

Rozumíme sluneční koróně?

Michal Švanda



Pravděpodobně první pozorování koronálního výtrysku hmoty (CME) během úplného zatmění v roce 1860. Autorem kresby je Ernst Wilhelm Tempel. Reprodukce z Ranyard, C.A., Mem. Roy. Astron. Soc. 41 (1879), str. 520.

Pozorovací astronomie v sobě často skrývá nutnost cestování po celém světě. Astronomové nejčastěji cestují za přístroji, na nichž získali pozorovací čas. Zřídka je pak nutné vydat se na nějaké specifické místo na Zemi kvůli probíhajícímu úkazu. Mezi takové jevy patří úplné sluneční zatmění. Proč se pořádají hony za černým Sluncem? Jen při úplném zatmění je možné pozorovat bez problémů téměř celou sluneční korónu.

Vlastnosti vnějších vrstev sluneční atmosféry – chromosféry a koróny – neumožňují jejich rutinní pozorování ve viditelném oboru, neboť jsou beznadějně přezářeny mnohem jasnější fotosférou. Jedinými příležitostmi jsou úplná sluneční zatmění, nastávající na jednom místě zemského povrchu průměrně jednou za 370 let, kdekoliv na Zemi průměrně jednou za osmnáct měsíců. To věru nedává příliš příležitostí k detailnímu studiu těchto tajemství zahalených vrstev sluneční atmosféry, proto byla těmto výjimečným událostem právem věnována značná pozornost. Během zatmění 18. července 1860 zachytilo nezávisle na sobě několik pozorovatelů útvar, který byl nejspíše koronálním výronem hmoty. To naznačovalo, že tyto běžně neviditelné slupky jsou velmi zajímavé, což stimulovalo tvorbu optických přístrojů pro jejich rutinní pozorování.

Uspěl až Francouz Bernard Lyot, který v roce 1931 zkonstruoval speciální dalekohled, jenž dnes známe pod označením koronograf. Jeho nápad byl vlastně prostý. Jestliže úplné sluneční zatmění vznikne nasunutím měsíčního disku jako stínítka přes Slunce, proč tedy uměle nezastínit Slunce až v dalekohledu? Tato jednoduchá myšlenka je však tak náročná na optickou a mechanickou přesnost výrobku, že se s obtížným úkolem dokázal vypořádat až Lyot. Koronografy jsou kromě terčíků simulujících sluneční zatmění vybaveny ještě představeným polarizačním filtrem, který odstraňuje světlo rozptýlené v zemské atmosféře. I po zastínění fotosféry je totiž rozptýleného světla tolik, že se téměř vyrovná vlastnímu světlu řídké koróny. Naštěstí však mají oba zdroje záření jiné polarizační vlastnosti, takže použitím polarizačního filtru je možné rozptý-

lené světlo potlačit a zdůraznit tak štrapatou vnější sluneční atmosféru.

S pomocí koronografů je sice možné tuto řídkou sluneční atmosféru pozorovat každý den, ale zákrytové terčíky těchto přístrojů téměř vždy zakrývají výrazně více než jen sluneční kotouč. Informace o té nejnivnější koróně, která je pro fyziky tou nejzajímavější, však nezískáme téměř žádné. Úplná sluneční zatmění jsou jedinou příležitostí, kdy lze vnitřní korónu pozorovat.

Vlastnosti koróny jsou podle našich současných představ důsledkem struktury magnetického pole v nižších vrstvách atmosféry. Bez magnetických polí by se nejen koróna, ale zřejmě ani chromosféra nikdy nevytvořily. Sluneční fyzikové se přirozeně pokoušejí vlastnosti koróny modelovat a vytvářet s pomocí svých modelů předpovědi. Jakkoli je testování předpovědi fyzikálních modelů

v astronomii často složité až nemožné, v případě modelů sluneční koróny byla vědcům příroda milostivá. Úplná sluneční zatmění jsou totiž vynikajícím testem.

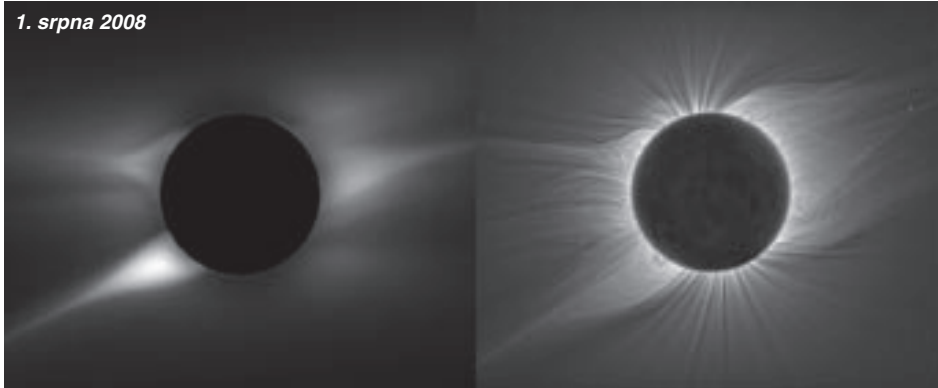
Tato disciplína je nesmírně obtížná. Stále ještě vlastně nevíme, proč je koróna tak výrazně teplejší (asi 2 000 000 °C) než pod ní ležící fotosféra (5 500 °C), proč se vlastně na rozhraní fotosféry a chromosféry klesající trend teploty náhle nelogicky obrací. Mechanismů, které by tzv. koronální ohřev mohly vysvětlit, bylo navrženo mnoho, ale soudobá sluneční fyzika je daleka přesvědčivému vysvětlení tohoto fenoménu. Jak je možné předpovědět něco, čemu vlastně nerozumíme?

Předpověď tvaru sluneční koróny při pozorování v tzv. bílém světle sestává vlastně ze dvou kroků. Prvním krokem je výpo-

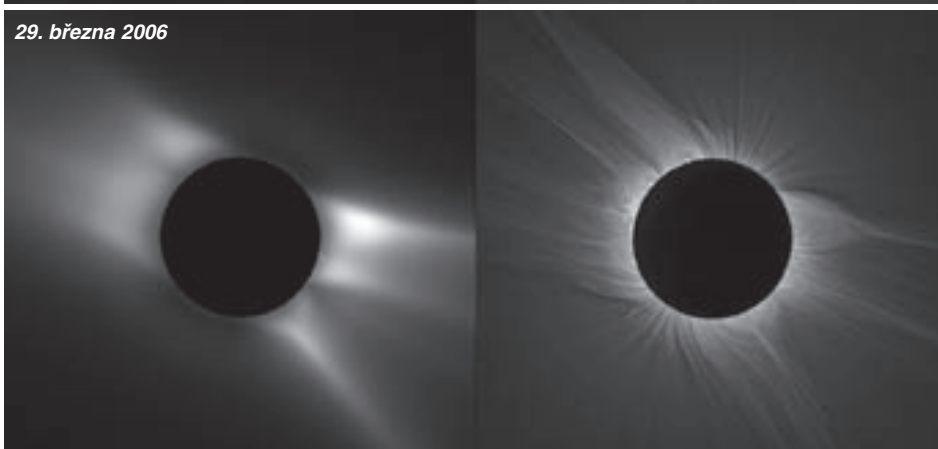
Sluneční koróna je vnější vrstvou sluneční atmosféry, která se volně rozpíná do meziplanetárního prostoru. Hlavní struktury v koróně pozorujeme do vzdálenosti přibližně pěti slunečních poloměrů. Proces rozpínání koróny je označován pojmem sluneční vítr. Rozpínání je umožněno vysokou teplotou v koróně, která dosahuje až deseti milionů stupňů. V blízkosti Slunce je tedy vždy dostatek částic, které mají vyšší než únikovou rychlost, jež činí přibližně 620 km/s. Dominantní fyzikální proces, který způsobuje vysokou teplotu v koróně, je doposud nejasný, přestože je známo několik procesů, které by při vhodných podmínkách mohly do koróny přinášet dostatečné množství energie.

Koróna není ve stavu termodynamické rovnováhy, a to ani lokálně, takže vysoká teplota je spíše mírou charakteristické rychlosti částic. Plazma v koróně je téměř vysoce ionizované (nalézáme zde např. třináctkrát ionizované železo), takže vlastní světlo koróny se nachází v daleké ultrafialové a rentgenové oblasti spektra. Koronální struktury můžeme přesto pozorovat během úplných slunečních zatmění nebo v koronografech, neboť na volných elektronech uvězněných v koronálním magnetickém poli se rozptyluje světlo fotosféry.

Na pozadí tohoto rámečku je složený snímek, sestavený z pozorování koronografu LASCO na kosmické družici SOHO a zpracovaný snímek úplného slunečního zatmění z 29. března 2006, pořízený v turecké Cappadocii. Pozorování ukazuje, že je možné na sebe velmi dobře navázat pozorování z různých přístrojů.



29. března 2006

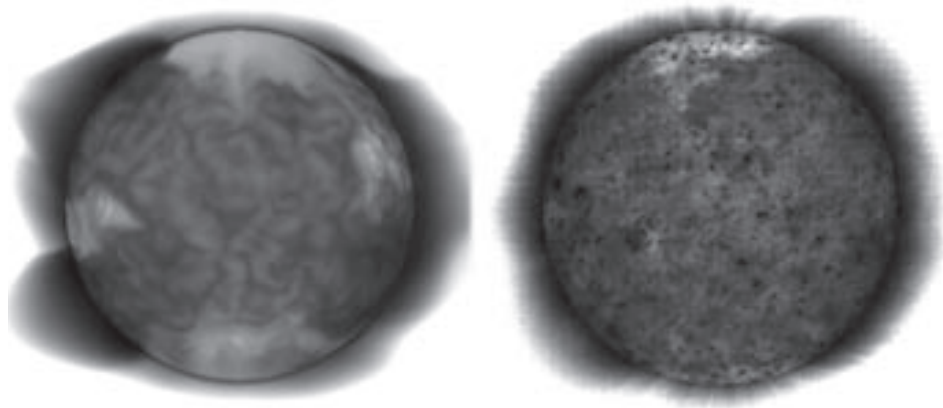


Porovnání modelů sluneční koróny (vlevo) a jejích skutečných pozorování (vpravo) pro dvě sluneční zatmění. Modelové snímky vznikají postupem popsáním v článku. Snímky skutečného zatmění jsou matematicky skládány ze snímků s různou expoziční dobou. Koróna je obtížná pro pozorování mimo jiné tím, že se v ní pozoruje velký rozsah jasů, který není problémem pro lidské oko, ale už je problémem pro fotografický film nebo digitální čip. Pořízením snímků s různou expoziční dobou se pak na každém z nich ideálně exponuje jen určitá část koróny. Chytrým složením série takových snímků je možné získat výsledek, který velmi věrně zachycuje např. pohled malým dalekohledem. Metodu takového skládání vyvinul prof. Miloslav Druckmüller z VUT v Brně, který s její pomocí úspěšně demonstruje jemné struktury v této vrstvě atmosféry.

čet struktury magnetického pole v koróně a vlastností koronálního plazmatu. Hraniční podmínky jsou dány nejnižší vrstvou atmosféry – fotosférou. Je samozřejmé, že měření magnetických polí jsou k dispozici pouze v minulosti, proto i tato pozorování je nutné extrapolovat do okamžiku zatmění. K tomu se využívá synoptických magnetických map, které přehledně popisují topologii magnetických polí na celém slunečním povrchu. Velkorozměrová magnetická pole, která jsou důležitá pro formování velkorozměrových struktur v koróně, se mění poměrně pomalu, takže k jejich extrapolaci v čase lze využít jednoduchých matematických modelů. To platí zejména v období minima sluneční aktivity. V období zvýšené aktivity bychom

se dopustili vzniku velkých chyb již v okrajových podmínkách.

Struktura fotosférického magnetického pole se společně s předpokladem jednotné hustoty a teploty ve fotosféře použijí jako



Na základě znalostí hustoty a teploty lze vypočítat i syntetické snímky koróny v určité spektrální čáře. Vlevo je výsledek modelu, jak by mělo vypadat Slunce 1. srpna 2008 kolem poledne ve spektrální čáře s vlnovou délkou 19,5 nm, vpravo pak skutečné pozorování přístrojem EIT na družici SOHO.

Mgr. Michal Švanda, Ph.D. (* 1980) vystudoval astronomii a astrofyziku na MFF UK. Působí na Astronomických ústavech MFF UK a AV ČR, kde se věnuje výzkumu dynamiky sluneční fotosféry.

okrajové podmínky v magnetohydrodynamických rovnicích. Tyto rovnice přesně popisují vztah magnetického pole a plazmatu. Soustavu diferenciálních rovnic není možné vyřešit s tužkou a papírem. Nastupují numerické metody, nejčastěji prováděné na superpočítačích. Trojrozměrné simulace jsou velmi náročné jak na rychlost procesoru, tak na velikost operační paměti. Výsledkem výpočtu je popis koronálního plazmatu. V každém místě, pro něž probíhaly výpočty, známe velikost a směr magnetického pole, hustotu, teplotu a směr a rychlost toku plazmatu.

V druhém kroku se na základě znalosti parametrů koronálního plazmatu vypočítají obrázky, které mají napodobovat korónu pozorovanou v bílém světle během zatmění nebo v koronografech. Světlo pozorované při těchto příležitostech není vlastním světlem koróny, ale světlem fotosféry, které je thomsonovsky rozptýleno na volných elektronech v koronálním plazmatu. Výpočet umělého zatměňového snímku tedy spočívá v součtu příspěvků rozptýleného světla od všech koronálních struktur v příslušném poloprostoru podél zorné přímky.

Se současnou výpočetní technikou a přesností určení okrajových podmínek je možné provádět pouze rekonstrukce velkorozměrových struktur, v nichž jsou naprosto vyhlazeny jakékoli detaily, které jsou tak často pozorovány během úplných zatmění. Jak jsou tyto simulace stavu koróny úspěšné, už necháváme na čtenářích. Odpověď na otázku v titulku je asi bohužel jasná. Sluneční koróně stále ještě rozumíme jen velmi málo. ■

Více o MHD simulacích koronálního plazmatu na adrese www.imhd.net.