



Nejsilnější erupce 24. cyklu sluneční aktivity, X9.3 ze 6. září 2017, dvěma různými pohledy. Snímky zachycující vzplanutí byly pořízeny v různých vlnových délkách extrémního ultrafialového světla

Slunce

známé neznámé

Naše nejbližší hvězda neúnavně zásobuje povrch Země světlem a teplem. Energie jejího záření pohání téměř veškeré procesy na modré planetě. Na více i méně známé aspekty Slunce jsme se zeptali vědce a skvělého popularizátora vědy Michala Švandy

Ptala se Jana Žďárská

? Zabýváte se sluneční fyzikou, dynamickými procesy ve sluneční atmosféře i v podvrchových vrstvách naší hvězdy a také helioseizmologií. Jak se stane, že člověka upoutá právě Slunce?

Je to trochu paradoxní. Nepocházím z bohatých poměrů, takže jsem velkou část prázdnin vždycky trávil na brigádách, převážně manuální prací. Na gymnáziu v Chotěboři jsem měl obrovskou podporu v třídní profesorce Marii Menšíkové, která nás učila i matematiku a fyziku. A když byl v Astronomickém ústavu v Ondřejově den otevřených dveří, s jejím souhlasem jsem tam na vlastní pěst vyrazil.

Moc si nepamatuju, určitě mi ale utkvěl rozhovor s doktorem Miroslavem Šlechtou, který mě ubezpečoval, že je možné sehnat na ústavu prázdninovou brigádu. Napsal jsem tedy dopis s dotazem a ten se interní poštou dostal k doktoru Miroslavu Klvaňovi, který na každé prázdniny sháněl pozorovatele k magnetografu. Projevil o mě zájem a domluvili jsme se. V té době jsem o Slunci nevěděl skoro nic. Už první léto

jsem však v Ondřejově strávil přes dva měsíce, i když byl v plánu jen jeden, a pak jsem se vracel pravidelně, protože mě to zaujalo.

? Narodil jste se v Havlíčkově Brodě, ale osud vás zavál až do Prahy. Jaká to byla cesta a kdy jste se poprvé začal zajímat o astronomii?

V Havlíčkově Brodě jsem se sice narodil, ale strávil jsem tam všehovšudy asi týden v porodnici, jinak jsem vyrostl na vesnici ve Žďárci nad Doubravou. Obloha mě zajímala odmala, určitě i pod vlivem seriálu Okna vesmíru dokořán. Vážněji jsem se však o ni začal zajímat někdy v deseti letech, poté co jsem s rodiči navštívil pražské planetárium a odnesl si odtud její otočnou mapku. O pár let později jsem dostal k Vánocům i první dalekohled, plastovou stavebnici Astro Cabinet 90. V bezprostředním okolí či v dostupnosti veřejné dopravy (protože jsme nevlastnili automobil) nebyla bohužel žádná hvězdárna, takže jsem studoval knihy a dopisoval si s planetáriem. V patnácti jsem se poprvé

přihlásil na Expedici na hvězdárnu v Úpici. Tam to všechno nabralo větší spád.

? Zdá se, že vás úpická hvězdárna nasměrovala přímo ke Slunci...

Na Expedici mě astronomie opravdu zaujala, takže když jsem řešil, co po gymnáziu, byl jsem rozhodnutý jít ji studovat. Musel jsem si vybrat, jestli do Prahy, nebo do Brna. Nebyla to lehká volba, protože velká část mých přátel z Expedice šla do Brna, kde se kolem hvězdárny formovala velmi aktivní komunita. Přesto jsem zamířil do Prahy na Univerzitu Karlovu a dodnes jsem přesvědčený, že jsem zvolil dobře.

? Jak by podle vás mohla znít základní definice Slunce?

Slunce je v prvé řadě hvězda, a to přímo hvězda nám nejbližší. Bez něj by nebyl na Zemi možný život, naše planeta by byla zmrzlá, pustá a temná. Bez velké nadsázky jej tedy můžeme považovat za nejdůležitější objekt Sluneční soustavy.

Kdo je ...

Doc. Mgr. Michal Švanda, Ph.D., (*1980)

Vystudoval astronomii a astrofyziku na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy (MFF UK), kde také dokončil doktorské studium ve stejném oboru. **Zabývá se sluneční fyzikou, zejména dynamickým děním ve sluneční atmosféře, podpovrchových vrstvách a helioseizmologií, vztahy Slunce a Země i aktivitou jiných hvězd.** Pracuje v Astronomickém ústavu Akademie věd ČR v Ondřejově a v Astronomickém ústavu MFF UK v Praze, kde se v roce 2016 habilitoval. V letech 2009–2011 působil v Institutu Maxe Plancka pro výzkum Sluneční soustavy v německém Katlenburg-Lindau.

**? Jaký má Slunce tvar, přesná koule to není, že? O kolik se liší jeho rovníkový a polární poloměr?**

Slunce, stejně jako jiné nebeské objekty, rotuje. Kolem své osy se otočí přibližně jednou za měsíc. Současně se nejedná o ideálně tuhé těleso, takže se působením odstředivé síly jeho tvar, který by mohl být ideálně kulový, deformuje, zplošťuje. S ohledem na pomalou rotaci a velikost gravitační síly je však zploštění malé, v řech čísel jde asi o devět miliontin poloměru. Rozdíl mezi rovníkovým (větším) a polárním poloměrem tak dosahuje přibližně šesti kilometrů. Je nesmírně obtížné to měřit, pro uvedené účely vznikly jednoúčelové přístroje, a některé se dokonce vydaly na oběžnou dráhu. Je-li Slunce zploštělé, znamená to, že má nenulový druhý moment gravitačního pole – takzvaný J_2 moment –, což má vliv na dlouhodobé změny pohybu kosmických těles.

? Jaký je tvar vnitřního Slunce, které rotuje rychleji než jeho povrch?

Vnitřek Slunce nerotuje rychleji než povrch. Rychlost rotace jádra a zářivé vrstvy je něco mezi povrchovou rovníkovou a povrchovou polární rotací. Tyto dvě vrstvy se otáčejí téměř jako tuhé těleso, tedy konstantní úhlovou rychlostí. „Fáma“ o rychlé rotaci nitra pochází z článku Fossata a kolektivu, publikovaného na začátku tohoto roku v časopise *Astronomy & Astrophysics*, jenž získal velkou popularitu.

Mnohem menší popularitu v médiích si vysloužil bezprostředně navazující článek

Hannah Schunker, mé bývalé spolupracovnice z „postdocového“ pobytu v Německu, která analýzu zopakovala a zjistila, že prezentované důkazy a metody jsou přinejmenším nepřesvědčivé. Jednoznačně ukázala, že pokud se z dvanáctileté série měření použitých pro stanovení rychlosti rotace nitra odeberou pouhé dvě hodiny pozorování, důkazy o rychlé rotaci zcela zmizí. Výsledek Fossata a kolegů tedy téměř jistě neodpovídá fyzikální realitě a sluneční nitro nerotuje rychleji než povrch.

? Uprostřed Slunce panuje teplota přes patnáct milionů kelvinů.**Jaká je však teplota na povrchu?**

Předně je třeba říct, že Slunce žádný pevný povrch nemá. Je to koule plazmatu, žhavých plynů. Působením vlastní gravitace je však výškově rozvrstveno: Látka ve středu je hustší, směrem ven řidne a v určité vzdálenosti od centra její hustota prudce klesá. Nastanou tam takové podmínky, že látka zprůhlední pro fotony viditelného záření. Tato hranice je poměrně ostrá, její tloušťka činí kolem tří set kilometrů, což je opravdový zlomek ve srovnání se slunečním poloměrem, tedy sedmi sty tisíci kilometry. Kvůli této „ostrosti“ pak zmíněnou vrstvu – ve skutečnosti fotosféru neboli spodní vrstvu atmosféry Slunce – označíme jako povrch sluneční koule. Teplota látky tam dosahuje přibližně šesti tisíc stupňů, což v porovnání s centrální teplotou znamená značný pokles.

Situaci si lze představit tak, že v jádru Slunce „hoří“ termojaderný reaktor, kde vzniká sluneční svítivost a vnějšími

obaly se pak už jen přenáší. Protože však objem koule se vzdáleností roste, objemová hustota energie klesá, a látka proto chladne. Není to zcela přesné, ale pro prvotní představu to stačí.

? A co bychom si měli představit pod často používaným pojmem „aktivita Slunce“?

Kdyby bylo Slunce klidnou hvězdou, bylo by vcelku nudné. Naštěstí pro nás astronomové protkávají sluneční těleso i atmosféru magnetická pole a koncentrují se do větších organizovaných struktur. Právě v nich vznikají všechny projevy takzvané aktivity Slunce. Jako aktivitu označujeme veškeré jevy, jež souvisejí s proměnností magnetického pole. K nejznámějším patří sluneční skvrny, ale nelze nezmínit ani protuberance, fakulová pole či erupce. Nutno podotknout, že magnetická aktivita nepředstavuje pouze doménu Slunce – podobně se projevují i jiné stálice, pak ovšem mluvíme o hvězdné aktivitě.

? Střední vzdálenost Země od Slunce definovala takzvanou

astronomickou jednotku (AU). Kdo a proč ji stanovil?

Astronomická jednotka se používá jako jednotka vzdálenosti a v zásadě je dána vzdáleností naší planety od Slunce. Dnes je definována fixně, ale její určení z proměrování Sluneční soustavy vychází. U jejího zavedení nestálo nic jiného než snaha minimalizovat číselné hodnoty vyjádření délek v našem solárním systému. Centimetry, metry a kilometry jsou příliš krátké: Pokud chceme udávat například poloosy oběhů planet, musíme použít číselné hodnoty s vysokými exponenty. Ty si pak obvykle

lovině sedmnáctého století z proměrování opozice Marsu. Přesnější hodnotu získali astronomové o sto let později při pozorování přechodu Venuše přes sluneční disk.

? Sluneční těleso se spolu s atmosférou dělí na několik vrstev. Mohl byste nám popsat jeho strukturu?

Jak již bylo řečeno, díky gravitační síle je Slunce hloubkově rozvrstveno. Směrem do středu sluneční koule narůstá lokální hustota stejně jako tlak, což v důsledku znamená i nárůst teploty. Ten je ještě pod-

běžet termojaderné reakce; ale přesto dost vysoká, aby bylo husté plazma pro prolétající fotony záření průhledné. V této vrstvě sahající od dvaceti pěti do sedmdesáti procent slunečního poloměru se fotony přenášejí difuzí, neustále se srážejí s částicemi pozadové látky, tedy převážně protony, a rozptylují se na nich.

Zhruba na sedmdesáti procentech poloměru však teplota látky poklesne na hodnotu kolem dvou a půl milionu stupňů, kdy začínají rekombinovat ionty některých kovů, například železa. Látka díky tomu prudce zneprůhlední, přenos difuzí

” Kdyby bylo Slunce klidnou hvězdou, bylo by docela nudné. Naštěstí sluneční těleso i atmosféru protkávají magnetická pole...

nikdo nepamatuje. Naproti tomu snadné porovnání se vzdáleností Země–Slunce se zapamatovat dá, neboť jde o malá čísla.

Není zcela jasné, kdo veličinu poprvé použil coby jednotku. Jisté však je, že se historicky měnily metody jejího měření (v metrech) a jako první se správné hodnotě přiblížili Francouzi ve druhé po-

trženi činnosti „reaktoru“ v jádru, neboť tam při teplotě 15,7 milionu stupňů a při 162násobku hustoty vody probíhá termojaderné slučování vodíku na helium.

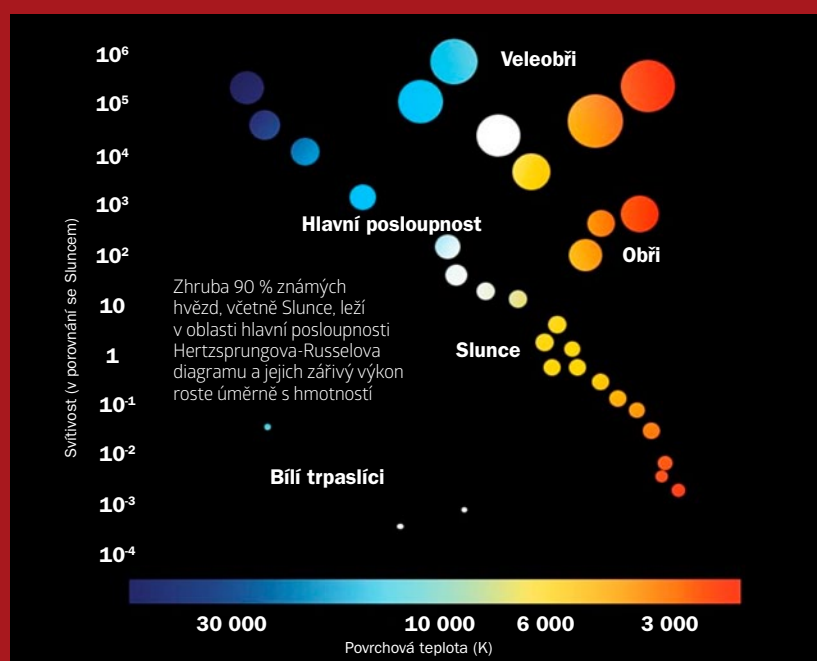
Jádro zasahuje přibližně do pětadvaceti procent slunečního poloměru a plynule přechází ve vrstvu, kde je teplota nižší než hodnota, při níž mohou efektivně

záření dál není možný, respektive je velmi neefektivní. Až k povrchu se tedy uplatňuje takzvaná konvekce, kdy se energie přenáší pohybem společně s látkou – proto danou oblast označujeme jako konvektivní zónu. Následuje fotosféra, o níž už byla řeč, a nad ní se nacházejí ještě dvě řídké vrstvy sluneční atmosféry, chromosféra a koróna.

Hvězdný diagram

Hvězdy mají různé vlastnosti, podle nichž je lze katalogizovat. Jedno takové grafické rozdělení provedli na začátku 20. století nezávisle na sobě Einar Hertzsprung a Henry Russell, přičemž zmíněný diagram nese od té doby jejich jméno – Hertzsprungův–Russellův nebo zkráceně HR. Pro každou hvězdu přitom určuje dvě veličiny: její spektrální typ (údaj, který zhruba odpovídá povrchové teplotě tělesa) a její svítivost (jež přibližně koresponduje s celkovým zářivým výkonem hvězdy).

Uvedené veličiny se pak použijí jako souřadnice dvojrozměrného grafu. Již první pokusy o jeho sestavení ovšem ukázaly, že stálce nevyplňují plochu mezi osami rovnoměrně. Převážná část z nich se kupí kolem diagonály, přičemž mluvíme o **hlavní posloupnosti**. Další nalezneme vpravo nahoře nad diagonálou, v oblasti chladných zářivých



hvězd – **rudých obrů**. Naopak zcela dole vlevo, v oblasti teplých, málo zářivých hvězd, se nacházejí **bílí trpaslíci**. A konečně úplně

nahoře je oblast **obrů a nadobrů**, tedy skutečně obřích a hmotných hvězd.

? Které sondy v současné době pracují v blízkosti Slunce a na jakých úkolech?

V blízkosti Slunce, pokud vím, nyní žádná sonda nepracuje. Drtivá většina funkčních aparátů je buď ve velmi těsném sousedství Země, na její oběžné dráze, nebo ve vzdálenostech, které jsou se vzdáleností zemské orbity srovnatelné. Mluvili bychom nejspíš o slunečních sondách v libračním bodě L_1 nebo o dvojici automatů STEREO na oběžných dráhách s poloosou blízkou jedné astronomické jednotce.

Z nefunkčních zařízení se asi nejbliž ke Slunci dostává dvojice satelitů Helios, vypuštěných v sedmdesátých letech pro výzkum slunečního větru: V periheliu se pohybovaly i pouhé tři desetiny astronomické jednotky od hvězdy. V současnosti se do její blízkosti chystají dvě družice: Americká Parker Solar Probe odstartovala letos v srpnu a evropský průzkumník Solar Orbiter by měl vzlétnout v únoru 2020.

? Kvůli slunečnímu záření nejsme schopni včas vysledovat asteroidy přilétající ze směru za ním. Stalo

vyvolávat geomagnetické bouře, které se pojí s neblahým vlivem na pozemskou infrastrukturu. Na dlouhých vedeních se indukují nežádoucí vysoká napětí, zvýšenou měrou korodují ropovody, dochází k ovlivňování až destrukci prvků rozvodných sítí, k rušení rádiového spojení, přesnosti navigací, poškozování družic na oběžné dráze. V extrémním případě, jaký se v minulosti odehrál prvního září 1859 nebo třináctého července 2012 (tato erupce směřovala mimo Zemi), by nastalo velmi závažné poškození uvedených prvků a pesimistické dohady mluví o vynuceném dlouhodobém návratu do doby „předelektrické“. To by mělo obrovský vliv na život celé západní civilizace. Zmíněným událostem se nedá předejít, cílem je tedy naučit se je předpovídat a udělat vše pro odvrácení největších škod.

? Víme, kdy a jakým způsobem Slunce zakončí svoji existenci?

Slunce se v současné době nachází na hlavní posloupnosti takzvaného Hertzsprungova-Russelova diagramu, dlouhodobě se tedy prakticky nemění. Postupně však vyčerpává jaderné palivo v jádru,

Slunce v kostce

Rovníkový průměr:	1 392 784 km (= 109 Zemí)
Objem:	$1,41 \times 10^{18}$ km ³ (= 1 300 000 Zemí)
Hmotnost:	$1,98855 \times 10^{30}$ kg (= 333 000 Zemí)
Průměrná hustota:	1,408 g/cm ³
Hustota v jádru:	162,2 g/cm ³
Úniková rychlost:	617,7 km/s
Povrchová teplota:	5 772 K (=4999 °C)
Teplota v jádru:	15 700 000 K
Perioda rotace na rovníku:	25,05 dne
Perioda rotace na pólu:	34,4 dne

a jejich okolí. S kolegy z Ondřejova intenzivně vyšetřujeme záznam erupce z loňského šestého září, třídy X9,3, tedy nejsilnější erupce čtyřicetiletého cyklu aktivity. Podařilo se během ní zachytit některá unikátní pozorování, jež nám zřejmě umožní omezit řadu modelů původu viditelného světla v takzvaných bílých erupcích.

Celková statistika bílých erupcí představuje další výzkumný projekt, který

” Vnitřek Slunce nerotuje rychleji než jeho povrch. „Fáma“ o rychlé rotaci nitra pochází z článku publikovaného na začátku tohoto roku

se tak i v případě tělesa 'Oumua-mua – eventuálně nějakých dalších?

Musíme se smířit s tím, že z hlediska sledování meziplanetárních objektů budeme ze Země a jejího okolí vždy omezeni jen na půlku oblohy. Cokoliv tedy přiletí ze směru od Slunce, nám zůstane skryto. Nejde jen o zmíněný asteroid, ale i o další: K těm známějším patří třeba meteorit, jenž dopadl v roce 2013 u Čeljabinsku. Pro monitorování druhé půlky oblohy je nutné Zemi opustit a vyslat stanici či radar do vesmíru, například do blízkosti Venuše nebo obecně do centra Sluneční soustavy.

? O pozitivních účincích Slunce víme poměrně hodně. Mohl byste nám říct, čím může naopak naše hvězda ovlivnit život na Zemi negativně?

Silné erupce spojené s výrony hmoty do koróny mohou při „správném“ směřování

tudíž mimo jiné neustále pomalu expanduje. V časové ose se dílčí modely mírně liší, v jednotlivých stadiích se však shodují: Za 6,4 miliardy let palivo v jádru dojde a Slunce se rozepne do stadia rudého obra. Přibližně po další miliardě roků odhodí v termálních pulzech své vnější obálky a změní se v bílého trpaslíka. Poté bude desítky miliard let chladnout, než se z něj stane trpaslík černý. Planetární systém, přinejmenším jeho vnitřní části, tyto změny rozvrátí a vnitřní planety včetně Země budou pohlceny.

? Mohu se zeptat, na jakém vědeckém úkolu v současné době pracujete a zda se také týká Slunce?

Letos se nám podařilo získat grant na studium vývoje aktivních oblastí, takže v tomto smyslu jsme začali prohledávat a zpracovávat datové archivy. Cílem je studovat formaci a rozpad slunečních skvrn a strukturu proudění v nich

vedu. K tomu ještě vyhodnocujeme otázku možného vlivu sluneční aktivity na prvky české rozvodné sítě, což je v našich zemích pilotní projekt. Aby toho nebylo málo, tak se podílím na vyhodnocování pozorování proměnné hvězdy Beta Canis Minoris, učím, starám se o několik počítačů, vedu studenty a pokouším se popularizovat astrofyziku. Mám dlouhý úkolníček a seznam se nezkracuje.

? A který ze svých dosavadních vědeckých výsledků považujete za nejdůležitější?

Tak na ten ještě stále čekám. ☞

Mgr. Jana Žďárská působí jako tajemnice Kosmologické sekce České astronomické společnosti. K astronomii ji v dětství přivedl otec, v rámci její popularizace se věnuje ponejvíce rozhovorům s vědeckými osobnostmi a reportážím z astronomických akcí