich výskyt v okolí 70. magne-

tické rovnoběžky trvalý. Zde excitují atomy a molekuly atmosféry, která zde tak trvale září v ultrafialovém oboru a vytváří tzv. *aurorální ovál*. V období, kdy k Zemi spolu se slunečním větrem dorazí větší chuchvalec plazmatu s vmrznutým magnetickým polem (plazmoid), dojde k magnetickým bouřím, různým deformacím aurorálního oválu a především k rozzáření celých stěn i ve vizuálním oboru. Vznikají polární záře, jev, který lidstvo vzrušuje po tisíce let [1–3].

Skutečné mechanismy – v horní atmosféře

Polární záře vznikají ve výškách 70 až 1 000 km. Ve větších výškách je již atmosféra zanedbatelná a ke srážkám elektronů s atomy a molekulami atmosféry dochází velmi málo. V nižších výškách je naopak atmosféra příliš hustá a dochází proto k jiným typům srážek než zářivým. Nejběžnější je excitace neutrálního kyslíku do druhého excitovaného stavu a následně vyzáření dvou fotonů. Jednoho s vlnovou délkou v zelené barvě 555,7 nm (po necelé sekundě) a poté červeného fotonu s vlnovou délkou 630 nm nebo 636 nm (po necelých dvou minutách). Proto jsou nejčastější polární záře zelené nebo červené. K excitacím kyslíku dochází nejvíce ve výškách kolem 100 km. K dalším častým přechodům patří několik čar ionizovaných molekul N_2^+ ve fialové barvě. K těmto excitacím dochází ve výškách blízkých se 1 000 km. Spektrum polárních září je vždy spektrem emisním s několika charakteristickými čarami v zelené, červené a fialové barvě. Zářící stěny polárních září mohou mít tloušťku několika kilometrů, ale na šířku mohou mít mnoho tisíc kilometrů.

Pohyb elektronů slunečního větru se v atmosféře projevuje jako slabý elektrický výboj s proudovou hustotou přibližně $30 \mu A/m^2$.

V atmosféře dochází při interakci se slunečním větrem k několika typům procesů:

1. *Přímá excitace*. Elektrony zachycené v magnetosféře se sráží s atomy a molekulami atmosféry a excitují je na vybuzené hladiny: $X + e^- \rightarrow X^* + e^-$. Při následné deexcitaci je vyzářeno světlo charakteristické vlnové délky: $X^* \rightarrow X + \gamma$. V hustších vrstvách atmosféry není na deexcitaci zářením dostatek času. Nadbytečná energie je předána při srážkách mnoha dalším atomům a molekulám v atmosféře. Proto se vyskytují polární záře ve výškách nad 70 km, kde je čas k dosažení deexcitace zářením.

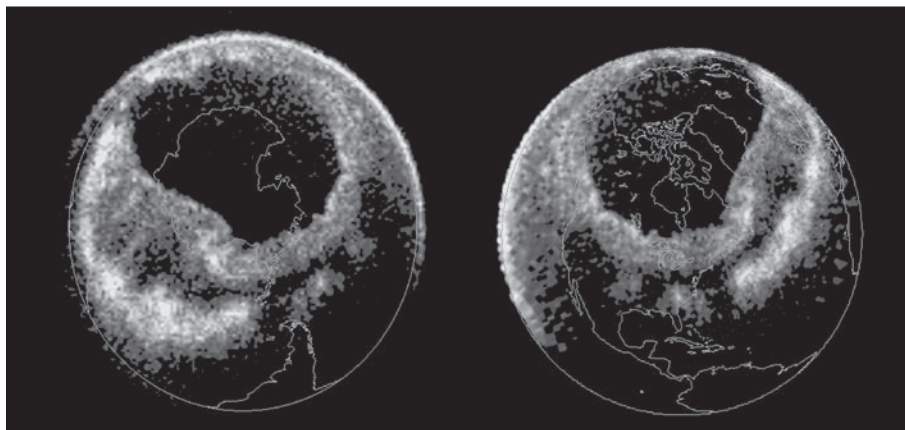
2. *Nepřímá excitace*. Existuje celá řada nepřímých excitačních procesů souvisejících se srážkami. Jako příklad uvedme zachycení magnetosférického elektronu ionizovanou molekulou kyslíku. Ta se v důsledku srážky rozštěpí na atomární kyslík, který bude v excitovaném stavu: $O_2^+ + e^- \rightarrow O^* + O$. Následně bude excitovaný kyslík deexcitovat za vzniku záření: $O^* \rightarrow O + \gamma$.

3. *Kolize s protony*. V důsledku srážky s protonem může dojít například k ionizaci vodíku (ztratí svůj elektron), k ionizaci molekuly či k štěpení molekuly.

4. *Rekombinace protonu s elektronem*. Protony slunečního větru rekombinují s elektrony na neutrální vodík v excitovaném stavu, který následně vyzáří foton v čáře H_α (červená) nebo H_β (oranžová).

Protonové polární záře jsou jediné polární záře, které jsou způsobeny přímo částicemi slunečního větru. Polární záře způsobené protony jsou relativně vzácné, nevýrazné a zpravidla bez struktury.

Polární záře jsou krásným estetickým zážitkem. Pozorování vlnících se barevných stěn je jedno z neúžasnějších představení připravených přírodou. Indukovaná pole mo-



Aurorální ovál zasahující až k rovníku. *Dynamics Explorer, 14. 3. 1989 (01:51 UT).*



© Jakub Rozehnal

Polární záře u Tromsø v Norsku 17. 9. 2002. Vlevo ve 22:40 SEČ, exp. 30 s na Kodak EPL 5075, 400 ISO a vpravo ve 23:35 SEČ, exp. 15 s na EPL 5075, 400 ISO.

hou být podstatným problémem jak pro telekomunikační, tak pro energetické sítě. Například dne 13. 3. 1989 dorazil k Zemi oblak nabitých částic, který způsobil prudké změny magnetického pole. Indukované elektrické napětí zapříčinilo vyhoření hlavního transformátoru kanadské provincie Quebec. Totální kolaps energetické sítě zasáhl Ontario i Britskou Kolumbii. Lokální výpadky byly v Pensylvánii, New Yorku a Kalifornii. Šest milionů lidí bylo bez energie po devět i více hodin. Nad ztemnělou Amerikou se rozzářily nádherné polární záře...

Klasifikace polárních září

Škatulkování pojmů a jevů se nevyhnulo žádné vědecké disciplíně, astronomii nevyjímaje. Snad mají lidé pocit, že když jev pojmenují a zatřídí do nějaké soustavy jevů, porozumějí mu. Samozřejmě tomu tak není, nicméně astronomie je tímto fenoménem poznamenána citelně. Ať již jde o spektrální třídy, magnitudu, klasifikaci galaxií, atd. Polární záře také můžeme třídít do různých skupin. V 19. století se polární záře řadily do šesti typů A až F podle jejich zabarvení. Dnes je tato klasifikace již zapomenuta a nepoužívá se.

Dalšími relikty, nicméně používanými, jsou IBC index a Jonesova klasifikace. IBC (International Brightness Coefficient) index klasifikuje polární záře z hlediska jejich intenzity měřené v jednotkách rayleigh (10^6 fotonů dopadajících na 1 cm^2 za jednu sekundu). Polární záře dělíme dle intenzity do čtyř skupin:

IBC	Intenzita (R)	Ekvivalentní zdroj
I	10^3	mléčná dráha
II	10^4	cirry osvětlené Měsícem
III	10^5	kumuly ozářené Měsícem
IV	10^6	Měsíc v úplňku

Jonesova klasifikace rozděluje polární záře z hlediska jejich tvaru a proměnnosti do devíti skupin. Zavedl ji Vallance Jones v roce 1974: **HA** (Homogeneous Arc), homogenní oblouk, útvar bez struktury; **HB** (Homogeneous Band), homogenní pás, útvar proměnný ve vodorovném směru; **RA** (Rays Arc), paprskový oblouk, svislá paprsková struktura; **RB** (Rays Band), paprskový pás, svislá paprsková struktura měnící se vodorovně; **DS** (Diffuse Surface), difúzní povrch, nepravidelná stejnoměrně svítící oblast; **PS** (Pulsating Surface), pulzující povrch, jako DS, ale intenzita se mění v sekundách; **PA** (Pulsating Arc), pulzující oblouk, jako HA, ale intenzita se mění v sekundách; **C** (Corona), koróna, soustava paprsků podél magnetického pole; **F** (Flaming), plápolání, útvary proměnné intenzity pohybující se k zenitu.

Nejčastěji dnes používanou klasifikací je tzv. *Kp index*. Je odvozený od narušení zemského magnetického pole. Konkrétně se počítá logaritmus poruchy vodorovné složky magnetického pole Země. Tato porucha se průměruje přes tříhodinový interval a výsledkem je desetistupňová klasifikace (0 až 9). Stupeň 0 znamená zcela neporušené pole Země, stupeň 9 mimořádně silně narušené pole Země. V naší zeměpisné šířce musí být Kp index 8 nebo 9, aby byla nějaká šance uvidět polární záři. Evropa je pro pozorování polárních září znevýhodněna, neboť magnetický pól je o 10° skloněný směrem k Severní Americe. Síť amerických družic NOAA, určených pro pozorování atmosférických dějů, používá Kp index posunutý o jednotku, tj. index NOAA nabývá hodnot 1 až 10. Aktuální hodnotu a tvar aurorálního oválu s tendencí jeho deformace v nejbližších hodinách naleznete na stránkách NOAA [6] nebo na stránkách věnovaných kosmickému počasí [7].

Pozorování polárních září

Chcete-li uvidět polární záře na vlastní oči, je nevhodnější podniknout cestu na sever. Ideální je období kolem maxima slunečního cyklu, nejbližší rozumný termín je po roce 2010. V tomto období můžete spatřit až dvě polární záře denně. Než se vydáte na cestu, sledujte pravidelně po několik dní polohu aurorálního oválu na stránkách NOAA [6], abyste měli alespoň přibližnou představu, kam se vydat. V našich končinách lze doporučit například Norsko, ale počítejte s chladnými nocemi za polárním kruhem. Dobré je mít možnost pohybovat se automobilem a prohlédnout si aurorální ovál nejprve z boku, kdy na obloze uvidíte rozzářenou stěnu polárních září, která v průběhu noci několikrát pohasne a opět se zjasní. Většinou i v době, kdy ovál výrazněji nesvítí ve viditelném oboru, ho na obloze můžete přesto vytušit jako slabě zářící pás. Časová konstanta změny charakteru oválu je v minutách a tak je tento pohled z boku ideální pro fotografování.

Jedinečným zážitkem je ocitnout se přímo pod plápolajícími zářemi. V roce 2002 jsme měli to štěstí při expedici Aurora [5] hned několikrát. Má rada v tomto případě nebude příliš profesionálně astronomická. Myslím si, že ideální je lehnout si na karimatku na zem a prostě se dívat. Tančící stěny polárních září měnící se v sekundách stejně na žádné záznamové médium neuložíte tak, aby tato snaha vykompenzovala překrásnou, neopakovatelnou a nesdělitelnou podívanou. Stěny jakoby vlají, mění tvar i barvu, na krátký okamžik z nich vystupují jasně ohraničená vlákna, aby se po pár sekundách rozplynula do rozvlákných svítících záclon.

Pokud se rozhodnete fotografovat, je výhodné mít připravený velmi tuhý stativ (z dů



vodu omezení nežádoucího chvění), na který navěsíte několik fotoaparátů. Ideální je, aby v každém byl kvalitní film od jiného výrobce, filmy mají v různých oborech spektra různou citlivost a tak na některých filmech vyniknou červené části polárních září a na jiných zelené. Digitální fotoaparáty mohou sloužit pro rychlé ověřování expoziční doby. Vhodný je širokoúhlý objektiv s malou clonou (1,8–2,8) a ohniskovou vzdáleností maximálně 25 mm, čím méně, tím lépe. Ideální jsou několikasekundové expozice. Pokud fotografujete aurorální ovál z větší vzdálenosti, získáte ostré snímky s hvězdami na pozadí. Pokud ale fotografujete přímo vlnící se stěny, bude snímek vždy poněkud neostrý, vzhledem k difúznosti objektu to ale není nijak na závadu. Pokuste se několikasekundové expozice opakovat například v deseti nebo dvacetisekundových intervalech a z výsledné série složit animaci vývoje polární záře [5]. Pokud budete fotografovat přímo digitálním fotoaparátem, je třeba volit přístroj s minimálním šumem čipu, který umožňuje dlouhé expozice. Takový přístroj může být i při dnešním prudkém poklesu cen stále ještě relativně drahou záležitostí.

Snímky pořízené na kinofilm nebo svitkový film skenujte na kvalitním skeneru a v počítači se pokuste snížit šum. Výhodné je rozdělení snímku do RGB kanálů, v kanálu G se šum téměř nenachází, naopak nejvíce je v kanálu R. Šum můžete potlačit filtrem „medián“ nebo složením dvou snímků pořízených v co možná nejkratší době po sobě.

Cesta pólů

Většina čtenářů nepochybně ví, že magnetická osa Země je skloněná vzhledem k rotační ose o 10°. Jenže situace zdaleka není tak jednoduchá, jak by se na první pohled zdálo a tak si na závěr povězme o magnetickém dipólu Země něco více. Především je v současnosti jižní magnetický pól na severní polokouli, a pokud bychom byli důslední, činil by sklon magnetické osy 170°. Nicméně se zpravidla u všech planet udává jako sklon magnetické a rotační osy menší z obou úhlů. Střed zemského dipólu není navíc ve středu Země, ale je vychýlen o celých 515 km, tj. o 7,25 % poloměru.

Poznamenejme ještě, že definice severního magnetického pólu není úplně jednoduchá. Zemské magnetické pole má i nedipólové složky a proto rozlišujeme póly dva. Severní magnetický pól je skutečné místo, ke kterému

míří štělka kompasu a ve kterém silokřivky pole míří svisle (79,8° s.š., 71,9° z.d. pro rok 2007). Severní geomagnetický pól je místo, ve kterém by protínala povrch Země osa zemského magnetického dipólu (84,1° s.š., 123,7° z.d. pro rok 2007).

Poloha severního magnetického pólu podléhá změnám na nejrůznějších časových škálách. K nekratším patří denní variace způsobené otáčením Země oproti nalétávajícímu slunečnímu větru. Severní pól opisuje křivku vzdáleně podobnou jakési kostřbaté elipse s průměrem asi 80 km. Ze střednědobých variací je důležitý posun průměrné polohy zemského magnetického pólu, který je sledován přibližně od 17. století. V současnosti se poloha pólu přesouvá rychlostí 15 km za rok směrem z Aljašky na Sibiř. Pokud tato tendence vydrží, přesune se severní pól za století o 1500 km a Aljaška o svou výsadu nádherných polárních září přijde. K dlouhodobým variacím patří potom překlápění zemského magnetického pole. K poslednímu překlápění došlo před 780000 lety. V současnosti se magnetický dipólový moment Země zmenšuje, v roce 1945 měl hodnotu $8,08 \times 10^{15} \text{ T}\cdot\text{m}^3$ a v roce 2005 hodnotu $7,75 \times 10^{15} \text{ T}\cdot\text{m}^3$. V období přepólování magnetické pole Země nevymizí, Země je svým polem nadál chráněná, jen má podstatně složitější charakter než pole dipólové.

Geomagnetická šířka Prahy je 45,5°, což nás pro pozorování polárních září značně znevýhodňuje. Kp index musí dosáhnout své nejvyšší hodnoty (8–9), abychom měli šanci polární záře vůbec vidět. Nicméně při zcela výjimečných magnetických bouřích může aurorální ovál zasáhnout až k rovníku. V roce 1909 byla vidět polární záře dokonce v Singapuru.

Pokud by se chtěl čtenář s problematikou polárních září seznámit blíže, nalezne řadu užitečných informací na www stránkách expedice Aurora [5] a nebo v právě vycházející knížce [4].

Literatura k dalšímu čtení

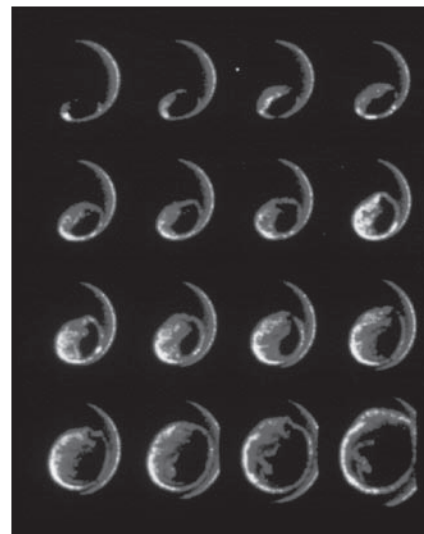
- [1] P. Kulhánek: Magnetická pole ve sluneční soustavě I–III. *Astropis* 3–4/2006 a 1/2007; [2] J. Rozehnal, P. Kulhánek: Expedice Aurora, *Čes. čas. fyz.* 1/2003; [3] J. Rozehnal: ... a nad hrobem polární zář. *Astropis* 2/2000; [4] P. Kulhánek, J. Rozehnal: *Hvězdy, planety, magnety*. Mladá fronta, Praha 2007; [5] Aldebaran: Expedice Aurora 2002, http://www.aldebaran.cz/actions/2002_aurora; [6] NOAA: <http://www.sel.noaa.gov/pmap>; [7] Kosmické počasí: <http://www.spaceweather.com>

Polární záře na ostatních planetách

Z terestrických planet má jediná Země tu výsadu, že je na ní možné pozorovat polární záře. Merkur sice má vlastní magnetické pole, ale je téměř bez atmosféry, a proto zde polární záře vzniknout nemohou. Venuše má naopak velmi hustou atmosféru, nemá ale vlastní magnetické pole. A Mars také není ideálním tělesem. Jeho atmosféra je velmi řídká a magnetické pole v současnosti nemá, i když v povrchových horninách jsou známky zbytkového pole (a dokonce jeho překlápění v minulosti). Proč Mars své magnetické pole ztratil, je záhadou.

Všechny obří planety jsou tělesa s mimořádně příznivými podmínkami pro vznik polárních září. Mají silná magnetická pole, neboť jejich nitro je tekuté a vodivé a vhodnou atmosféru. Na snímcích z Hubbleova vesmírného dalekohledu se můžeme obdivovat nádherným polárním zářím na Jupiteru a Saturnu. Snímky jejich aurorálních oválů jsou pořizovány v ultrafialovém oboru. Pokud bychom chtěli na fotografii uvidět i typickou pásovitou oblačnost těchto planet, je třeba zkombinovat snímek ve viditelném i UV oboru.

Na snímcích polárních září planety Jupiter můžeme v aurorálním oválu detekovat drobné uzlíky. Jde o narušení aurorálního oválu způsobené přítomností velkých měsíců (Io, Europa, Ganymed, Kalisto) v magnetosféře planety [1].



Aurorální ovál při magnetické bouři na jižní polokouli pozorovaný 13. 6. 1983 družicí Dynamics Explorer (02:02 až 05:17 UT) v ultrafialovém oboru