

Časopriestor Spacetime

7 3/2020
ISSN 2730-0110

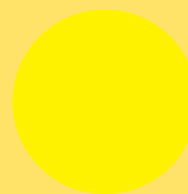
Interaktívne vedecko-popularizačné médium významných autorov a vedeckých pracovníkov
Interactive popular science medium of important authors and scientists

RNDr. Vojtech Rušin, DrSc.

Naša hviezda
SLNKO

Obsah

- 3 RNDr. Vojtech Rušin, DrSc.
- 6 Stručne z dejín výskumu Slnka
- 12 Aké je teda vlastne Slnko?
- 17 Slnko ako súčasť našej Galaxie
- 18 Fotosféra Slnka
- 19 Jadro Slnka, Oblasť žiarivej rovnováhy, Tachoklína, Konvektívna zóna,
Chromosféra, Prechodová vrstva, Koróna
- 20 Heliosféra
- 22 Slnčné erupcie
- 23 Výron koronálnej hmoty
- 26 Môj (náš) prínos k výskumu Slnka
- 27 Záver
- 28 Literatúra
- 29 Addendum



RNDr. **Vojtech** **RUŠIN**, DrSc.



Astronóm, cestovateľ a fotograf. Po celý čas pracuje v Astronomickom ústave Slovenskej akadémie vied (od roku 1959). Dialkovo študoval na PF UK v Bratislave, doktorát získal na Karlovej univerzite v Prahe. Predmetom jeho výskumu bola slnečná koróna a protuberancie, ich časovo-širokový vývoj v priebehu cyklu slnečnej aktivity a vzťah k iným prejavom slnečnej aktivity. Korónu skúmal nielen z Lomnického štítu (1964 – 1995), ale aj počas úplných zatmení Slnka na rôznych miestach zemského povrchu celkom 22-krát; prvých 15 expedícií aj viedol (Niger, India, ZSSR, Mexiko, Austrália a pod.). V rokoch 1995 – 2005 bol členom Predsedníctva SAV. Je nositeľom Pribinovho kríža II. triedy, Ceny SAV za vedecký výskum a popularizáciu vedy; meno „RUŠIN“ nesie planétka 26390. Svoje poznatky propaguje formou prednášok, fotografií, výstav či kníh (doteraz 10).

Vzdelanie: 1948 – 1956: Osemročná stredná škola – Spišské Hanušovce, 1956 – 1959: Jedenásťročná stredná škola (Gymnázium) – Kežmarok, 1964 – 1970: Komenského univerzita, Prírodovedecká fakulta – Bratislava, 1975: RNDr., Karlová univerzita – Praha, 1978: CSc., SAV, Bratislava, 1994: DrSc., SAV, Bratislava.

Zamestnanie: Vedúci vedecký pracovník (astronóm, slnečná fyzika); na AsÚ SAV od roku 1959, v rokoch 1995 – 2005 súčasne aj člen Predsedníctva SAV.

Oblasť výskumu: fyzika a štruktúra slnečnej koróny (bielej a emisnej) a protuberancií, štúdium časovo-širokového rozdelenia emisnej koróny a protuberancií v cykloch slnečnej aktivity, dynamika prejavov slnečnej aktivity, príprava a vedenie 22 vedeckých expedícií za úplnými zatmeniami Slnka na rôzne miesta zemského povrchu, dlhoročná aktívna účasť na pozorovaniach slnečnej koróny a protuberancií na Lomnickom štíte. V Predsedníctve SAV bol predsedom komisie pre periodické hodnotenie vedeckých pracovísk SAV (aktívne sa zúčastňoval na práci expertov EU, DG RTD; 1998 – 2005) a predsedom Komisie pre sieť a spoločnú výpočtovú techniku (budovanie siete SANET).

Vedecká a odborná činnosť: viac ako 210 vedeckých článkov (individuálne aj v spolu-

autorstve), okolo 80 referátov doma a v zahraničí, 4 knihy (Slnečná koróna – v spoluautorstve, individuálne: Slovenský astronóm M. R. Štefánik, Slnko – naša najbližšia hviezda, Astronóm Milan Rastislav Štefánik, Vesmír vo vrecku), koeditor dvoch vedeckých zborníkov (1994 a 1999), spoluautor prekladu jednej knihy (z angličtiny do slovenčiny), viac ako 500 citácií, z toho viac ako polovica v SCI/WOS. Vedenie populárnovedeckých projektov LPP-0146-06 a LPP-0078-09 (APVV) a troch medzinárodných vedeckých projektov (2x EOARD a NSF).

Členstvá: Medzinárodná astronomická únia (IAU), American Geophysical Union (AGU), European Astronomical Society (EAS), Česká astronomická spoločnosť, Slovenská astronomická spoločnosť (predseda v rokoch 1992 – 1995 a 1995 – 1999, maximum dva razy), Slovenská fyzikálna spoločnosť, Central European Academy of Sciences and Art (od 1999). Člen pracovnej skupiny pre zatmenia Slnka pri IAU, člen redakčnej rady časopisu „Kozmos“ (1987 – 1994, v rokoch 1990-1994 predseda), „Říše hvězd“ (1994 – 2000) a „Pokroky matematiky, fyziky a astronomie“ (2000 – 2018), člen Vedeckej rady Žilinskej univerzity (1999 – 2002) a Fakulty prírodných vied ŽU (2001 – 2004), člen Správnej rady SAIA, n. o. (od 1966). Podpredseda VV Rady slovenských vedeckých spoločností pri SAV (2008 – 2013, od roku 1995 člen).

Ceny (najvyššie): 1982, 2005 – Cena SAV za vedecko-popularizačnú činnosť, 1984 – Pamätná medaila Slovenskej astronomickej spoločnosti pri SAV, 1989 – Cena SAV za vedeckú činnosť, 2002 – Platinová medaila Strojníckej univerzity Technickej univerzity, Košice, 2002 – Medzinárodná astronomická únia: Asteroid 26390 bol pomenovaný menom „RUŠIN“, 2004 – Propagátor vedy a techniky, Zväz slovenských vedecko-technických spoločností, 2006, 2016 – Literárny fond: Prémia za vedeckú a odbornú literatúru (dve knihy), 2009 – prezident SR na návrh vlády SR: Pribinov kríž II. triedy, 2009 – Cena mesta Vysoké Tatry, 2015 – ARTEM: Identifikačný kód Slovenska, 2020 – Nadácia profesora Š. Kassaya: Zlatá medaila Štefana Kassaya.

Naša hviezda

Slnko

Sú ľudia, ktorí zo Slnka robia žltú škvrnu (maliari).

Sú ľudia, ktorí zo žltej škvrny robia Slnko (astronómovia).

Každý človek má svoju „hviezdu“, napríklad – dieťa, frajerku, manželku/manžela, peknú filmovú herečku či herca, alebo svalnatého playboja alebo nebudaj Ramba, ktorého vytvoril kanadsko-americký spisovateľ David Morrel v poviedke „Prvá krv“ (1972). Máme však aj iné, skutočné hviezdy, ktoré nám blikajú nad hlavami za jasnej bezmesačnej noci, ak sme ďaleko od pouličného osvetlenia. Medzi nimi sa vymyká jedna životodarná, denná, naša najbližšia hviezda – Slnko, centrum Slnečnej sústavy, ktorá, ak by bola od nás tak ďaleko, ako sú iné hviezdy, bola by tiež len svetlým bodíkom na oblohe. Ľudstvo dlho nepoznalo, čo sú hviezdy, nepoznalo ani to, čo je Slnko. Ale z vlastných skúsenosti vedelo, že Slnko nám dáva svetlo, teplo a energiu, bez ktorých život na Zemi by nebol možný. Slnku sklada-

li hymnusu (za najstarší sa pokladá na božstvo Slnka Atona v starovekom Egypte v polovicike 14. storočia pred Kristom) a ódy na slávu, uctievali ho ako božstvo, stavali mu chrámy, na zmierenie mu obetovali aj ľudské obete – všetko zbytočne. Slnko nedokážeme ovplyvniť, ale Slnko nás áno. „Slnko je kopa horiaceho kameňa, o málo väčšia ako Grécko“ napísal staroveký filozof Anaxagoras v roku 434 pred Kristom. Zaujímavá myšlienka, ale je tomu skutočne tak? Samozrejme, že nie, i keď v prenesenom význame slova „horiaceho“, kus pravdy je. Skúsme sa dnešnými očami pozrieť, čo je Slnko, prečo svieti, ako dlho ešte bude svietiť, a či okrem žiarivej, životodarnej energie nám na ňom niektoré pozorované procesy aj škodia. Nemám na mysli celodenné opaľovanie sa bez ochranných prostriedkov.

RNDr. Vojtech Rušin, DrSc.



Ocenený Zlatou medailou Nadácie profesora Štefana Kassaya
na podporu vedy a vzdelávania

Stručne z dejín výskumu Slnka

Slnko pre svoje žiarivé svetlo a nevyčerpatelnú energiu bolo považované za božstvo takmer vo všetkých starých civilizáciách a zobrazovalo sa však rôznymi spôsobmi na kalendároch, často s podobou človeka. Bolo stelesnením dokonalosti, krásy a nedotknuteľnosti, hoci prvé, zriedkavé pozorovania tmavých miest (slnečné škvrny) na jeho povrchu podľa najnovších výskumov sa pripisujú Číňanom okolo roku 800 pred Kristom („History of Solar Physics: A Time Line of Great Moments: 1223 BC-250 BC.“ Prvá zmienka o zákrese slnečných škvŕn v Európe sa pripisuje anglickému mníchovi menom John of Worcester v decembri 1128. Nijaká pozornosť sa však týmto javom nevenovala.

Viac pozornosti sa venovalo zatmeniam Slnka, najmä úplným, pretože podľa babylonských a čínskych astrologov tieto úkazy boli zlým znamením pre kráľov a vládcov. Prvotný záznam o pozorovaní zatmenia Slnka, ktoré nastalo dňa 22. októbra 2134 pred Kristom, tiež vedie do Číny. Traduje sa, že Babylončania a Číňania vedeli predpovedať zatmenia Slnka už okolo roku 2 500 pred Kristom, o čom dost pochybujem. Záznamov o pozorovaní zatmení bolo viac ako o slnečných škvrnách, ale to bolo všetko. Je zaujímavé, že „bledomodrému svetlu“ (koróne) nad tmavým mesačným diskom sa veľká pozornosť nevenovala.

Prvú zásadnú zmenu v pohľade na Slnko spôsobil v roku 1543 poľský kanonik a astronóm Mikuláš Koperník, ktorý vo svojom diele *De revolutionibus orbium coelestium* napísal, že nie Slnko obieha okolo Zeme, ale naopak – Zem okolo Slnka. Dovtedy, podľa gréckeho filozofa Ptolemaia, Slnko obiehalo Zem, ktorá sa považovala za stred Vesmíru. Ale, ani Zem a ani Slnko nie sú stredom Vesmíru. Trvalo okolo sto rokov, kým sa Kopernikova myšlienka, založená na pozorovaniach, ujala.



Mayský kalendár, v centre ktorého je hypoteticky božstvo Slnka.



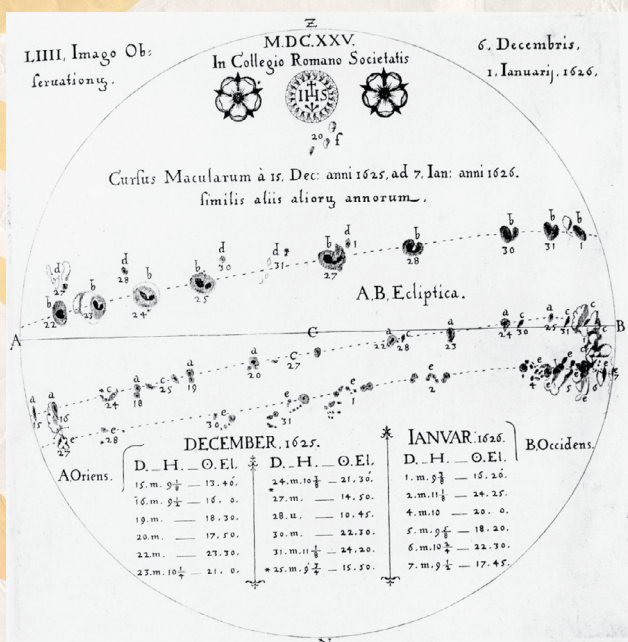
Predstava Slnka v indickej mytológii. Foto: V. Rušin.

Druhým klincom do výhradného postavenia Slnka prišlo po roku 1610, keď sa pomocou ďalekohľadov zistilo (G. Galileo, T. Harriot, D. Fabricius a Ch. Scheiner), že povrch Slnka je často pokrytý tmavými fľakmi (škvrnami). Na základe ich pravidelného pozorovania sa ukázalo, že Slnko sa otáča! A to nie ako pevné teleso, ale na rovníku sa otočí rýchlejšie ako na pólach. Neskôr (1843) H. S. Schwabe, nemecký lekárnik, na základe vlastných 17-ročných pozorovaní zistil, že poloha, počet a veľkosť slnečných škvŕn na slnečnom povrchu má kvázi cyklický charakter. Na základe pozorovaní slnečných škvŕn od roku 1749 sa zistilo, že dĺžka priemerného cyklu slnečnej aktivity má 11 rokov (minimálne 8 rokov, maximálne 14 rokov).

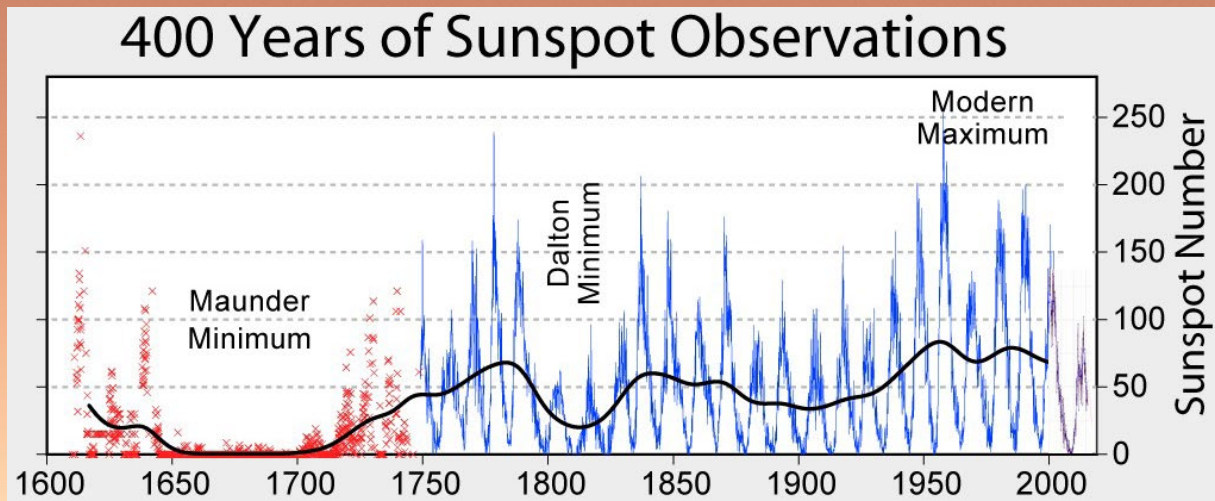
Tmavé miesta na Slnku sa teda pozorovali, ale ich podstata sa nepoznala. Mali predstavať dopady komét na Slnko, kopce na Slnku, prípadne otvory v mrakoch nad tekutým povrchom Slnka, cez ktoré uniká horúci plyn do okolitého priestoru, alebo tieň planét prípadne ich mesiacov a pod. Jeden z extrémnych názorov hlásal, že Slnko je obývateľné teleso. Vlastne, ani o chemickom zložení Slnka sa nič nevedelo, až do čias spektrálnej analýzy začiatkom 19. storočia. W. Wollaston (1802) si všimol, že v spojitom spektre Slnka sa nachádzajú tmavé spektrálne čiary, no nechal ich bez povšimnutia. Nanovo ich objavil J. von Fraunhofer v roku 1814 a zmeral ich presné vlnové dĺžky (celkom 570 čiar). O 45 rokov neskôr, G. Kirchoff a R. Bunsen si všimli, že niektoré vlnové dĺžky zo spektra Slnka sú totožné s emisnými čiarami vlnových dĺžok, ktoré oni získali nahrievaným niektorých chemických prvkov vo svojom laboratóriu. Tak sa dospelo k záveru, že absorpčné čiary v spektre Slnka, nazývané aj „Fraunhoferove čiary“, sú spôsobené absorpciou chemických prvkov v slnečnej atmosfére, menovite vo viditeľnej vrstve Slnka – fotosfére; pohlcujú žiarenie, ktoré prichádza z teplejšej časti



Biela koróna počas úplného zatmenia Slnka 11. augusta 1999. Foto: V. Rušin.



Rozloženie slnečných škvŕn po slnečnom disku v dôsledku rotácie Slnka ako ich zakreslil Scheiner v roku 1625. (prevzaté z knihy Rosa Ursiny).



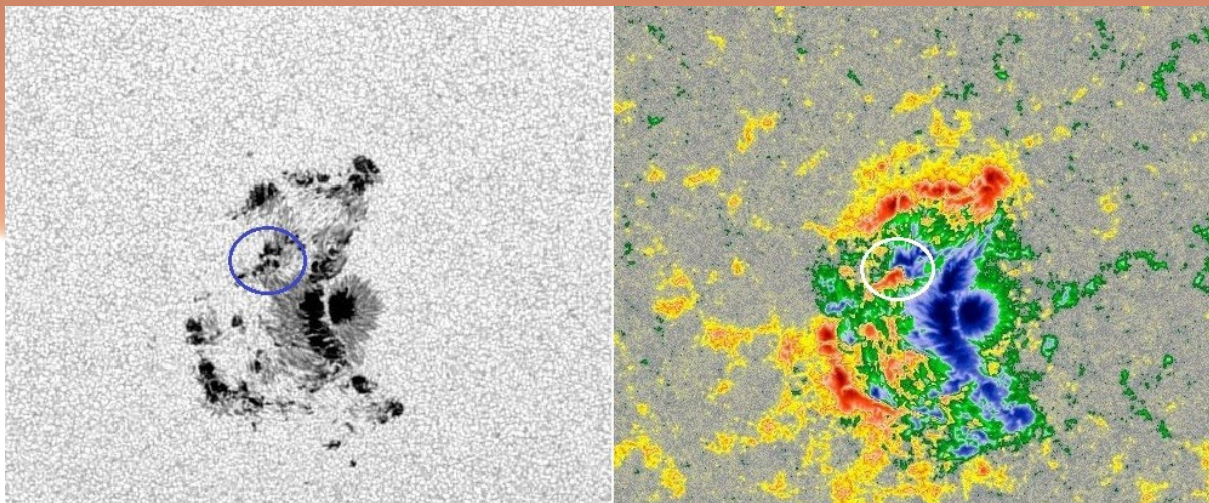
Priebeh vyhladených hodnôt počtu slnečných škvŕn od roku 1749. Modrá farba – kontinuálne pozorovania, červené – sporadické pozorovania. Z ich priebehu vidíme, že amplitúda jednotlivých cyklov je rôzna a okrem toho, existujú dlhšie obdobia cyklov s nižšou amplitúdou, medzi ktorými sa vyníma Maunderovo minimum, o ktorom sa zmienime neskôr. Zdroj: Wikipédia.

Slnka, nachádzajúcej sa pod fotosférou. Slnko sa razom stalo telesom podobného zloženia ako naša Zem. Na tomto príklade som chcel ukázať aj to, že k vysvetleniu niektorých pozorovaní nestačí jedinec, ale celé kolektívy, ako je tomu aj v súčasnosti, keď sa robia zložité pozorovania. Čím viac o Slnku chceme vedieť, tým zložitejšie a drahšie experimenty musíme robiť.

Postupne sme sa dozvedali o cyklickosti slnečných škvŕn, chemickom zložení Slnka, o jeho vzdialenosti od Zeme a jeho veľkosti, hmotnosti, ale nevedelo sa, čo vlastne tie škvŕny sú. Ich podstata sa vysvetlila až v roku 1908, keď americký astronóm G. Hale na základe rozštiepu spektrálnych čiar v spektre Slnka zistil, že sa nachádzajú v mieste veľmi silného magnetického poľa. V mieste silného magnetického poľa je potlačená konvekcia, čím sa vo fotosfére znižuje teplota asi o 2 tisíc kelvinov (K) a voči okolitej oblasti s teplotou 5 800 K sa nám toto miesto javí tmavšie. Od roku 1918 vieme, že magnetické polia rôznej intenzity a veľkosti pozorujeme na celom Slnku a že magnetické polia sú zodpovedné za všetky prejavy slnečnej aktivity.

Tvrdým orieškom vo výskume Slnka bol zdroj jeho energie, ktorý trápil aj takých vedcov akým bol napríklad I. Newton. W. Herschel v roku 1837 meral ohrev vody pôsobením slnečného žiarenia za určitý čas a extrapoláciou množstva spotrebovanej energie na ohrev vody do vzdialenosti Slnka dospel k záveru, že Slnkom emitovaná energia musí byť úžasne veľká, tisíce kilowattov na meter štvorcový. Vytvorilo sa niekoľko teórií o produkcii energie na Slnku (kontrakcia Slnka, dopad komét či meteoroidov a pod.), ale ani jedna nebola pravdivá. Riešenie našiel až H. Bethe (1938), ktorý navrhol, že zdrojom energie nielen na Slnku, ale aj vo hviezdach, sú termojadrové reakcie – premena ľahších chemických prvkov na ťažšie. Najdôležitejšou, pre súčasný vek Slnka, je premena vodíka na hélium (protón-protónový cyklus, alebo p-p cyklus).

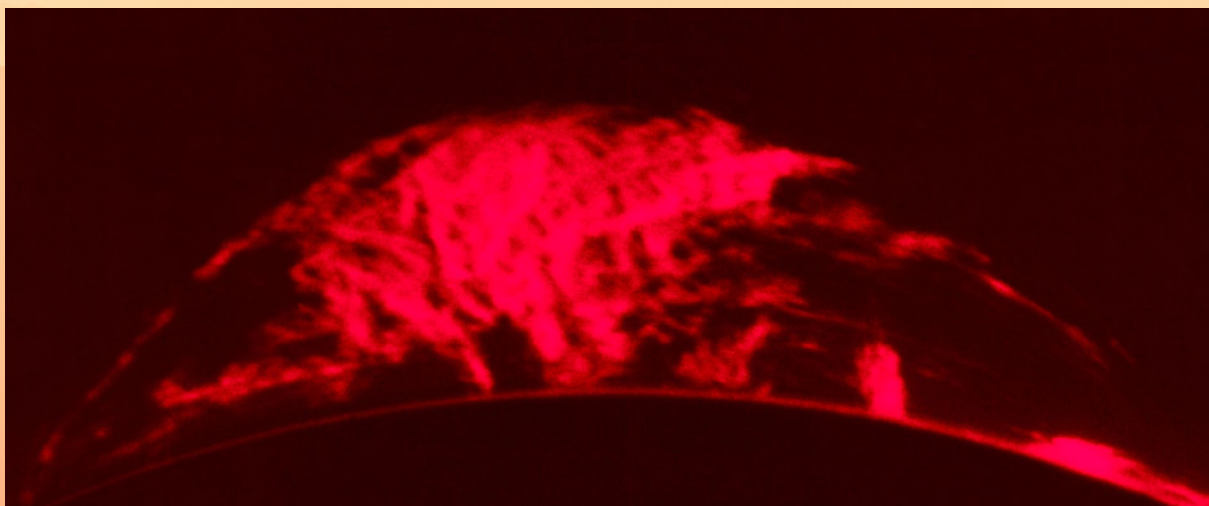
Naše poznanie Slnka z minulosti by nebolo kompletne, ak by sme sa nezmienujú o dvoch veľmi dôležitých okolnostiach, o zatmení Slnka a ohreve slnečnej koróny. Prvý, kto vysvetlil pravú podstatu zatmenia bol J. Kepler (1605), ktorý ale zároveň napísal, že



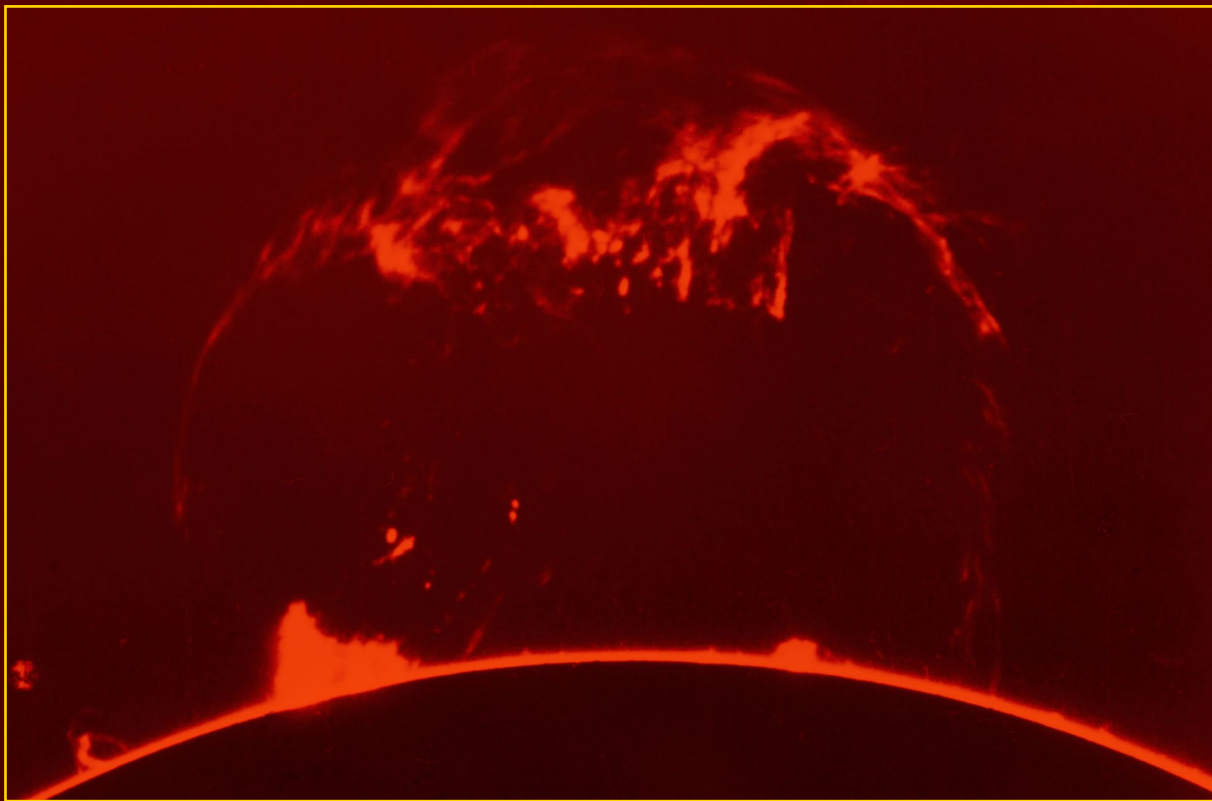
Súčasná pozorovania slnečných škvŕn vo fotosfére (vľavo) a prislúchajúce magnetické pole (vpravo). Magnetické polarity sú farebne rozlíšené a krúžok označuje miesto, kde vznikla slnečná erupcia. Foto: NASA/SDO.

bledomodré svetlo okolo tmavého Mesiaca je vlastne atmosférou Mesiaca, a keďže Kepler bol vysoko ctený vedec, nik neprotestoval. I keď sa po zatmení Slnka v roku 1851 ozývali hlasy, že to nie je pravda a že toto svetlo je atmosférou Slnka, muselo sa počkať až

do roku 1860, keď na základe fotografického pozorovania koróny z dvoch miest, vzdialených od seba okolo 400 km, Warren de la Rue a jezuita A. Secchi konštatovali, že svetlo okolo Mesiaca a červené protuberancie sú atmosférou Slnka.



Pokojná protuberancia, pozorovaná v spektrálnej čiare vodíka 656,28 nm (H alfa), na koronálnej stanici Lomnický štít, v ktorej je veľmi dobre viditeľná jej filamentárna štruktúra. Tvoria ju silotrubice magnetického poľa vyplnené chladným vodíkom. Životnosť takej protuberancie môže byť aj mesiace, ale na konci svojej životnosti môže náhle vybuchnúť a prejsť do stavu erupčívnej protuberancie, často sprevádzanej výronom koronálnej hmoty. Foto: V. Rušin.

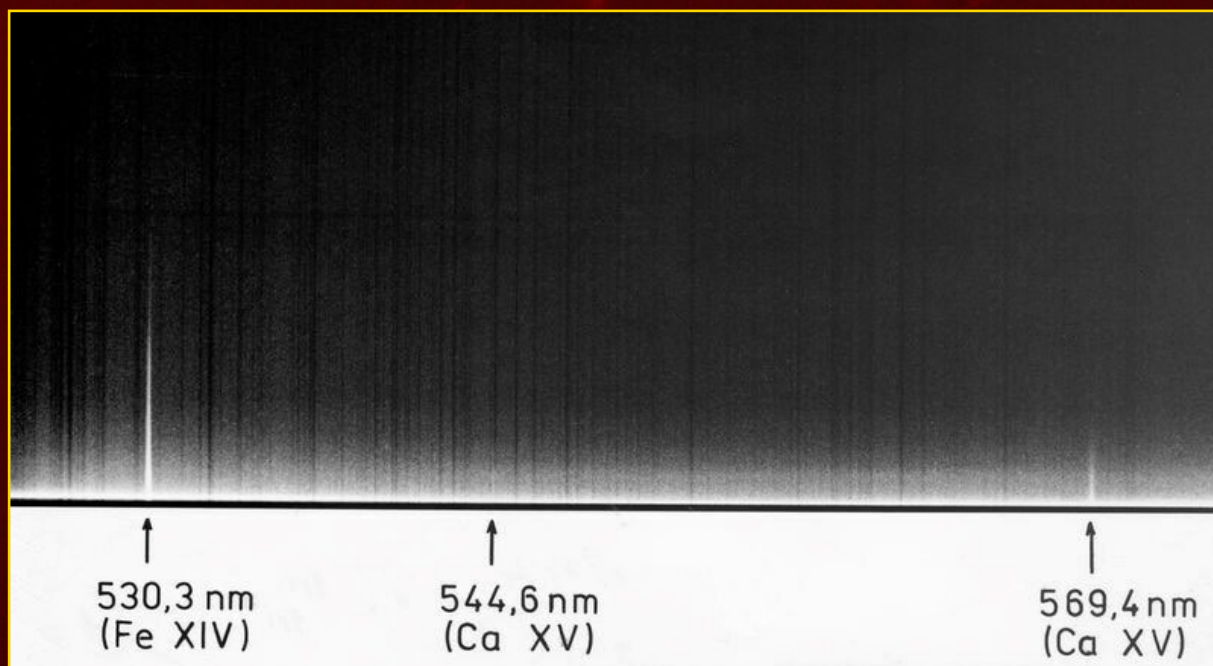


Eruptívna protuberancia, následok destabilizácie pokojnej protuberancie, pozorovaná koronografom na Lomnickom štíte v spektrálnej čiare vodíka (656,28 nm). Siahla do výšky okolo 500 tisíc kilometrov nad slnečný povrch. Vo výnimočných prípadoch môže časť jej hmoty uniknúť do medziplanetárneho priestoru. Foto: V. Rušin.

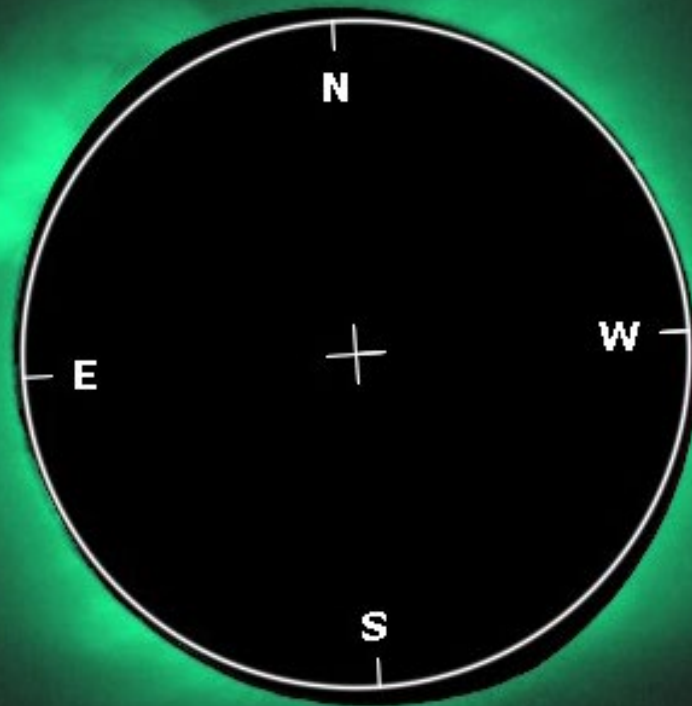
Vyriešenie druhej otázky trvalo dlhšie. Počas zatmenia Slnka 18. 8. 1868 v Indii, J. Janssen (donor nášho M. R. Štefánika) si všimol v spektre koróny veľmi silnú emisnú čiaru s vlnovou dĺžkou 587,5 nm, ktorá dovtedy nebola pozorovaná na Zemi a s nijakým vtedy známym chemickým prvkom sa nedala stotožniť. Nový chemický prvok pomenovali hélium, na počesť gréckeho boha Slnka. Hélium na Zemi bolo objavené až o 25 rokov neskôr. Objav tejto emisnej spektrálnej čiary podnietil ďalších pozorovateľov zatmení venovať väčšiu pozornosť aj spektrálnemu výskumu koróny. A tak, počas zatmenia Slnka 7. 8. 1869 E. Young a W. Harkness objavili novú emisnú spektrálnu čiaru, ktorej vlnová dĺžka bola 530,3 nm. Nachádza sa v zelenej oblasti spektra a často sa jej hovorí zelená spektrálna čiara. Ani táto spektrálna čiara nemala svoj ekvivalent v chemickom prv-

ku na Zemi a tak po vzore hélia ju pomenovali „coronium“. Mal to byť nový chemický prvok, ľahší ako vodík. Žiaľ, tento prvok nemal svoje miesto v Mendelejevovej tabuľke chemických prvkov. Čo s tým? Pri ďalších zatmeniach sa pozorovali aj ďalšie emisné spektrálne čiary, napríklad 647,4 nm, ktoré tiež nemali ekvivalent na Zemi. Riešenie sa našlo neskôr, keď sa pokročilo v teoretickom výskume spektrálnych čiar pri vyšších teplotách. B. Edlén (1941) si všimol, že v pokusoch, keď zohrieval chemické prvky na vysoké teploty, vlnočety niektorých uvoľnených plynov v extrémne ultrafialovej oblasti spektra bol veľmi podobný vlnočetu spektrálnej čiary 637,4 nm. Podobne to bolo aj pre zelenú čiaru a ďalšie emisné koronálne čiary. To ale znamenalo, že slnečná koróna musí byť veľmi horúca, čo odporovalo druhému termodynamickému zákonu o šírení tepla.

Teplo sa šíri z teplejšieho do chladnejšieho prostredia, a nie naopak. Vysokú teplotu koróny potvrdili aj začínajúce rádiové pozorovania koróny, a dovedy neznáme emisné spektrálne vo viditeľnej oblasti spektra sa stotožnili s iónmi, ktoré vznikajú pri veľmi vysokých teplotách. Napríklad, zelená spektrálna čiara patrí trinásťkrát ionizovanému železu (Fe XIV) a vzniká pri teplote okolo 2 miliónov K. Spektrálnu čiaru 637,4 nm tvorí Fe X (deväťkrát ionizované železo). Problém s identifikáciou emisných spektrálnych čiar sa vyriešil, ale zdroj vysokej teploty koróny nie! V súčasnosti je predložených teórií, napríklad, magnetohydrodynamické či Alfvénove vlny, nanoerupcie, elektrické toky a pod.), ale ani jedna nedokáže mechanizmus ohrevu koróny plne vysvetliť.



Emisné spektrálne čiary slnečnej koróny. Súčasne sa v spektre Slnka dajú pozorovať aj tmavé absorpčné čiary. Foto: V. Rušin.

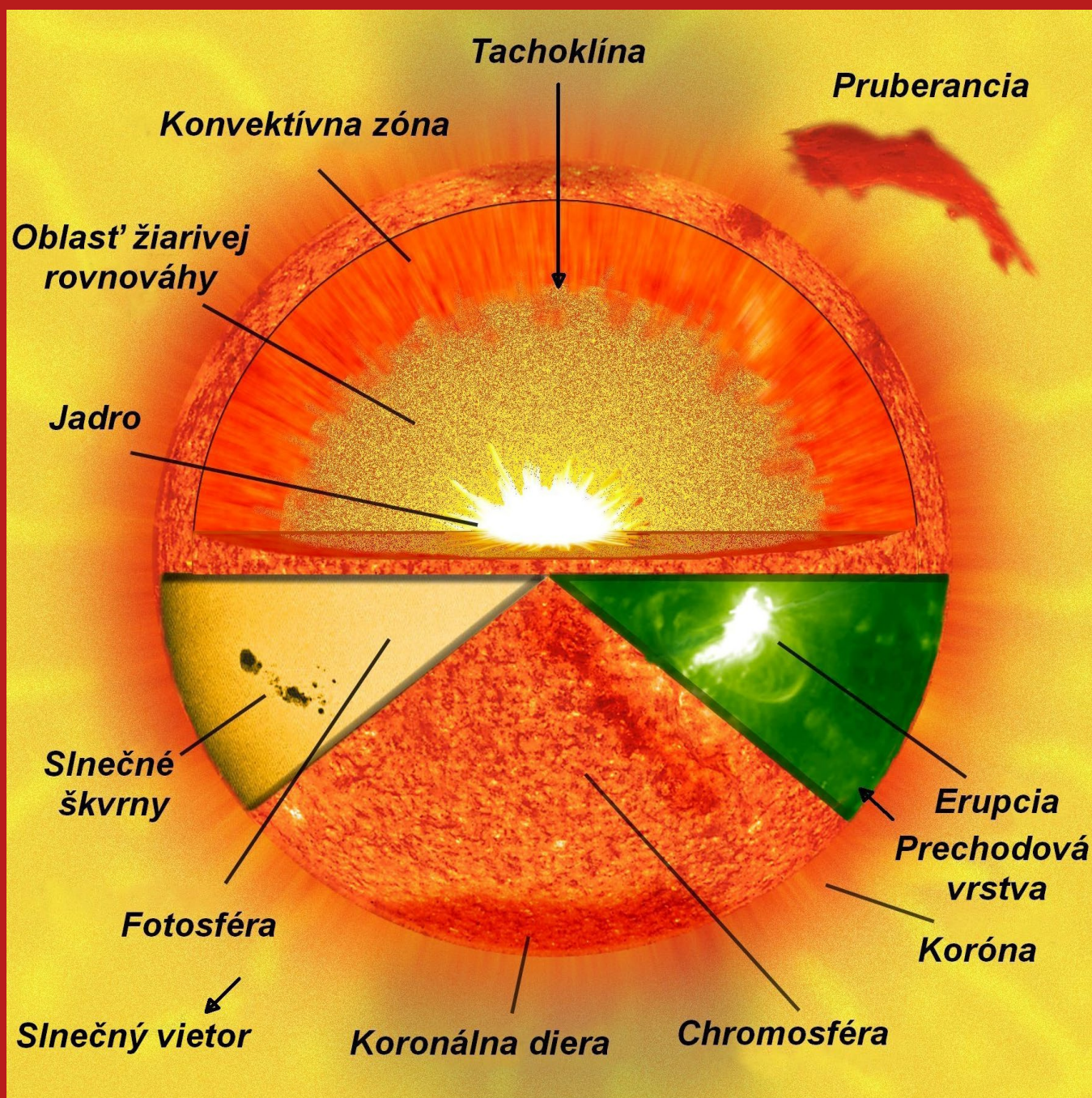


Zelená koróna cez úzkopásmový filter počas zatmenia Slnka 22. júla 2009. Foto: M. Druckmüller, P. Aniol, V. Rušin, L. Klocok, K. Martišek a M. Dietzel.

Túto kapitolu o výskume Slnka v minulosti by sme mohli uzavrieť tým, že Slnko sa dnes pozoruje v celej škále elektromagnetické žiarenia, zo Zeme aj z kozmického priestoru. Od roku 1965, keď sa urobili prvé pokusy s detekciou neutrín, ktoré vznikajú v jadre Slnka pri premene vodíka na hélium, dnešné vylepšené experimenty ich nepretržite pozorujú a tak potvrdzujú štandardnú teóriu vývoja Slnka, pôvodne vypracovanú z povrchových pozorovaní. Od polovičky 70-tych rokov 20. storočia sa detegujú pod povrchom Slnka tlakové zvukové vlny, ktoré sú výsledkom prenosu hmoty v konvektívnej zóne, v ktorej sa v jadre Slnka vznikajúce teplo prenáša prúdením, ako teplý vzduch od horúceho radiátora. Takto vzniknuté zvukové vlny nemôžu opustiť Slnko (zvuk sa môže šíriť len v dostatočne hustom prostredí a tým riedka koróna už nie je) a tak sú tam naveky uväz-

nené, ale zato veľmi účinné. Umožňujú nám „vidieť“ to, čo nedovoľuje svetlo. Vedný odbor pre štúdium zvukových vln v Slnku sa nazýva helioseizmológia.

A aby toho, čo sme vyššie povedali, nebolo málo, práca E. Parkera (1958) potvrdila to, čo sa na základe chvostov komét predpokladalo už v 30-tych rokoch minulého storočia a bolo po prvýkrát experimentálne overené na sovietskej sonde Luna 1, ktorá v januári 1962 bola vypustená k Mesiacu. A síce, že zo slnečnej koróny do medziplanetárneho priestoru unikajú častice, predovšetkým elektróny, protóny a alfa častice, prípadne ióny prvkov C, N, ba aj Fe a ďalších. Dnes sa tento tok častíc nazýva slnečný vietor. Ich rýchlosť sa mení od 400 do 800 kilometrov za sekundu, v závislosti od fázy cyklu slnečnej aktivity a miesta zdroja v koróne. Štruktú-




Schematická stavba Slnka.

ra slnečného vetra je veľmi zložitá čo do hustoty a rýchlosti. Častice slnečného vetra obtekajú aj našu Zem a ťahajú so sebou siločiaru magnetického poľa Slnka, ktoré nás chráni pred veľmi škodlivým kozmickým žiarením. Ak budeme neskromní, potom môžeme smelo povedať, že žijeme v slnečnej koróne. Aj to je jeden z dôvodov, prečo sa treba venovať výskumu Slnka.

Aké je teda vlastne Slnko?

Slnko je najbližšie plazmové teleso v blízkosti Zeme, magneticky premenná hviezda s periódou približne 11 rokov, ktorého vek je okolo 4,6 miliardy rokov, podobne ako aj vek našej Zeme. Svojou gravitáciou a elektromagnetickým žiarením Slnko ovplyvňuje všetko dianie v Slnečnej sústave.

-  Alkali Metals
-  Alkaline Earth Metals
-  Lanthanoids
-  Actinoids
-  Transitions Metals
-  Poor Metals
-  Other Nonmetals
-  Noble Gasses



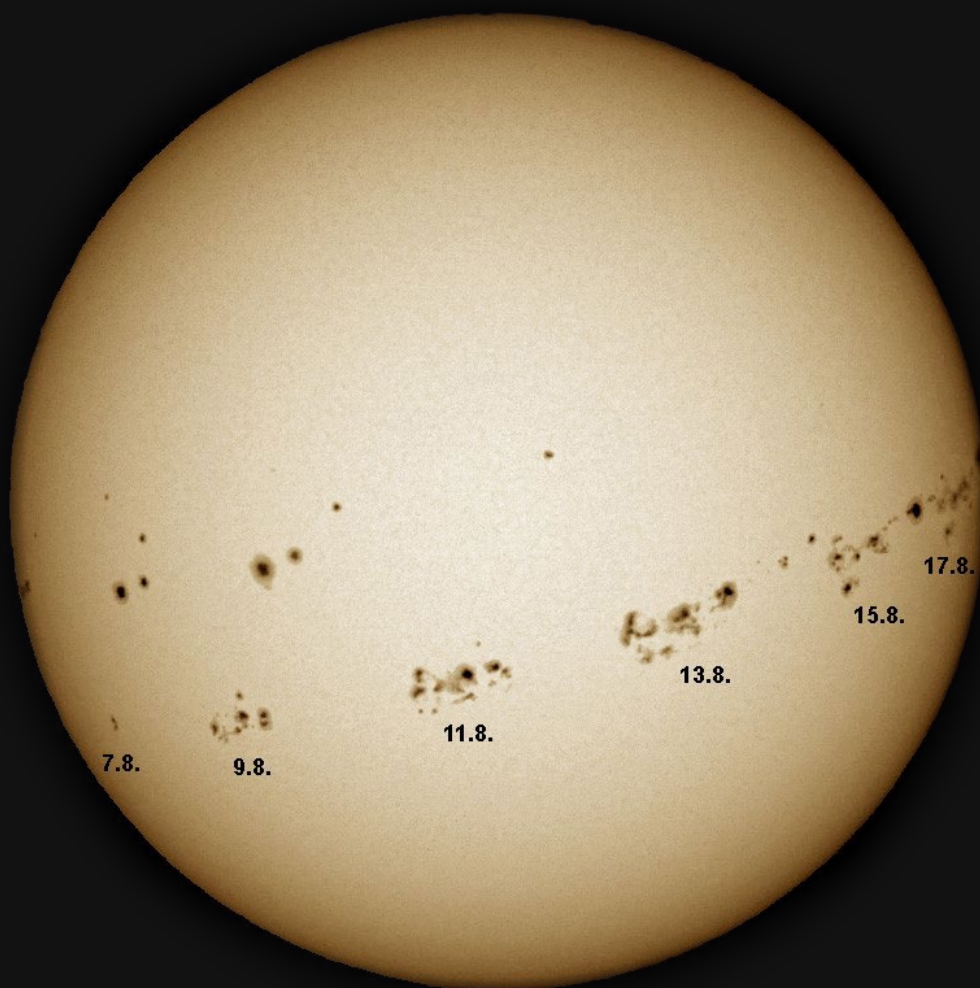
Hmotnosť Slnka je $1,99 \times 10^{30}$ kilogramov (99,87% celej Slnčnej sústavy), priemer 1,392 miliónov kilometrov a od Zeme ho delí stredná vzdialenosť 149,598 miliónov kilometrov; v lete je to 152,099 miliónov (afélium) a v zime 147,097 miliónov (perihélium). Energetický výkon Slnka je $3,846 \times 10^{26}$ W. Na výrobu takého množstva energie sa v jeho jadre každú sekundu premení okolo 620 milión ton vodíka na hélium, z čoho asi 4,26 miliónov ton sú vzniknuté vysokenergetické fotóny, ktoré sa najprv žiarením, a potom konvekciou, dostanú na povrch Slnka a odtiaľ putujú do okolitého vesmíru. Kým takto vzniknutému žiareniu v jadre Slnka trvá okolo 20 – 170 tisíc rokov, kým opustí fotosféru, superľahké neutrína, ktoré pri týchto reakciách tiež vznikajú a šíria sa rýchlosťou svetla, prechádzajú hmotou Slnka bez akejkoľvek prekážky a Zem dosiahnu o dve se-

kundy neskôr, ako svetlo z fotosféry, v priemere za 8 minút a 20 sekúnd (závisí to od vzdialenosti Zeme od Slnka). Štúdiom neutrín teda okamžite vieme, čo sa v jadre Slnka deje. Energia slnečného žiarenia, ktorá na vstupe do zemskej atmosféry má hodnotu 1361 W/m^2 ($1,3608 \pm 0,0005 \text{ kW/m}^2$), cez fotosyntézu podporuje takmer všetok život na Zemi, vytvára klímu a počasie.

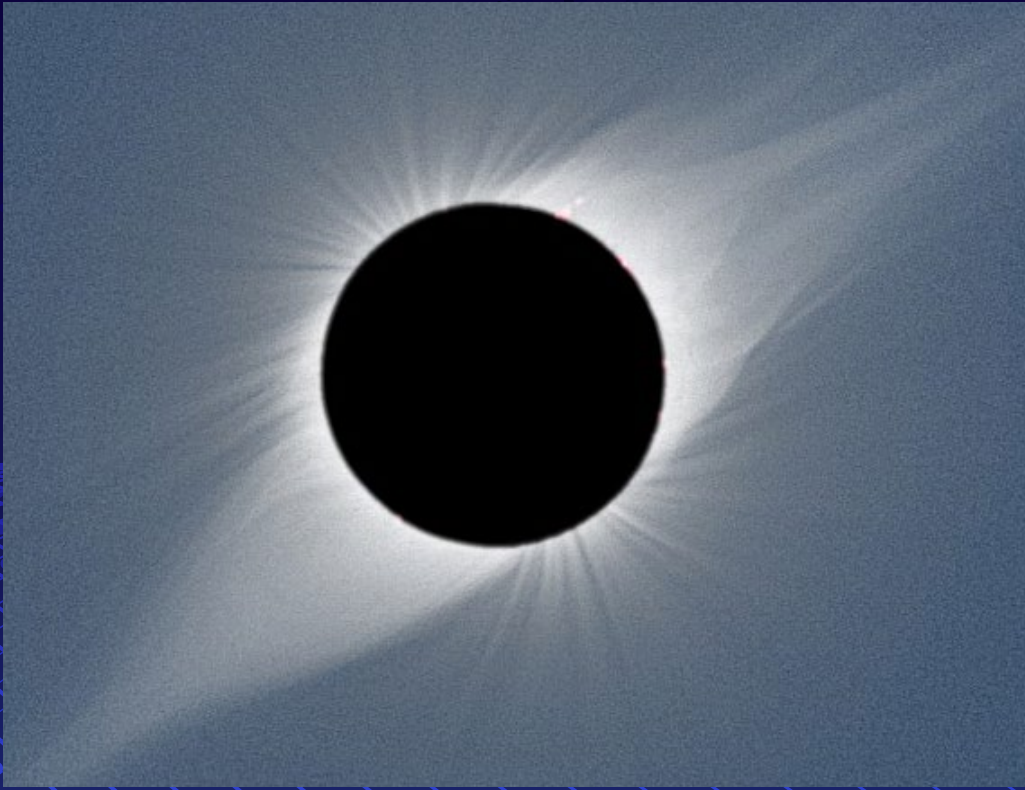
Najzastúpenejším prvkom na Slnku je vodík – 73,46 percent, nasleduje hélium – 24,85 percent. Zostávajúce dve percentá patria ostatným chemickým prvkom, napríklad aj zlatu, ktorého je tam asi toľko, koľko vážia Himaláje. Čím bude Slnko staršie, vodíka bude ubúdať a hélia pribúdať. Rotácia Slnka je diferenciálna. Na rovníku sa v priemere okolo svojej osi otočí raz za 25,6 dňa, na pólach za 33,5 dní. Diferenciálna rotácia, veľkoškálová meridio-

		2		2	
		He		Helium 4.002602	
7	8	9	10		
N	O	F	Ne		
Nitrogen 14.0067	Oxygen 15.994	Fluorine 18.9984032	Neon 20.1797		
15	16	17	18		
P	S	Cl	Ar		
Phosphorus 30.973762	Sulfur 32.065	Chlorine 35.453	Argon 39.948		
33	34	35	36		
As	Se	Br	Kr		
Arsenic 74.96	Selenium 78.96	Bromine 79.904	Krypton 83.798		
51	52	53	54		
Sb	Te	I	Xe		
Antimony 121.760	Tellurium 127.60	Iodine 126.90447	Xenon 131.293		
83	84	85	86		
Bi	Po	At	Rn		
Bismuth 208.98040	Polonium (208.9824)	Astatine (209.9871)	Radon (222.0178)		
115	116	117	118		
Jup	Uuh	Uus	Uuo		
Junghium 288	Ununhexium (288)	Ununseptium	Ununoctium (294)		
69		70		71	
Tm		Yb		Lu	
Thulium 168.93421		Ytterbium 173.054		Lutetium 174.9668	
101		102		103	
Md		No		Lr	
Mendelevium (288)		Nobelium (289)		Lawrencium (262)	

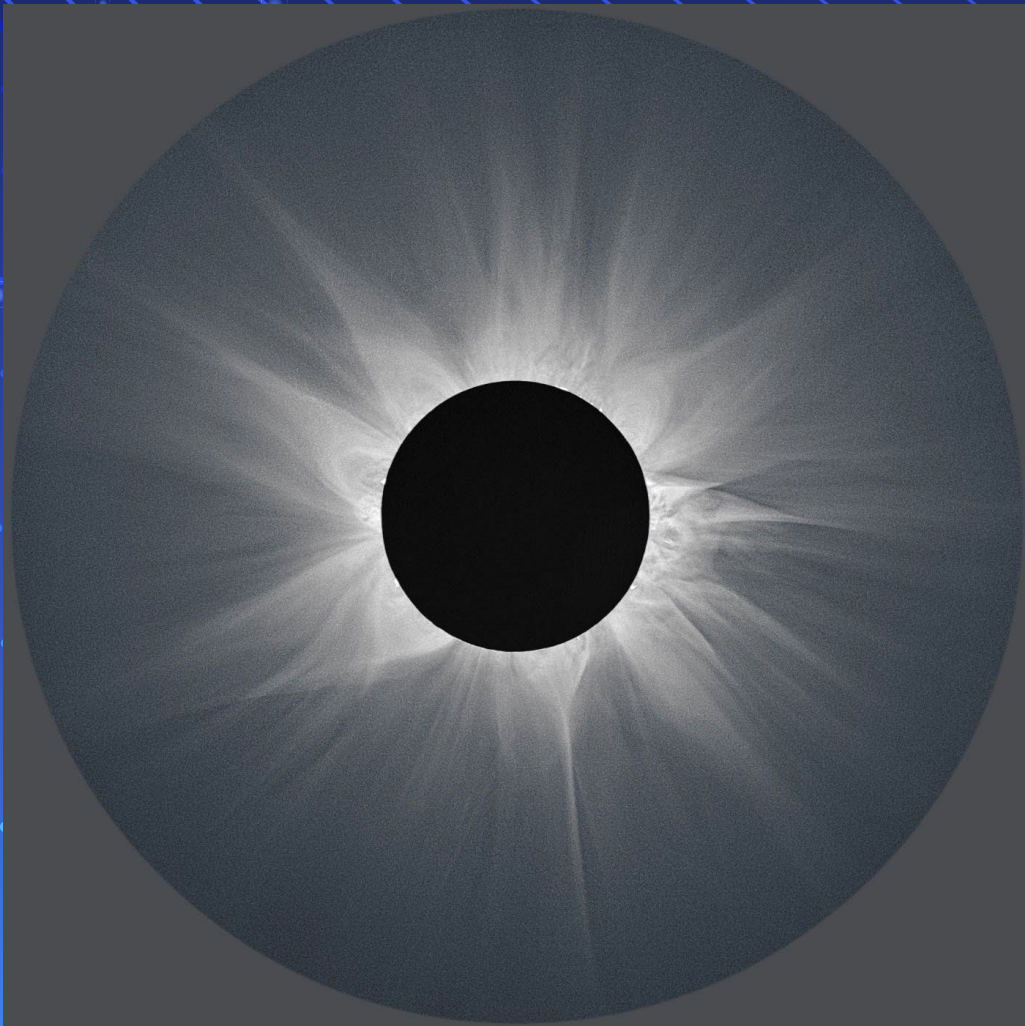
nálna cirkulácia a rozdielna rýchlosť rotácie medzi oblasťou žiarivej rovnováhy a konvektívnou zónou vytvárajú magnetické polia Slnka, ktorého veľkosť na póloch je okolo 1 – 2 gaussov (0,0001 - 0,0002 tesla), v miestach slnečných škvŕn okolo 3 000 G (0,3 T). V minime slnečnej aktivity má globálne magnetické pole Slnka vzhľad dipólu, ktorý najlepšie ukazuje štruktúra bielej koróny; v maxime cyklu je veľmi komplikované. A ako sme sa zmienili už skôr, magnetické polia: (a) globálne – tvorené slnečným dynamom, a (b) lokálne – tvorené konvekciou, diferenciálnou rotáciou a veľkoškálovou meridiálnou cirkuláciou, sú zdrojom slnečnej aktivity, známej ako slnečný cyklus alebo slnečný cyklus magnetickej aktivity so strednou periódou 11 rokov, majúca rôzne prejavy – slnečné škvŕny, protuberancie, erupcie, výrony koronálnej hmoty (CME), variácie slnečného žiarenia, tvaru bielej koróny a pod. Na Zemi napríklad súvisia s výskytom polárnych žiar, poruchami v ionosfére, výpadkom rádiového spojenia a pod.



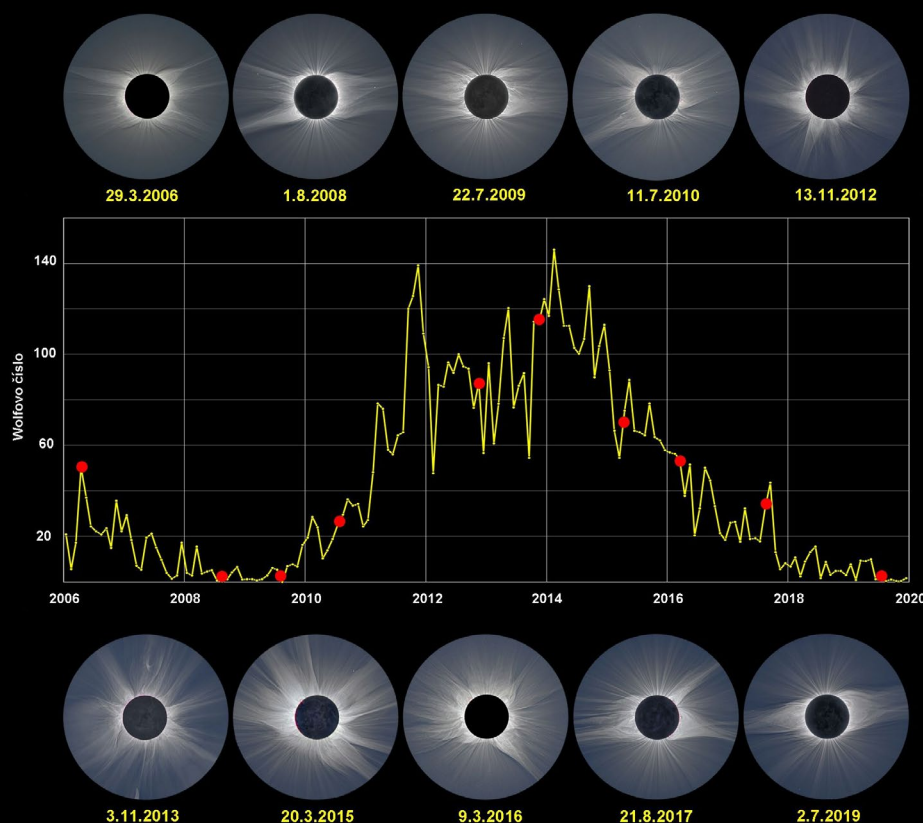
Slnečné škvŕny na Slnku. Foto: P. Rapavý.



Štruktúra bielej koróny v okolí minima slnečnej aktivity, ako bola pozorovaná 25. októbra 1995 v Neem ka Thana a v maxime cyklu slnečnej aktivity dňa 16. februára 1980 v Jawala Gere.



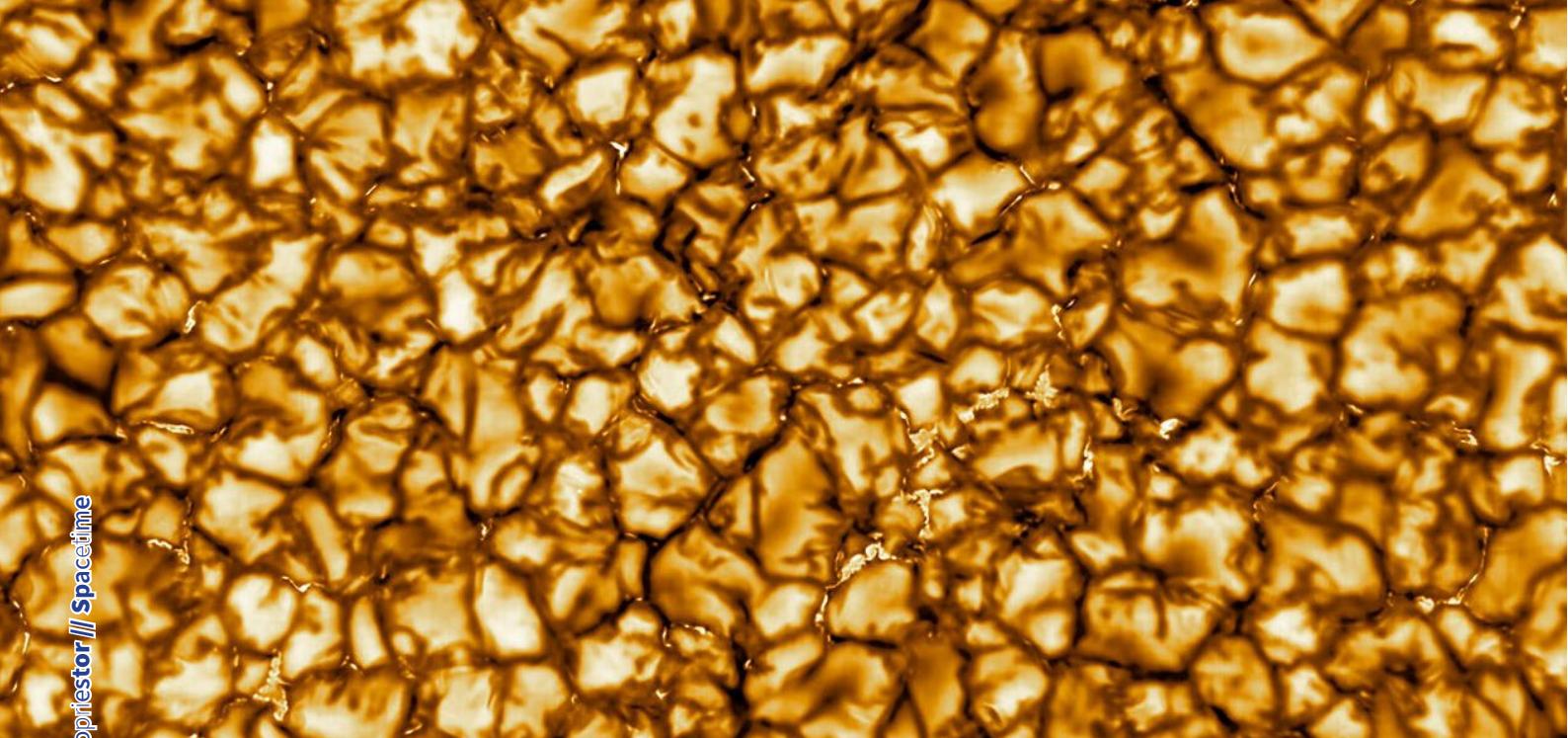
Obe koróny boli pozorované v Indii. Foto: V. Rušin a P. Zimmermann (1946 – 2015); počítačové spracovanie M. Druckmüller).



Spracovaná biela koróna v 24. cykle slnečnej aktivity. Zdroj: Rapavý, P. Takács R. (kompilácia), Druckmüller M. a Vaňúr R. (spracovanie koróny) a pozorovatelia zatmení (vrátane autora článku).

Slnko je súčasťou našej Galaxie, v ktorej sa nachádza od 200 do 400 miliárd hviezd rôznej veľkosti, hmotnosti, chemického zloženia a veku. Naše Slnko je teda jedna z hviezd tohto gigantického zoskupenia a nachádza sa asi 27 tisíc svetelných rokov od centra galaxie v ramene Orióna a okolo jej centra obieha raz za 225 – 250 miliónov rokov, rýchlosťou okolo 251 km/s, pričom prechádza oblasťami s rôznou hustotou medzihviezdnej hmoty, čo má vplyv na príjem žiarivej energie od Slnka na Zem.

Slnko, podobne aj iné hviezdy vzniklo gravitačným kolapsom z obrovského plyno-prachového mraku pred asi 4,6 miliardami rokov (z rovnakého mraku vznikli aj ostatné telesá Slnecnej sústavy). Po dosiahnutí patričnej teploty a vysokého tlaku sa v jadre (proto)Slnka zapálili termojadrové reakcie, ktoré zastavili ďalšiu kontrakciu a Slnko sa usadilo na tzv. hlavnej postupnosti, kde by malo zotrvať ďalších približne 5 – 6 miliárd rokov. Energetický výkon Slnka sa bude postupne zvyšovať; v súčasnosti je to za 100 miliónov rokov asi o jeden stupeň, a predpokladá sa, že o ďalších 4,5 miliardy rokov jeho žiarivý výkon bude o 30 percent vyšší ako je v súčasnosti. Po vyhorení všetkého vodíka v jadre Slnka sa bude zvyšovať koncentrácia ťažšieho hélia a jeho kontrakciou pod vplyvom gravitácie sa zvýši teplota asi na 100 miliónov K a zapáli sa nová termojadrová reakcia CNO: premena hélia na uhlík, dusík a kyslík. Vonkajšie vrstvy Slnka sa začnú rozpínať a zväčšia svoj objem až za obežnú dráhu Venuše. To už bude Slnko mimo hlavnej postupnosti, bude „červeným obrom“. Tento cyklus sa podľa najnovších teórií s novými reakciami ťažších chemických prvkov, ktoré sa vytvorili pri predchádzajúcich reakciách zopakuje asi štyri razy, až Slnko prejde do štádia tzv. planetárnej hmloviny. Po odhodení svojich vonkajších obálok hmotnosť Slnka bude asi polovičná a stane sa z neho biely trpaslík – záverečné štádium vývoja hviezd podobných Slnku. Jeho priemer bude asi 20 tisíc kilometrov, teplota do 100 tisíc K a keďže už nebude mať nijaký vnútorný zdroj ohrevu, bude postupne chladnúť až na úroveň teploty okolia – asi 3 K a stane sa z neho tzv. čierny trpaslík, čo môže trvať niekoľko ďalších desiatok miliárd rokov.



Fotosféra Slnka. Tvoria ju svetlé granule, vrcholky výstupných konvektívnych prúdov, s priemerom okolo 800 kilometrov, životnosťou okolo 8 minút a tmavý medzigranulárny priestor, v ktorom sa pozorujú jasné plôšky s rozmermi len okolo 20 kilometrov, možný zdroj ohrevu slnečnej koróny. Po vyžiarení energie granula ochladne a ochladený materiál po jej okraji steká na dno konvektívnej zóny, kde sa nahreje a opäť stúpa hore. Foto: 4,24 metrovú Daniel K. Inouye Solar Telescope na Havaji. Tento nový, najväčší slnečný ďalekohľad na svete s priemerom hlavného zrkadla 4,24 m uviedli do prevádzky koncom roka 2019. Foto: Daniel K. Inouye Solar Telescope, NSO.

Hmota, ktorú Slnko pri svojom výbuchu stratí, stane sa súčasťou medzihviezdnej hmoty, z ktorej sa budú tvoriť nové hviezdy, podobne sa vytvorilo aj naše Slnko – hviezda druhej alebo tretej generácie po Veľkom tresku, ktorý nastal pred 13,7 miliardami rokov. Čiže, obavy z toho, že Slnko skoro zhasne, nemusíme mať. Bude to pravda, ale stane sa to pre nás v nedohľadnom čase, keď už Zem ako planéta nebude existovať. Skôr opak je pravdou, energetický výkon Slnka sa od jeho vzniku zvyšuje, čo ale neznamená, že na Zemi musí byť teplejšie. Svedčí o tom aj problém „mladého Slnka“. Teoretické modely vývoja Slnka ukazujú, že pred 3,8 – 2,5 miliardami rokmi žiarivý výkon Slnka bol asi 25 % menší, ako je v súčasnosti. To by znamenalo, že na Zemi by malo byť v tom čase chladnejšie, čo sa ale nepotvrdilo, ba Zem dokonca mohla ako je dnes. To znamená, že medzi Slnkom synergický efekt, ktorý udržuje na Zemi napríklad cez skleníkové plyny a pod., hoci len v primitívnej forme. Ak a ony sú oprávnené, potom je magnetické polia, a ktoré



byť o čosi teplejšia a Zemou existuje akýsi vhodný teplotný režim, aby tu mohol existovať život, teda máme mať obavy zo Slnka, to vďaka procesom, ktoré spôsobujú vytvárajú slnečnú aktivitu.

K jej najenergetickejším prejavom patria erupcie a výrony koronálnej hmoty, o ktorých sa zmienime neskôr. Prv si ale ešte predstavme stručne štruktúru Slnka, ktorá je dosť zložitá, no pre pochopenie Slnka dôležitá. To, čo na oblohe ako Slnko pozorujeme, je viditeľný povrch Slnka – fotosféra, ktorá oddeluje neviditeľné vrstvy Slnka od tých, ktoré sú nad ňou. Jej hrúbka sa odhaduje asi na 300 kilometrov a uvoľňuje sa z nej takmer všetka žiarivá energia Slnka, ktorú vnímame ako biele svetlo.

Jadro Slnka siaha do vzdialenosti asi 175 tisíc kilometrov, v ktorom pri hustote asi 150 g/cm^3 a teplote vyše 15 miliónov stupňov prebieha premena vodíka na hélium, tzv. p-p reakcia/cyklus (jadrová fúzia), v ktorej sa zo štyroch jadier vodíka (protónov), trocha krokmi vytvorí jedno jadro hélia, ktoré je o 0,7 % ľahšie ako vstupujúca hmotnosť štyroch protónov, vysokoenergetický fotón a neutríno, pričom sa pri nej uvoľňuje 99 % teplotnej energie. Pre porovnanie, teplota povrchu Slnka je 5 700 K. Okrem premeny vodíka na hélium v jadre prebieha ešte CNO cyklus, ktorého výdatnosť je len 0,8 % celkovej energie, ale, čím bude Slnko staršie, podiel CNO cyklu sa bude zvyšovať. Posledné merania z kozmických sond ukázali, že jadro rotuje rýchlejšie, ako nad ňou ležiacca oblasť žiarovej rovnováhy. Priebeh jadrovej fúzie má samoregulačný charakter, čo znamená, že ak sa zvýši produkovaná energia, jadro sa zväčší a jeho teplota klesne, alebo naopak. Teplota aj od centra jadra k jeho okraju klesá, asi na hodnotu 7 miliónov K. Dodajme ešte, že v jadre Slnka každú sekundu sa zrazí 2×10^{38} protónov.

Oblasť žiarivej rovnováhy sa rozprestiera od okraja jadra do vzdialenosti asi 0,7 polomerov Slnka (490 tisíc kilometrov od centra). Prenos energie z jadra v tejto oblasti sa deje žiarením a na jej hornej časti dosahuje hodnota teplota dosiahne asi 2 milióny K. Klesá aj hustota z 20 g/cm^3 na rozhraní jadra a konvektívnej zóny na $0,2 \text{ g/cm}^3$ na hornej časti.

Tachoklína (styčná vrstva) je tenká vrstva, ktorá oddeľuje oblasť žiarivej rovnováhy od konvektívnej zóny. Zistila sa to len nedávno z meraní na kozmických sondách. Okrem toho, že sa v nej zásadným spôsobom menia fyzikálne vlastnosti medzi oblasťou žiarivej rovnováhy (teplota a hustota), na jej hornom konci sa už tvoria atómy, ktoré bránia efektívnemu prenosu žiarením a vytvára sa turbulencia. Táto vrstva oddeľuje takmer pevnú rotáciu oblasti žiarivej rovnováhy od diferenciálnej rotácie konvektívnej zóny. Predpokladá sa, že zmena v rotácii pôsobí ako dynamo, ktoré generuje globálne magnetické pole Slnka.

Konvektívna zóna sa rozprestiera od 0,7 polomeru Slnka (492 tisíc kilometrov od jadra) tesne pod viditeľný povrch Slnka. Jej hustota a teplota už nie je schopná prenášať jadrom produkované teplo žiarením a nastupuje klasická konvekcia, ako ju poznáme z ohrevu našich miestností pomocou radiátorov. Tachoklínou nahriata hmota z dna konvektívnej zóny začína stúpať a expandovať, čím sa znižuje jej hustota a umožňuje pohyb smerom hore, pričom vytvára teplotné cely, ktoré vynášajú teplo k povrchu Slnka, ktoré vo fotosfére registrujeme vo forme svetlých granúl (granulácia), ktorých rozmery v priemere sú okolo 800 kilometrov a životnosťou okolo 8 minút. Po vyžiarení energie z granúl sa plazma granule ochladí, zhustne a po jej okraji klesá na dno

konvektívnej zóny, kde sa nahreje a začína opäť stúpať smerom hore. Teplota vo fotosfére je okolo 5 800 K a hustota len $0,2 \text{ g/m}^3$. Okrem granúl pozorujeme vo fotosfére väčšie celky – super granuly s rozmermi do 30 tisíc kilometrov a životnosťou okolo 24 hodín. Turbulentná konvekcia v tejto časti vnútra Slnka vytvárajú „máloškálové dynamá“ – ktoré sú zodpovedné za lokálne magnetické polia na Slnku, ktoré sa diferenciálnou rotáciou skrúcajú. Nad fotosférou Slnka sú pozorované štyri vrstvy – chromosféra, prechodová vrstva, koróna a heliosféra.

Chromosféra, podobne ako koróna, je teplejšia ako fotosféra, pričom mechanizmus ich ohrevu nie je známy. Predpokladá sa, že zdrojom ich ohrevu by mohli byť Alfénové vlny. Hrúbka chromosféry sa odhaduje na 2 – 5 tisíc kilometrov a pozorujú sa v nej emisné a absorpčné spektrálne čiary. Teplota na jej hornom konci dosahuje hodnotu okolo 20 tisíc K, a pri tejto teplote hélium sa stáva ionizovaným. Chromosféra svoje pomenovanie dostala od gréckeho slova „chromo“, farba, pretože sa pozoruje ako farebné bleskové spektrum tesne pred začiatkom a po skončení úplného zatmenia Slnka, a bolo známe už koncom 19. storočia. Mimochodom, pozoroval ho aj M. R. Štefánik počas zatmenia Slnka dňa 30. augusta 1905 v Alcocebre (Španielsko).

Nad chromosférou, sa nachádza **prechodová vrstva** o hrúbke len asi 200 kilometrov, v ktorej teplota sa zvýši z 20 tisíc K na teplotu okolo 1 milión K, čo je už teplota koróny. Jej výška nie je presne definovaná. Vyznačuje sa chaotickými pohybmi a pozoruje sa len z družíc alebo kozmických sond v extrémne ultrafialovej oblasti spektra.

Koróna, ktorá sa poznala už v dávnych časoch počas pozorovania úplného zatmenia Slnka a je viditeľná do veľkých vzdialeností od Slnka, je veľmi horúca, v priemere 1 – 2 milióny K, ale v najhorúcejších oblastiach to môže byť 8 – 20 miliónov K. Mechanizmus ohrevu koróny, ako sme už uviedli, nie je explicitne známy, podobne ako dopĺňovanie hmoty z povrchu Slnka do koróny. Tok plazmy z povrchu Slnka do medziplanetárneho priestoru tvorí slnečný vietor. Svetlo slnečnej koróny sa skladá z troch zložiek: K-koróna alebo koróna spojitého spektra (rozptýlené žiarenie fotosféry na voľných elektrónoch), F-koróna alebo Fraunhoferova koróna (odrazené žiarenie fotosféry na prachových časticiach) – počas zatmenia sa obe zložky pozorujú ako biele svetlo, a E-koróna alebo emisná koróna (vlastné svetlo koróny pozorované ako emisné spektrálne čiary, ktoré tvoria vysokoionizované prvky, napríklad železa, vápnika, niklu a pod). Štruktúru koróny, veľmi rôznorodú čo do veľkosti, teploty a hustoty, vytvárajú magnetické polia pozorované vo fotosfére. Základnými štruktúrami koróny sú slučky či oblúky, tenké radiálne lúče alebo veľkoškálové lúče pripomínajúce prilbicu.



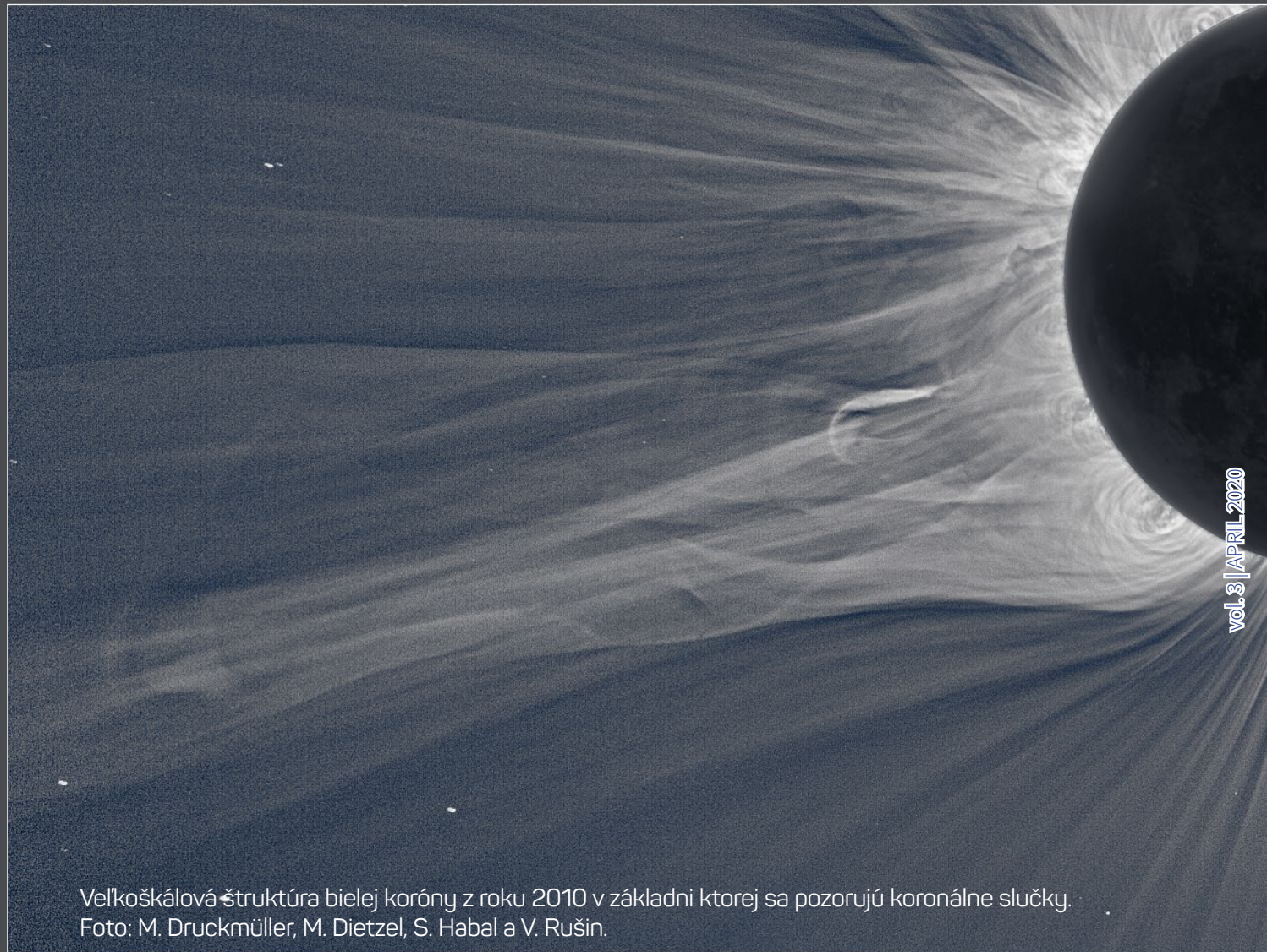
Koronálne slučky, pozorované zo Solar Dynamic Observatory. Foto: NASA/SDO/AIA.

V súčasnej dobe sa za najvyššiu zložku atmosféry Slnka považuje **heliosféra**, ktorú vypĺňa veľmi riedka plazma slnečného vetra. Za dolnú hranicu heliosféry sa stanovuje výška nad povrchom Slnka, v ktorej rýchlosť častíc slnečného vetra je väčšia ako rýchlosť Alfvénových vln a nachádza sa približne vo výške okolo 20 polomerov Slnka (0,1 astronomickej jednotky = au). Častice slnečného vetra v heliosfére sa šíria do vzdialenosti okolo 100 au. Tu sa dynamický tlak slnečného vetra vyrovnáva s tlakom medzihviezdneho vetra a súčasne tu sa končí magnetické pôsobenie Slnka. Tu vlastne končí aj Slnko. Ďalej pokračuje medzihviezdny priestor. Horná hranica heliosféry nie je presne definovaná a mení sa s fázou cyklu slnečnej aktivity. Informácie o jej hranici mám poskytlí kozmické sondy Voyager 1 a 2, ktoré ju prekročili a pohybujú sa ďalej do hĺbín vesmíru. Medzi heliosférou a medzihviezdnym médiom sa nachádza heliopauza, ktorá ako prvá začína redu-

kovať nebezpečné kozmické žiarenie, prichádzajúce z hĺbín vesmíru.

Slnko, pozrúc sa na neho voľným okom (čo neodporúčam), sa nám javí, ako úžasne jednoduchý žiarivý objekt. V skutočnosti je to veľmi zložitý a komplikovaný objekt, na poznanie ktorého sa muselo vynaložiť obrovské úsilie tisícky vedcov a amatérov. Z toho, čo sme doteraz napísali, nedostatok žiarivej energie, ktorej hodnota na hranici zemskej atmosféry je $1\,368\text{ W/m}^2$, nám nehrozí. Jej hodnota v priebehu cyklu sa mení len o 0,1%, čo je zanedbateľné, ale ... na Slnku sa pozorujú aj iné javy, ktoré na Zem vplývajú, podobne ako aj iné druhy žiarenia, ktoré vplývajú na zloženie a ohrev hornej atmosféry Zeme. Pokúsme sa ich stručne priblížiť.

Keď sa začiatkom XX. storočia spätne dávali dohromady individuálne pozorovania slnečných



Veľkoškálová štruktúra bielej koróny z roku 2010 v základni ktorej sa pozorujú koronálne slučky.
Foto: M. Druckmüller, M. Dietzel, S. Habal a V. Rušin.

Total Solar Eclipse 2010

© 2010 Miloslav Druckmüller, Martin Dietzel, Shadia Habal, Vojtech Rušin

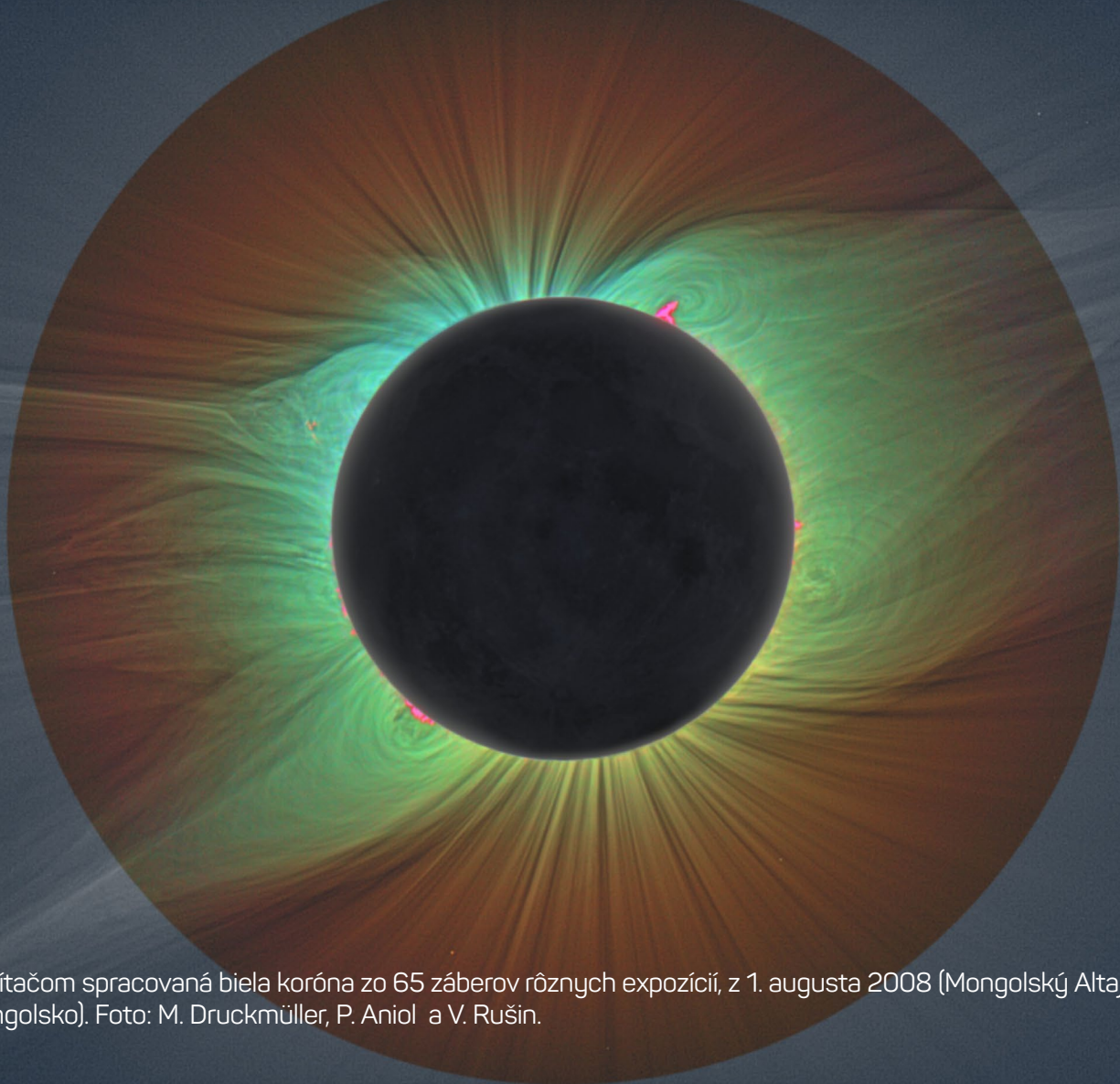
škvrn, ukázalo sa, že v rokoch 1645 – 1715 ich počet na viditeľnom povrchu Slnka bol mizerne malý, alebo nebol. V rovnakom období sa v západnej Európe pozorovala „Malá doba ľadová“, teda bola tam poriadna zima. Nie je jasné, či toto ochladenie mohlo byť spôsobené nižším žiarivým výkonom Slnka alebo Zem bola vystavená väčšiemu toku častíc kozmického žiarenia, pred ktorým nás chráni magnetické pole Slnka, ktorého siločiaru so sebou ťahajú častice slnečného vetra.

Dá sa nájsť v literatúre viacero článkov ktoré poukazujú na vplyv slnečnej aktivity na mnohé procesy na Zemi, napríklad, na produkciu pšenice, či iných poľnohospodárskych produktov, hoci vplyv Slnka na tieto produkty sa dá ovplyvniť chémiou (prihnojovanie). O tejto kategórii vplyvu Slnka na Zem je viacero prác Pavla Prikryla s viacerými spoluautormi, medzi ktorými je aj moja maličkosť, ktoré analyzujú vzťah medzi vysokorýchlostnými

prúdmi slnečného vetra, ktoré prichádzajú z koronálnych dier na Slnku a cyklónmi, resp. prudkými katastrofickými lejakmi alebo snežením. Ukazuje sa, že pri vhodnom rozdelení tlakových útvarov v zemskej atmosfére je medzi nimi pozitívny vzťah, do ktorého vstupujú gravitačné vlny zemskej atmosféry, ktoré vznikajú v polárnych oblastiach vysoko v atmosfére, a ak sa šíria smerom do troposféry môžu byť spúšťačom nestabilit v cyklónoch.

Iným príkladom vplyvu slnečnej aktivity je výskyt polárnych žiar, ktorých maximálny výskyt je v maxime cyklu slnečnej aktivity a minimum v čase slnečného minima. Ich výskyt majú na svedomí slnečné erupcie a výroky koronálnej hmoty, o ktorých bude reč neskôr.

Exemplárnym príkladom pôsobenia eruptívnych procesov Slnka na Zem bola veľmi silná erupcia na Slnku, ktorá bola viditeľná aj v bielom svetle

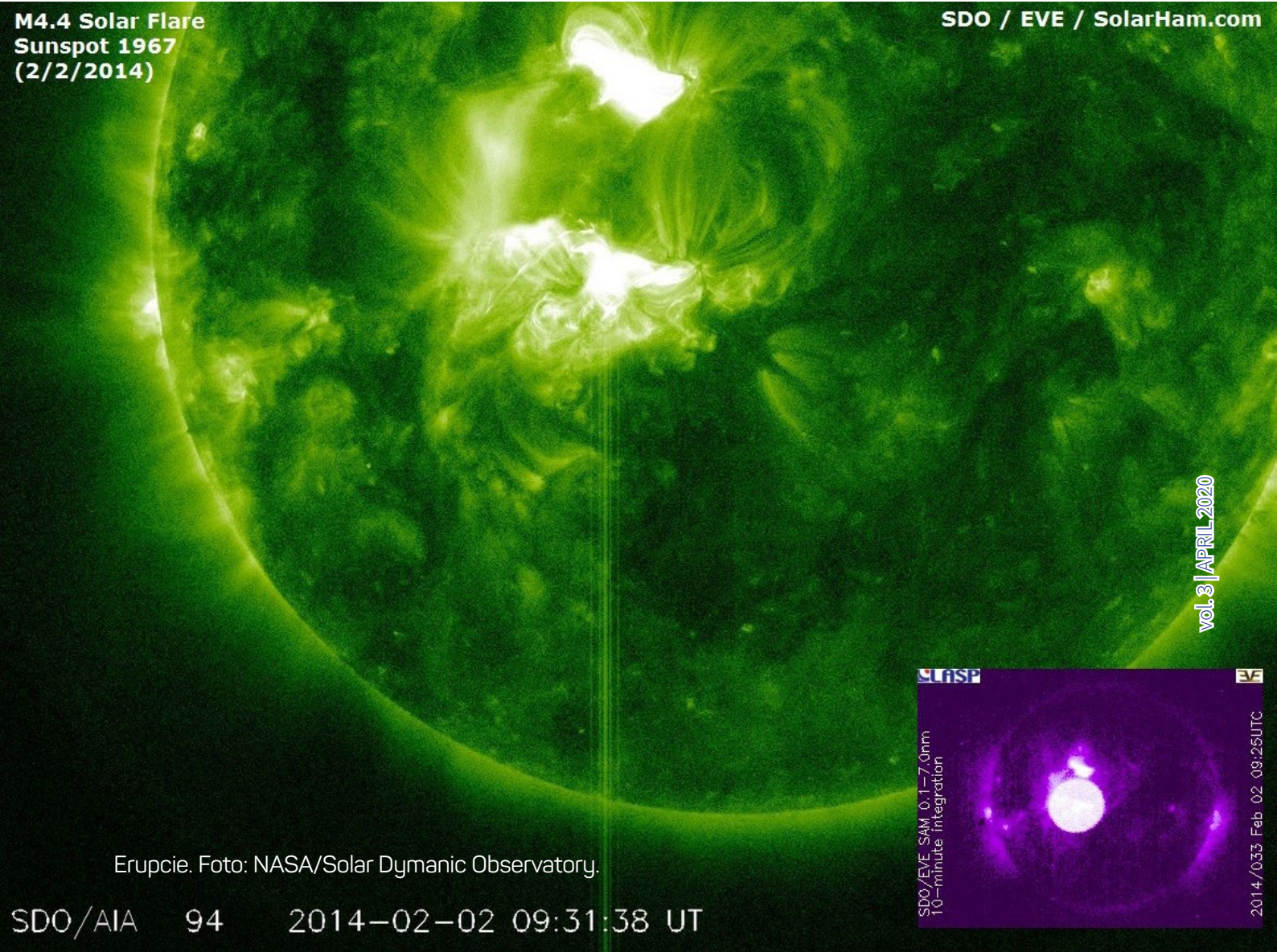


Počítačom spracovaná biela koróna zo 65 záberov rôznych expozícií, z 1. augusta 2008 (Mongolský Altaj, Mongolsko). Foto: M. Druckmüller, P. Aniol a V. Rušin.

(zvyčajne sa erupcie pozorujú v extrémne ultrafialovej oblasti (EUV) spektra alebo v spektrálnej čiare H-alfa, ionizovaného hélia alebo emisnej korónálnej čiary 530,3 nm) a vyskytla sa 1. septembra 1859. Vyvrhnuté častice korónálnej hmoty sa po erupcii zrazili s magnetosférou Zeme 1. – 2. septembra a spôsobili najväčšiu geomagnetickú búrku, aká bola dovtedy na Zemi zaregistrovaná. Búrka vyvolala veľmi silné polárne žiarenie, ktoré sa dalo pozorovať až v Paname a spôsobila chaos v telegrafných systémoch danej doby. Boli ovplyvnené aj navigačné systémy pri plavbe po mori. Ak by sa taká silná erupcia a následný výron korónálnej hmoty na Slnku pozorovali v súčasnosti a „zachytili“ by Zem, spôsobili by nám neskutočný chaos. Vypadli by energetické rozvodné systémy, poškodila by sa asi polovica telekomunikačných družíc, vypadli by internetové spojenia, navigácia pod. Aj preto, alebo hlavne preto, sa výskumu Slnka a prejavom jeho aktivity, čoho dôkazom je celá plejáda prístrojov na družiciach, či kozmických sondách, ktoré Slnko nonstop monitorujú, a to dokonca aj z odvrátenej strany (kozmicke

sondy STEREO A, B). Výskumom vplyvu Slnka na mnohé javy na Zemi zaoberá v súčasnosti nové vedné odvetvie „kozmickej počasia“.

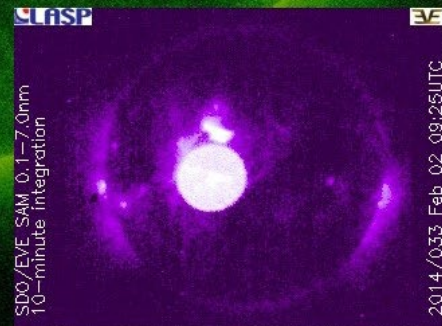
Slnčná erupcia (vzplanutie) je náhly záblesk (od sekúnd do niekoľkých minút), ktorý sa pozoruje v chromosfére a koróne, väčšinou v tesnej blízkosti slnečných škvŕn a ktorý môže byť sprevádzaný výronom korónálnej hmoty. Uvoľní sa pritom obrovské množstvo žiarenia, pri najsilnejších do 10^{25} J, a vysokoenergetických častíc – najčastejšie elektrónov a protónov, ktorých rýchlosť sa v niektorých prípadoch môže blížiť rýchlosti svetla. Pre lepšiu predstavu, najsilnejšie erupcie z malého objemu za 20 minút môžu uvoľniť toľko energie, koľko uvoľní Slnko za jednu sekundu z celého svojho povrchu. Erupcia, najenergetickejší prejav slnečnej energie vzniká v silných, spleťovaných a skrútených štruktúrach silotrubíc magnetického poľa vyplnených horúcou plazmou. Výsledkom erupcie je uvoľnené žiarenie, pozorovateľné v celej škále elektromagnetického spektra ako aj v rádiovkej oblasti a častíc. Celému procesu erupcie sa hovorí „magnetická



vol. 3 | APRIL 2020

Erupcie. Foto: NASA/Solar Dynamic Observatory.

SDO/AIA 94 2014-02-02 09:31:38 UT

SDO/EVE SAM 0.1-7.0nm
10-minute integration

2014/033 Feb 02 09:25UTC

rekonexia", po ktorej sa zložitá magnetická konfigurácia danej oblasti rapídne zjednoduší. V súčasnosti predpovedať presnejšie čas a miesto vzniku erupcie veda nepozná.

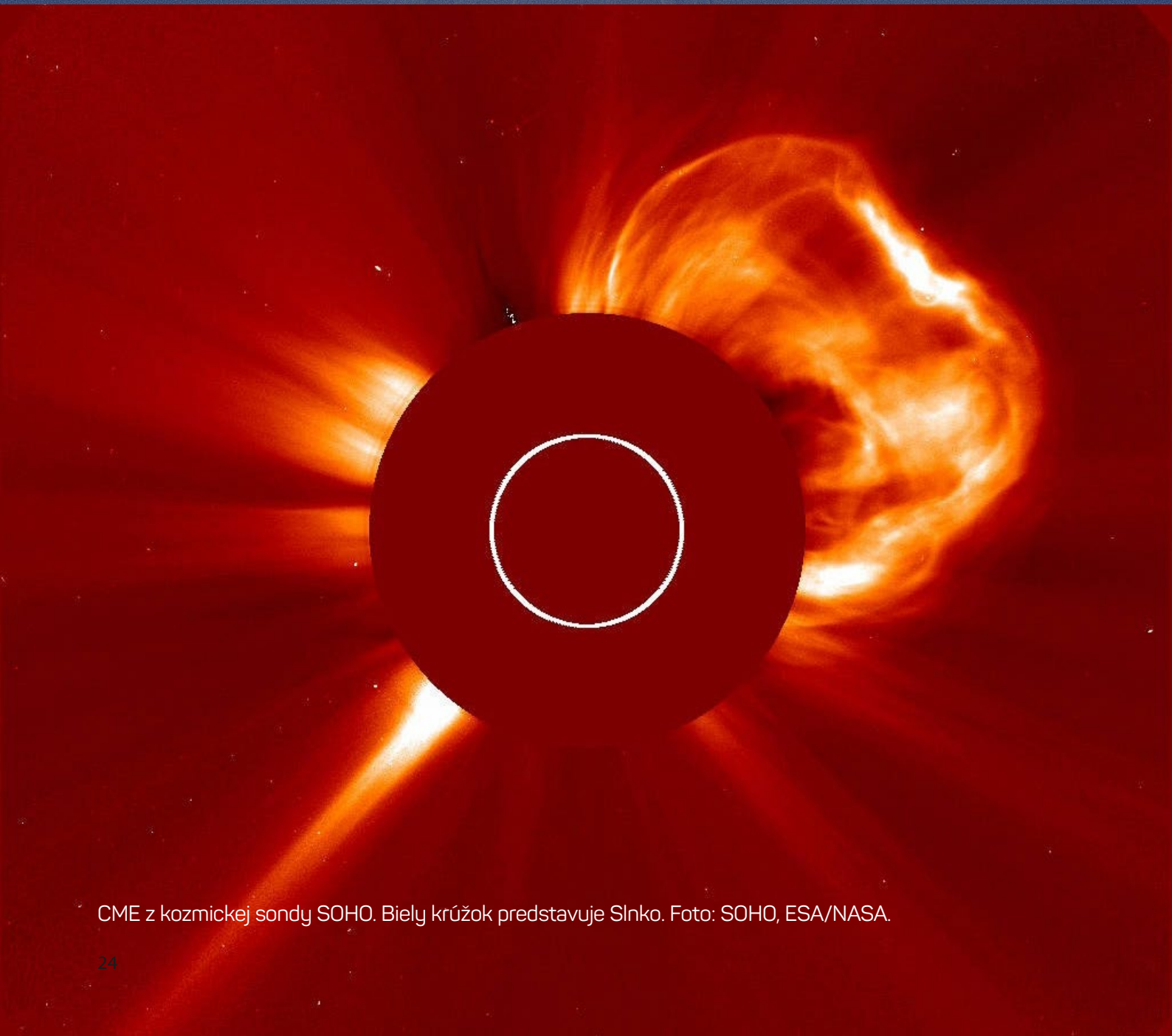
Výron (ejekcia) koronálnej hmoty (CME) je, čo do množstva uvoľnenej energie, rovnako veľký ako pri erupciách. Pri CME sa jedná o vyvrhnutie hmoty zo slnečnej koróny alebo z erupzívnej protuberancie (elektróny) a spre-vádzajúceho magnetického poľa, pri erupciách žiarenia a častíc. Výron koronálnej hmoty môže byť niekedy spojený s destabilizáciou pokojnej protuberancie alebo erupcie, ale nie je to podmienkou. Rýchlosti výronov hmoty sa pohybujú v rozmedzí od 20 do 3 200 km/s a ich stredná hmotnosť je okolo $1,6 \times 10^{12}$ kg a dráhu Zeme môžu dosiahnuť od 13 hodín do 86 dní. Prichádzajúce častice k Zemi spôsobujú geomagnetické búrky a polárne žiare. Spolu s erupciami môžu prerušiť rádiové spojenie, poškodiť prístroje na družiciach a poškodiť aj prenosové systémy vysokého napätia, v krajnom prípade ohrozovať ľudský život (kozmonauti, letecký

personál a pasažieri ak prelietavajú ponad póly Zeme). Prichádzajúce častice výronov koronálnej hmoty, spolu s časticami slnečného vetra, „zahusťujú“ a „ohrievajú“ ionosféru, čo vplýva na dráhy umelých družíc okolo Zeme a ich životnosť, ako povedzme rýchlosť pohybujúce sa auta v daždi alebo v snehu na ceste.

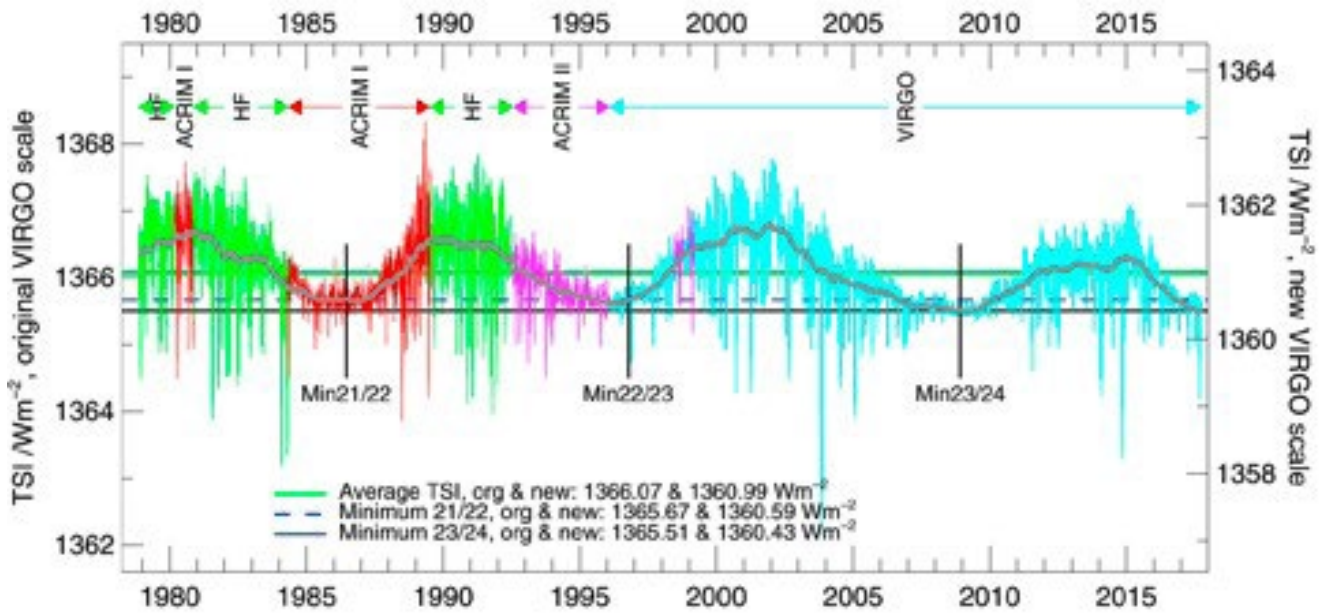
Kým zmena energie, ktorú nesie biele svetlo („total solar energy“) medzi maximom a minimom slnečnej činnosti a ktorej hodnota na vstupe do zemskej atmosféry je $1\,368\text{ W/m}^2$, je len 0,1 %, k ďaleko väčším zmenám dochádza v prenášanej energii v oblasti EUV a röntgenovej časti elektromagnetického žiarenia, hoci ich prínos k celkovej energii dodávanej zo Slnka je len okolo jedného percenta. Na strane druhej, tieto zložky žiarenia sú absorbované v horných vrstvách zemskej atmosféry, takže vplývajú na ich štruktúru, ionizáciu, teplotu a hustotu. A ako sme uviedli už skôr, v dnešnej modernej technologickej dobe vplývajú na funkciu a presnosť GPS, vysokofrekvenčnej telekomunikácie (používa sa v lietadlách), či na dráhy družíc okolo Zeme a pod.



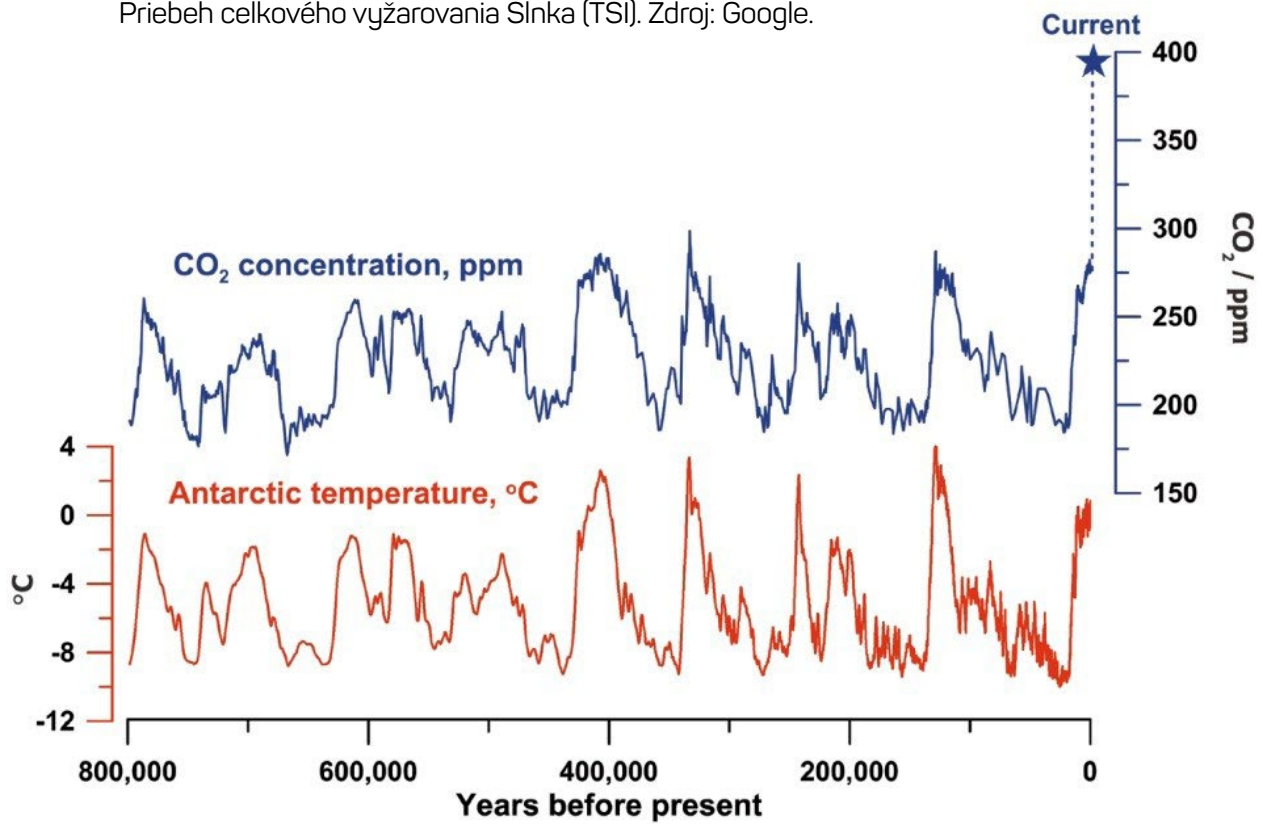
Dva CME pozorované súčasne v okolí maxima cyklu slnečnej aktivity počas zatmenia 3. novembra 2013 (La Lope, Gabon). Foto: V. Rušin a iní.



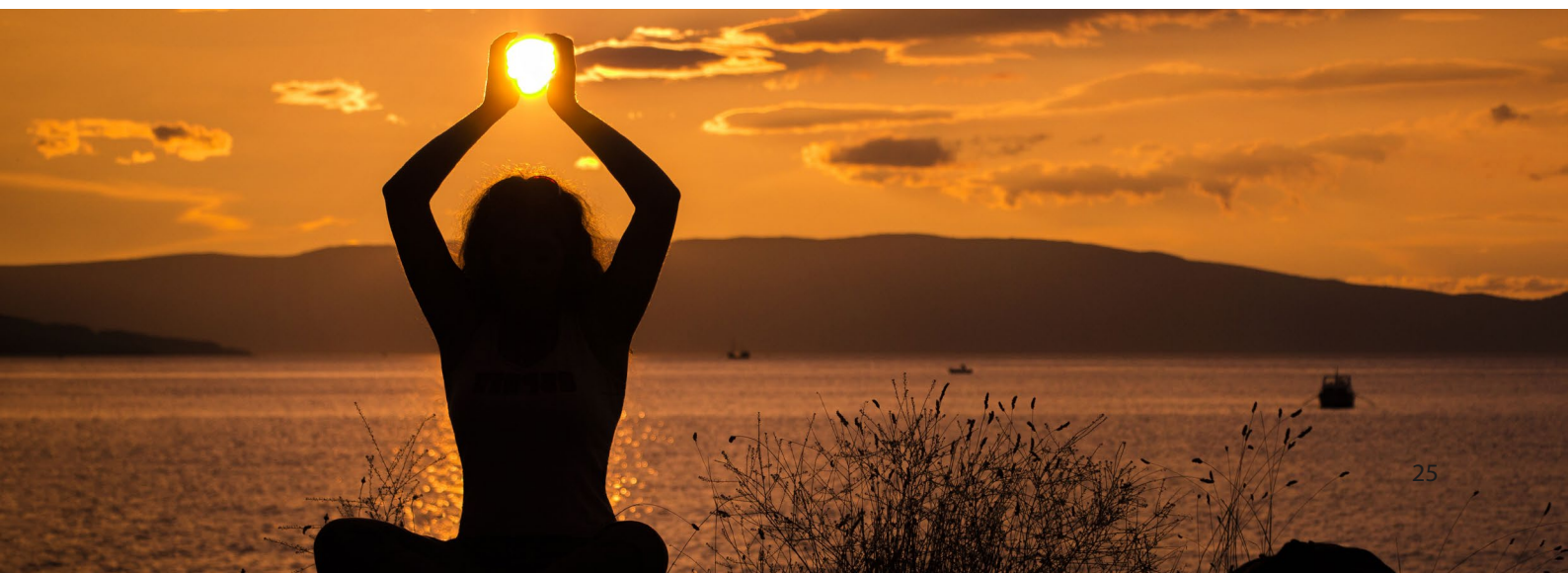
CME z kozmickej sondy SOHO. Biely krúžok predstavuje Slnko. Foto: SOHO, ESA/NASA.



Priebeh celkového vyžarovania Slnka (TSI). Zdroj: Google.



Priebeh teploty a koncentrácie CO₂ na základe vzoriek ľadu v Antarktíde za posledných 800 tisíc rokov. Zdroj: Jeremy Shakun, data from Lüthi et al., 2008 and Jouzel et al., 2007.



Môj (náš) prínos k výskumu Slnka

Slnko je zložitý útvar a ak o ňom vieme tak veľa, je to aj vďaka množstvu individuálnych prác, ktoré čím ďalej, majú viac spoluautorov. Je to dané hlavne tým, že pozorovania sú stále komplikovanejšie a ich interpretácia zložitejšia. Z tohto uhla pohľadu hodnotím aj svoje celoživotné pôsobenie v oblasti výskumu Slnka. Moja činnosť s viacerými kolegami bola zameraná na získavanie údajov o emisných spektrálnych čiarach koróny a protuberanciách na koronálnej stanici Lomnický štít alebo na výskum bielej koróny počas úplných zatmení Slnka. Získané údaje z pozorovaní sa použili nielen na vlastné vedecké a odborné práce, ale poslúžili desiatkam vedcov na celom svete. Z najdôležitejších výsledkov vyberám: časovo-priestorový vývoj emisnej zelenej koróny a protuberancií

v priebehu cyklov slnečnej aktivity, dynamika protuberancií, polárnych lúčov a CME, závislosť sploštenia bielej koróny, jej svietivosti a štruktúry od fázy cyklu slnečnej aktivity, dôkaz o krátkoperiodických osciláciách intenzít zelenej koróny, prípadne kratšie variácie svietivosti (napr. dva roky, 154 dní), ako je dĺžka slnečného cyklu a pod. Podkladom pre uvedené výsledky boli vlastné pozorovania na Lomnickom štíte alebo počas úplných zatmení Slnka. Za najvzácnejšie pozorovanie pokladám rozpad kométy Kreuzovej skupiny 1979 XI v tesnej blízkosti Slnka, ktorý sa prejavil v spektre koróny prítomnosťou emisných spektrálnych čiar Si II a Ni II, a je doteraz jediné svete. Unikátnu bielu korónu z 1. augusta 2008 na titulnej stránke uverejnil aj časopis Nature.



Bielá koróna pozorovaná 1. 8. 2008 v Mongolsku (Mongolský Altaj) a uverejnená v časopise Nature. Foto: M. Druckmüller, P. Aniol a V. Rušin.

Podakovanie. Táto práca vznikla v rámci projektu SAV, VEGA 2/0048/20.

Záver

Naša hviezda Slnko je nám sympaticky naklonená. Ak by tomu tak nebolo, život by na Zemi nevznikol. V nedávnom prieskume o možnom zániku života na Zemi, Slnko sa ocitlo až na piatom mieste (predbehla ho zrážka Zeme s asteroidom, či nerozumné chovanie sa ľudstva). Čo nám v tomto čase a v blízkej budúcnosti od Slnka hrozí, je vplyv procesov slnečnej aktivity na kozmonautov, na technologické zariadenia na družiciach a kozmických sondách alebo na Zemi. Proti viacerým z nich sa už vieme chrániť, napríklad v čase silných geomagnetických búrok vypnúť vysokona-

päťové prenosy elektrickej energie a transformátory, či prístroje na družiciach alebo kozmických sondách. Alebo nájsť odolnejší materiál na výrobu rôznych komponentov, odolávajúcich príletu energetických častíc zo Slnka na Zem. Ja som optimista. Slnko život v dohľadnej dobe na Zemi nezničí, ba ani klimatická zmena. Ved' za posledných 800 tisíc rokov sa pozorovali doby ľadové a medziladové s periódou okolo 100 tisíc rokov a zmenou teploty na Zemi až o 9 stupňov Celzia! A prvé formy života sa na Zemi objavili asi jednu miliardu rokov po jej vzniku.



Slničnica. Foto: V.Rušin



Literatúra

Brekke, P., 2012, *Our Explosive Sun*. Springer (ISBN 978-1-4614-0571-9)

Chile, C.A., Inohgo, G.D., Ikyo, B.A.: 2018, Yield Prediction Using Solar Activity, *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)* e-ISSN: 2278-4861. Volume 10, Issue 6 Ver. I (Nov. – Dec. 2018), 35 – 43 www.iosrjournals.org DOI: 10.9790/4861-1006013543 www.iosrjournals.org 35 | Page

History of Solar Physics: A Time Line of Great Moments: 1223 BC–250 BC". High Altitude Observatory. University Corporation for Atmospheric Research. Archived from the original on 18 August 2014.

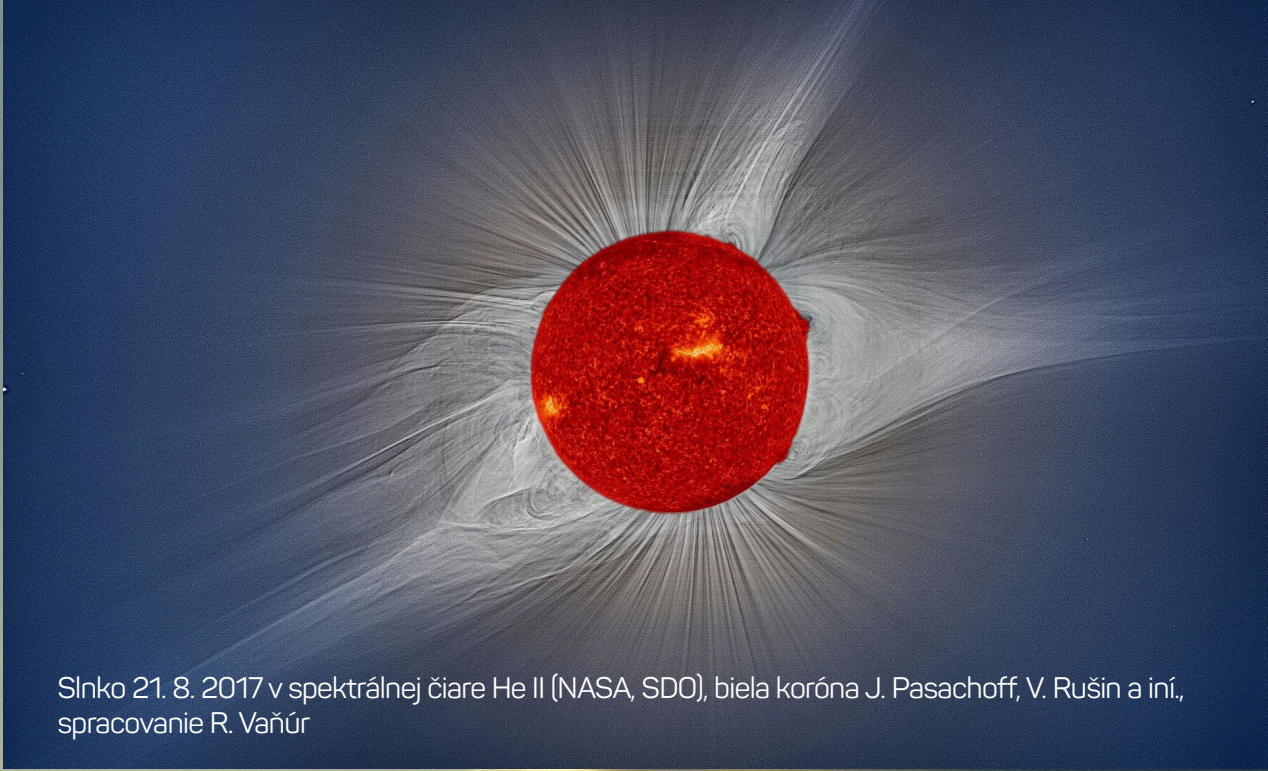
Kopernik, M., 1543, *De revolutionibus orbium coelestium*. Norimberg; slovenský preklad Obehy nebeských sfér (1974)

Pustilník, L. and Yom Din, D.: 2013, On Possible Influence of Space Weather on Agricultural Markets: Necessary Conditions and Probable Scenarios, *Astrophysical Bulletin* 68, 107 – 124

Rušin, V.: 2005, *Slnko, naša najbližšia hviezda*. VEDA, Bratislava.

Rušin, V.: 2010, *Cykly slnečnej aktivity*. In: *Celoslovenský astronomický seminár pre učiteľov 2010*, Eds. J. Svoreň a M. Husárik, *Astronomický ústav SAV*, s. 7 – 20.

Prikryl, P., Nikitina, L., Rušin, V. Rapid intensification of tropical cyclones in the context of the solar wind-magnetosphere-ionosphere-atmosphere coupling. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Volume 183, p. 36 – 60, (2019). <https://doi.org/10.1016/j.astp.2018.12.009>



Slnko 21. 8. 2017 v spektrálnej čiare He II (NASA, SDO), biela koróna J. Pasachoff, V. Rušin a iní., spracovanie R. Vaňúr

Addendum

Vážené čitateľky, vážení čitatelia,

Keď som začínal tvoriť tento príspevok (16.2.2020), korona virus (oficiálny názov COVID-19) už na svete bol, ale ani ten najväčší pesimista nemohol tušiť, že v priebehu krátkeho času vyvolá pandémiu. Nech nám v týchto ťažkých časoch pozitívna nálada pripojených dievčat dodá odvalu, nech nás ich úsmevy potešia a uistia, že život bude existovať aj po pandémii. Svet sa síce zmení, ale život nezanikne. A nech súčasná pandémia osvieti rozum nielen mocným tohto sveta, ale aj mamonárom, že nie zbrane, nie honba za majetkom či peniazmi sú v našom živote to najdôležitejšie – ale zdravie, šťastie a život v mieri.





Foto: V. Rušin

Vybrané publikácie

RNDr. Vojtecha Rušina, DrSc.



Svet nie je malý, ale je čoraz menší

Štefan Luby, Vojtech Rušin

Kniha dvoch profilujúcich autorov vydavateľstva VEDA Štefana Lubyho a Vojtecha Rušina, je pútavým rozprávaním o cestách oboch významných vedcov do sveta za poznáním a stretnutiami...

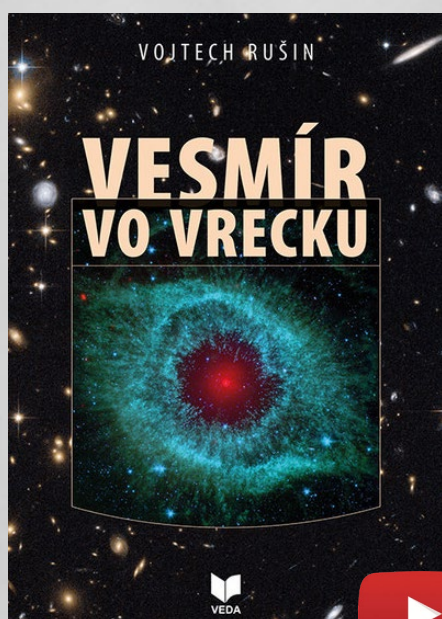
Tatranský astronóm, vedec, cestovateľ i fotograf Vojtech Rušin počas svojich 22 výprav za úplným zatmením Slnka navštívil mnohé, neraz veľmi exotické a vzdialené krajiny – sibírsku časť Ruska, Turecko, stredoafrický Niger, juh Afriky, Južnú Ameriku, vzdialené Galapágy, Marshallove ostrovy a i. Významným prínosom jeho kapitol je faktografická výpoveď, množstvo informácií nielen z geografického hľadiska, ale ja z hľadiska historického vývoja, stavu ekonomiky, kultúry, tradícií a zvykov.



Svet nie je malý, ale je čoraz menší

Audiovizuálny záznam zo slávnostného uvedenia knihy „Svet nie je malý, ale je čoraz menší“ na knižný trh.

<https://youtu.be/d3GzBsAFaVO>



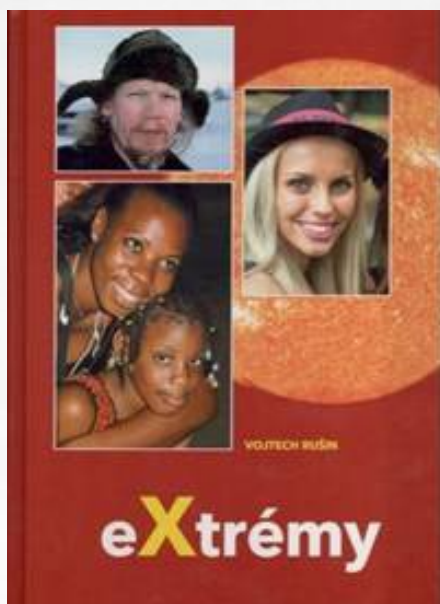
Vesmír vo vrecku

Vojtech Rušin

Vyšla ďalšia obrazová publikácia o Vesmíre a kvetinách od známeho astronóma, cestovateľa a fotografa RNDr. Vojtecha Rušina, DrSc.

Knihu venuje svojmu synovi Jankovi a členom posádky Vrtuľníkovej záchrannej zdravotnej služby ATE v Poprade, ktorí s ním leteli a tragicky zahynuli pri záchrannom nočnom lete vrtuľníka Bell 429 dňa 7. septembra 2016 v katastri obce Strelníky.

<https://youtu.be/hxxab3r2RBU>

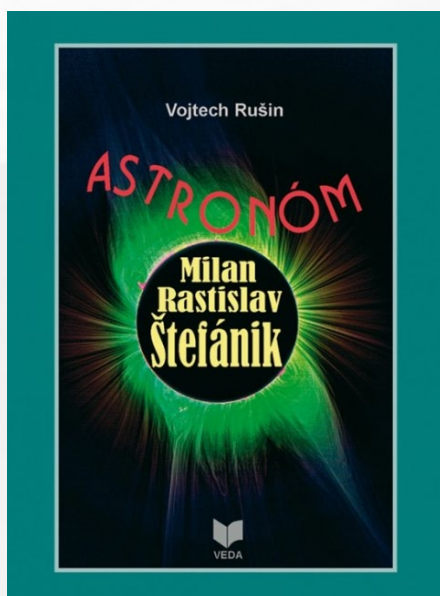


eXtrémy

Vojtech Rušin

Cestopis o putovaniach za úplným zatmením Slnka do Austrálie, afrického Gabonu a na Svalbard (medzinárodné územie, ktoré spravuje Nórsko) neďaleko Severného pólu nazval Dr. Vojtech Rušin (Astronomický ústav SAV) Extrémy.

Lebo práve to je charakteristické pre tieto miesta, kam ho túžba za poznáním a zážitkom priviedla. Inak: išlo o extrémne cesty.



Astronóm Milan Rastislav Štefánik

Vojtech Rušin

„Generál doktor Milan Rastislav Štefánik je mimoriadne veľkou postavou v dejinách slovenského národa. A nielen jeho...“

Generál doktor Milan Rastislav Štefánik je mimoriadne veľkou postavou v dejinách slovenského národa. A nielen jeho. V ranom vysielaní rozhlasovej stanice Bratislava boli dňa 12. marca 1989 citované slová Alexandra Matušku: „O veľkých ľuďoch treba hovoriť vo veľkom, alebo mlčať.“ A adresované boli Štefánikovi, tomu Štefánikovi, ktorý sa narodil v Košariskách pri Brezovej pod Bradlom 21. júla 1880 a tragicky zahynul 4. mája 1919 neďaleko Ivanky pri Dunaji...



Slnko Naša najbližšia hviezda

Vojtech Rušin

Prekrásna publikácia s množstvom unikátnych fotografií a obrázkov, sumarizuje o Slnku vari všetko, čo sme o tejto hviezde zatiaľ dokázali spoznať.

Od histórie výskumov Slnka, známych aj najnovších poznatkov o ňom, jeho postavenia v našej galaxii, až po - s troškou úsmevu - autorove fotografie domorodých krásavíc zo slnečného juhu, ktoré stretol pri svojich cestách do ďalekých krajín a prináša ich ako ilustráciu rozhodujúcej a pozitívnej úlohy Slnka pri vzniku a vývoji ľudstva.

RIADENIE

TEÓRIA • ZNALOSTI • REALIZÁCIA



To, čo dokázal jeden podnik, môže dokázať aj rad iných podnikov, ak si osvoja podstatu prieniku vedy do praxe.

To všetko, čo prežívame aj v týchto dňoch pri zásahu blesku Koronavírusu, predznamenáva novú etapu rozvoja ľudského spoločenstva. Všetci splácame svoje dlžoby spôsobené vykorisťovaním prírody, sebestvom, nespravodlivosťou a žitím na úkor iných, ktorí toho až tak veľa nemali.

Otváram môj tezaur poznania,

klúče od neho ponechávam v zámku a môže si ho otvoriť každý, kto tuší, aký je jeho obsah. Aby to nebolo veľké tajomstvo, prezradím vopred, že v ňom sprístupňujem intelektuálne poklady vrátane môjho životného diela známeho ako pentológia PODNIK A PODNIKANIE a kníh nadväzného edičného radu RIADENIE. Je to môj osobný dar odovzdaný elektronickou cestou každému, kto otvorením na adrese [KASSAYBOOKS.COM](https://www.kassaybooks.com) sa stane bezplatne duševným spoluvlastníkom aplikovaných znalostí v praxi. Pripájam sa tak k tým, ktorí s láskou a odhodlaním pomôcť vstupujú do procesov obnovy plnohodnotného života na našej zemeguli.

Štefan Kassay