ALTERNATOR
Misliti znanost.

Vreme iz vesolja

12. 5. 2022

Number: 19/2022

Author:

- Primož Kajdič

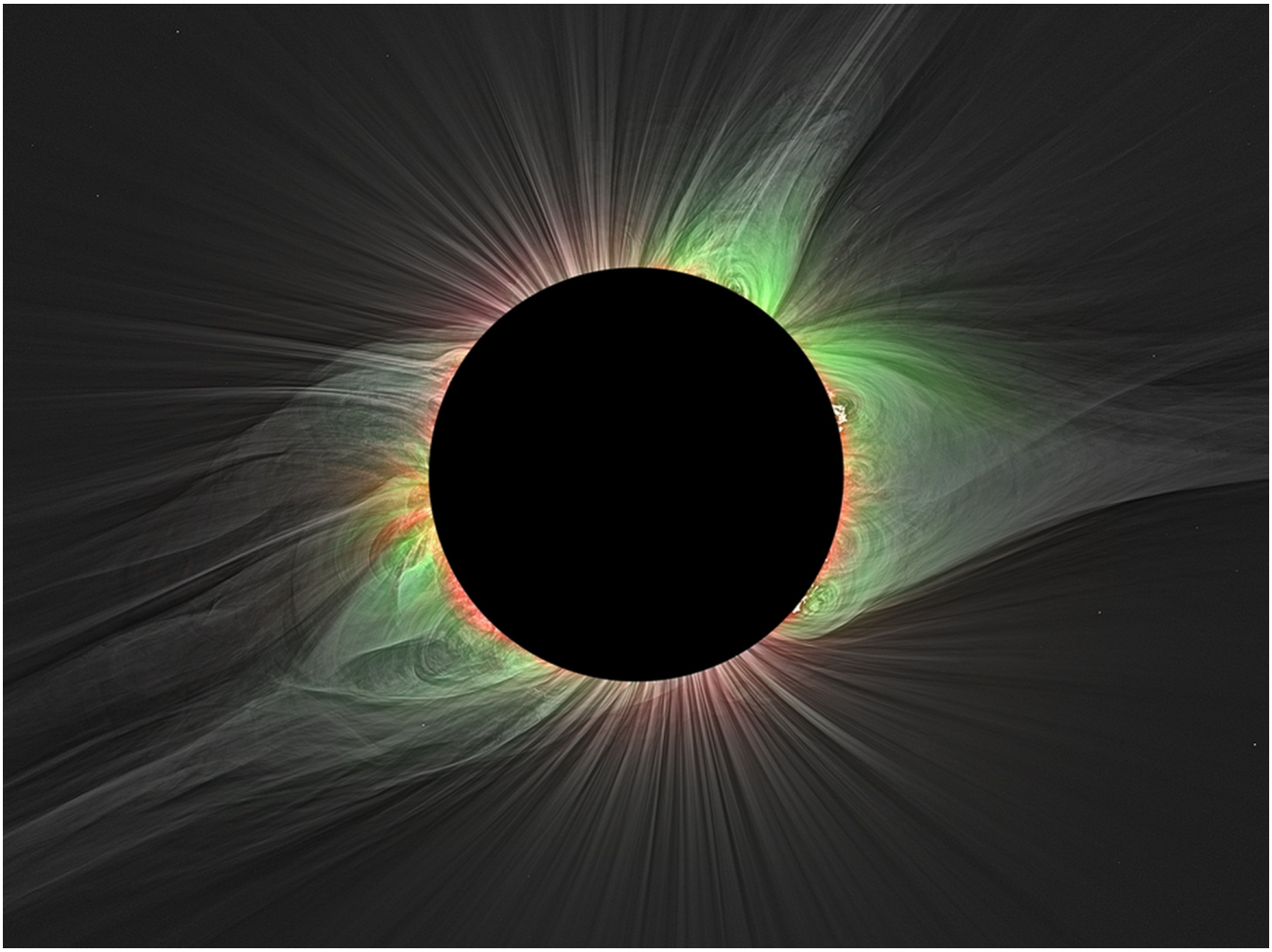


Foto: NASA

Med 13. in 15. majem 1921 so po celem svetu odpovedali telegrafi ter celo nekaj telefonskih sistemov. V telefonski centrali v švedskem mestu Karlstadt je celo zagorelo, pri čemer je bila centrala uničena. Podobno usodo je doživela tudi telefonska centrala v mestu Brewster v zvezni državi New York.

Četrtega avgusta 1972 je vzdolž vietnamske obale eksplodiralo ogromno morskih min, ki jih je tam zaradi vietnamske vojne posejala ameriška mornarica. Te mine so bile občutljive na nihanja magnetnega polja, ki jih ponavadi povzročajo bojne ladje – a teh tedaj ni bilo v bližini.

13. marca 1989 se je zgodil električni mrk v celotni pokrajini Quebec v Kanadi. Mrk je trajal kar 12 ur, pri čemer sta prenehala delovati tudi podzemna železnica ter letališče Dorval Airport.

3. februarja 2022 je ameriška korporacija SpaceX v orbito okoli Zemlje izstrelila 49 satelitov Starlink. Sateliti Starlink so bili izstreljeni v t. i. nizko orbito, in sicer na višino 210 kilometrov. Iz tedaj neznanih razlogov pa je kar 40 satelitov Starlink zgrmelo proti Zemlji ter zgorelo v atmosferi.

V zadnjih 160 letih smo znanstveniki spoznali, da Sonce ni le brezoblična, svetla krogla na našem nebu. Danes vemo, da gre za zelo dinamično nebesno telo, ki s svojo aktivnostjo še kako posega v naš vsakdan – in vsi zgoraj našteti dogodki so povezani prav s tem. Če se je še v drugi polovici 19. stoletja zdelo praktično nemogoče, da bi ta 150 milijonov kilometrov oddaljena zvezda lahko povzročala polarne sije ter močne motnje Zemljinega magnetnega polja, pa danes vemo, da Sonce lahko poškoduje telekomunikacijske in znanstvene satelite, povzroči lahko izpade električne energije, sproži morske mine in ogroža zdravje astronavtov v vesolju ali potnikov na čezpolarnih letih. Sončeva aktivnost predstavlja eno glavnih preprek za bodoča dolgotrajna vesoljska potovanja ter morebitne naselbine na Luni in nekaterih planetih, kot je na primer Mars. Skozi desetletja se je za vse motnje v medplanetarnem prostoru ter v neposredni bližini planetov, ki so posledica Sončeve dejavnosti, uveljavil skupni izraz *vesoljsko vreme*, za znanstveno vejo, ki ga proučuje, pa *vesoljska fizika*.

Sonce, izvor vesoljskega vremena

Če se povprečnemu zemljanu Sonce zdi vedno enako, pa opazovanja z znanstvenimi instrumenti kažejo različne podobe. Že takoj po izumu teleskopa v začetku 17. stoletja je Galileo Galilei uporabil ta instrument tudi za opazovanje Sonca. Galileo je na njegovem površju odkril temne lise, ki so spreminjale svojo lokacijo na njem. Slednje je Galileo pravilno pripisal rotaciji naše zvezde. Tem lisam danes pravimo Sončeve pege. Gre za območja na Soncu, ki so za približno 2000 stopinj Celzija hladnejša od preostalega površja, zato izsevajo manj svetlobe in se v primerjavi s preostalim površjem zdijo temna. Prva bolj sistematična opazovanja Sončevih peg so izvajali na Observatoriju v Zürichu v Švici in leta 1844 je Samuel Heinrich Schwabe (1789–1875) na podlagi teh opazovanj odkril, da se njihovo število na Soncu spreminja periodično z dobo približno 11 let, čemur danes pravimo *cikel Sončeve aktivnosti* ali tudi *Schwabov cikel*.

Po drugi strani je vesoljsko vreme tesno povezano s t. i. geomagnetno aktivnostjo, torej z motnjami zemeljskega magnetnega oziroma geomagnetnega polja. Prvi je o tem poročal angleški urar George Graham (1673–1751) v letih 1722 in 1723, ko je opazil nihanja kompasove igle v času, ko so se na nebu pojavljali polarni siji. Približno dvajset let pozneje sta švedska astronoma Anders Celsius (1701–1744) ter Olof Petrus Hiorter (1696–1750) ugotovila, da se geomagnetna aktivnost hkrati pojavlja na tako oddaljenih krajih na Zemlji, kot sta London in Uppsala, da gre torej za globalni pojav. Šele sredi 19. stoletja pa sta Edward Sabine (1788–1883) in Rudolf Wolf (1816–1893) neodvisno objavila rezultate svojih študij, v katerih sta pokazala, da obstaja korelacija med številom Sončevih peg ter geomagnetno aktivnostjo. V obdobjih, ko je peg na Soncu več, je več tudi dni, ko jakost in smer geomagnetnega polja nihata, pa tudi polarni siji so takrat pogostejši.

Prvi, ki je posumil na neposredno povezavo med dogajanjem na Soncu ter pojavi na Zemlji, pa je bil angleški astronom Richard Carrington (1826–1875). Carington je sistematično opazoval Sonce na svojem domačem observatoriju, pri čemer je sliko Sonca s teleskopom projiciral na bel zaslon, nato pa prerisoval pojave na Soncu ter o njih redno poročal v znanstvenih publikacijah (https://ui.adsabs.harvard.edu/search/fq=%7B!type%3Daqp%20v%3D%24fq_database%7D&fq_database=database%3A%20astronomy&p_=0&q=pubdate%3A%5B0000-01%20TO%201876-12%5D%20author%3A(%22carrington%2C%20r.%22)&sort=date%20desc%2C%20bibcode%20desc) . 1. septembra leta 1859 je opazil, da je del Sončevega površja v bližini večje skupine peg nekaj ur žarel mnogo močneje od preostalega površja. Že naslednji dan so se na Zemlji dogajale čudne stvari. Pojavili so se izjemno svetli polarni siji, ki so jih takrat lahko opazovali celo na Havajih in na Kubi. Iz Skalnega gorovja so prihajala poročila o tem, da so bile noči tako svetle, da se je dalo brati knjige brez svetilke. Prizadeta pa je bila tudi takratna tehnologija za pošiljanje sporočil na velike razdalje. Po telegrafu, ki je povezoval obe obali ZDA, je namesto sporočil prihajal le šum. Carrington je v svojem poročilu (https://academic.oup.com/mnras/article/20/1/13/983482) Kraljevemu društvu predlagal možnost, da je bil pojav na Soncu povezan z dogajanjem na Zemlji, vendar takratne znanstvene srenje ni prepričal, saj je v tistem obdobju še vedno prevladovalo prepričanje, da v prostoru med planeti vlada popoln vakuum, mehanizem, ki bi pojave na Soncu lahko ponesel do Zemlje, pa še ni bil znan.

Danes pojavom, ko del Sončevega površja močno zasveti, pravimo *bliščí*, močnim perturbacijam geomagnetnega polja z vsemi spremljajočimi pojavi pa *geomagnetne nevihte*. Kot bomo videli v nadaljevanju, bliščí na Soncu niso nujno znanilci geomagnetnih neviht, ampak morajo biti za to izpolnjeni posebi pogoji. Geomagnetna nevihta, ki se je zgodila 2. septembra 1859, je danes poznana kot *Carringtonov dogodek* in velja za najbolj intenzivno geomagnetno nevihto v zgodovini.

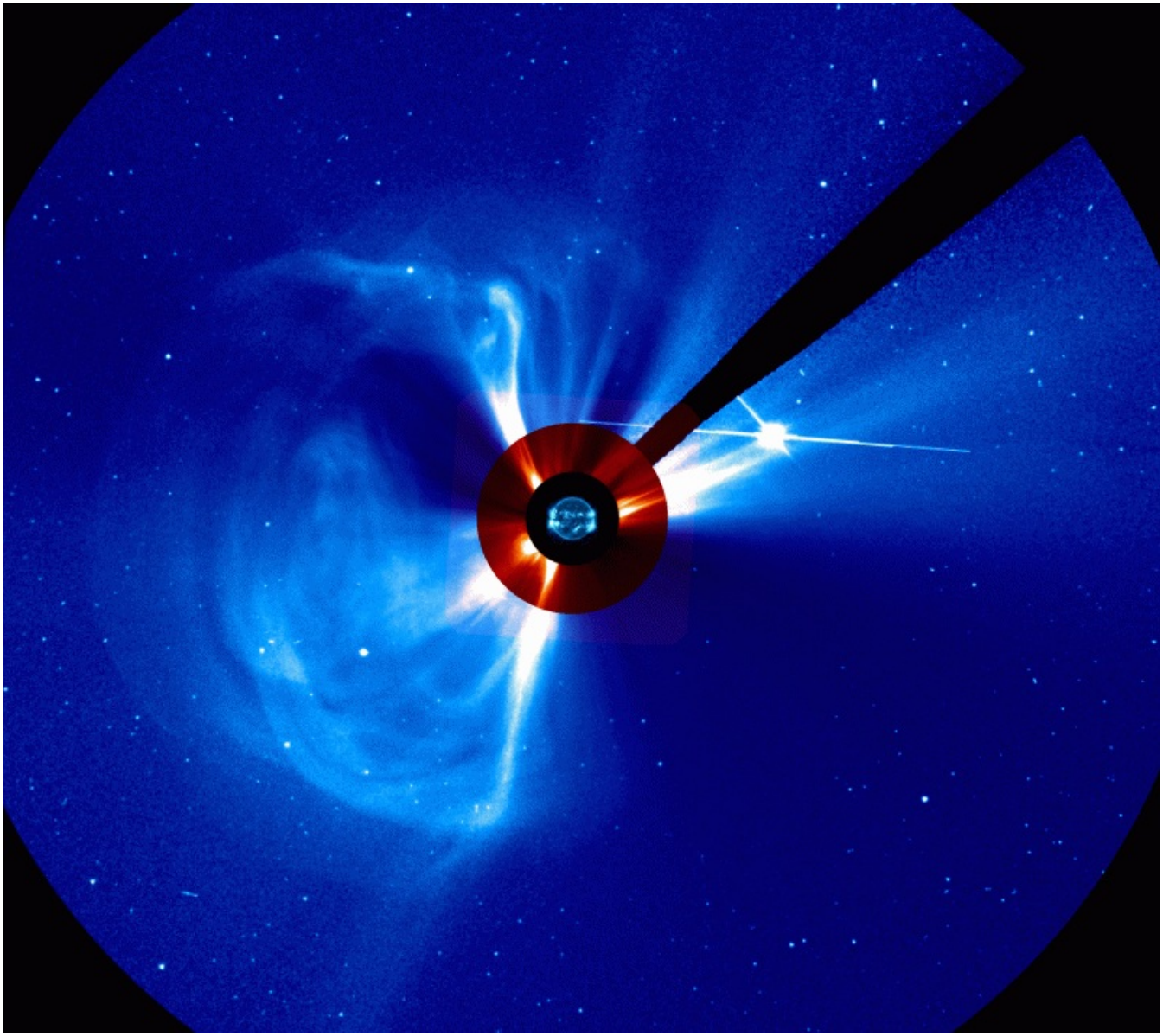
Sončeva aktivnost

Vzrok za Carringtonov dogodek pa ni bil sam bliščí. Ti pojavi namreč pogosto spremljajo neke druge pojave, ki jih poznamo pod imenom *izbruhi koronalne snovi*. Gre za ogromne eksplozije v Sončevi atmosferi, ki iz njene najbolj zunanje plasti, ki jo imenujemo korona, izvržejo v medplanetarni prostor ogromne količine vročega plina, večinoma vodika in helija, ter magnetnega polja (https://youtu.be/dbC6EGQYGTI) . Ti izbruhi imajo v bližini Sonca hitrosti do 3000 kilometrov na sekundo. Če so zelo hitri, se bo njihova hitrost med potovanjem po Osončju zmanjševala. Razlog temu je dejstvo, da je ves medplanetarni prostor zapolnjen s Sončevim vetrom, to je s plinom, ki nenehno odteka od Sonca proti medzvezdnemu prostoru s hitrostmi med 400 in 800 kilometri na sekundo. Sončev veter zavira hitre izbruhe koronalne snovi, saj nanje deluje s silo, ki je podobna zračnemu uporu. Če so izbruhi koronalne snovi počasnejši od Sončevega vetra, jih le-ta potiska v radialni smeri, zaradi česar se jim med potovanjem hitrost poveča. Na razdalji ene astronomske enote od Sonca (astronomska enota je povprečna razdalja med Soncem in Zemljo) dosežejo izbruhi koronalne snovi tipične hitrosti nekaj 100 pa do 1000 kilometrov na sekundo. Večina izbruhov koronalne snovi seveda ni usmerjena proti Zemlji. Tisti izbruhi, ki dosežejo Zemljo, lahko povzročijo najbolj intenzivne geomagnetne nevihte.

Tako kot število Sončevih peg se tudi pogostost izbruhov koronalne snovi spreminja skozi en Schwabov cikel. Med t. i. Sončevimi minimumi na površju naše zvezde peg bodisi ni bodisi jih je zelo malo. Takrat se izbruhi dogajajo v povprečju enkrat na teden. Med Sončevimi maksimumi je število Sončevih peg večje in vsak dan se zgodi več izbruhov koronalne snovi. En Sončev cikel je definiran kot čas, ki preteče med dvema zaporednima Sončevima minimuma. Te cikle danes štejemo. Februarja leta 1755 se je začel Sončev cikel, ki ga je Rudolf Wolf oštevilčil s številko 1, trenuten cikel pa nosi številko 25. Seveda niso vsi cikli enako intenzivni. Približno sto let pred Sončevim ciklom 1, tj. leta 1645, se je pričel Sončev minimum, ki je trajal kar sedemdeset let, čemur danes pravimo *Maunderjev minimum*, in sicer po angleškem astronomu Edwardu Walterju Maunderju (1851–1928). Skozi celoten Maunderjev minimum se pege na Soncu skorajda niso pojavljale. Po drugi strani smo bili v 20. stoletju priča t. i. *modernemu maksimumu*, ko so bili Sončevi maksimumi še posebej intenzivni. Tudi zato je znanstvenike presenetil daljši Sončev minimum med cikloma 23 in 24. Cikel 24, prvi v 21. stoletju, se je namreč začel decembra 2008, kar eno leto in pol pozneje, kot je bilo predvideno. Maksimalno število Sončevih peg, ki so se med tem ciklom hkrati pojavile na Sončevem površju, je bilo 82, med ciklom 23 pa je to število preseglo 180. Maksimum cikla 24 se je zgodil aprila leta 2014.

Dva primera izbruha koronalne snovi

Znanstveniki so v zadnjih nekaj desetletjih v orbito okoli Zemlje ter Sonca izstrelili številne znanstvene satelite, ki spremljajo dogajanje na Soncu. Ti vesoljski observatoriji nenehno snemajo Sonce v ultravijolični ter vidni svetlobi. Primer spektakularnega izbruha koronalne snovi je prikazan na spodnji sliki. Zgodil se je 14. oktobra 2014, ko je bilo Sonce blizu maksimuma Sončevega cikla 24. Osrednji del slike sestavlja posnetek Sonca v ekstremni ultravijolični svetlobi, ki ga je naredila NASINA odprava za opazovanje dinamike Sonca (*Solar Dynamics Observatory* oziroma SDO). V teh valovnih dolžinah se lepo vidijo svetle strukture v koroni, ki jim pravimo aktivna območja, iz katerih izvirajo izbruhi koronalne snovi. Posnetka okolice Sonca (z rdečim ter modrim ozadjem) je naredila odprava za opazovanje Sonca in heliosfere (*Solar and Heliospheric Observatory* oziroma SOHO), in sicer v vidni svetlobi. Prikazan izbruh ni potoval proti Zemlji, temveč prečno na smer Sonce–Zemlja, na svoji poti pa je dosegel druga nebesna telesa (Witasse idr. 2017 (https://doi.org/10.1002/2017JA023884)). Tako je 17. oktobra ta izbruh zaznalo več vesoljskih misij v orbiti okoli Marsa, 22. oktobra je izbruh dosegel komet 67P/Churyumov-Gerasimenko, kar je izmerila slavna odprava Rosetta, 12. novembra pa ga je opazila odprava Cassini v orbiti okoli Saturna. Med 18. januarjem in 14. februarjem 2015 ga je na razdalji več kot 31 astronomskih enot zaznala misija Nova obzorja (angl. *New Horizons*), marca istega leta pa še sonda Voyager 2, ki se je takrat nahajala na samem robu Osončja, in sicer na razdalji 111 astronomskih enot od Sonca, kar je absolutni rekord.



Močan izbruh koronalne snovi, ki sta ga 15. oktobra 2014 posneli misiji Solar Dynamics Observatory (SDO) v ultravijolični svetlobi (centralni del slike) ter Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) v beli svetlobi (dela slike z rdečim in modrim ozadjem). Izbruh so pozneje zaznale sonde Mars Express, MAVEN, Mars Odyssey ter Mars Science Laboratory v orbiti okoli Marsa, Rosetta v bližini kometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, Cassini pri Saturnu, New Horizons na razdalji 31,6 astronomske enote ter Voyager 2 na oddaljenosti 110 astronomskih enot. Kompozicija je bila narejena z JHelioviewer (https://www.jhelioviewer.org/) .

Med ciklom 24 je Sonce presenetilo še enkrat. 23. julija 2013 je vesoljska sonda STEREO A, ki se nahaja v orbiti okoli Sonca na razdalji približno ene astronomske enote, zaznala izjemno hiter izbruh koronalne snovi, katerega hitrost je bila kar 2250 kilometrov na sekundo. Šlo za najhitrejši izbruh, ki smo ga zaznali v vesoljski dobi. V prvi znanstveni študiji (https://www.nature.com/articles/ncomms4481) tega dogodka so znanstveniki ocenili, da če bi ta izbruh dosegel Zemljo, bi bil po jakosti podoben Carringtonovemu dogodku in bi povzročil ogromno gospodarsko škodo, ki bi samo v ZDA, po ocenah druge študije (https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2009/21jan_severespaceweather) , presegla 2 bilijona ameriških dolarjev. Liu in sodelavci so raziskali tudi razloge za tako visoko hitrost izbruha na razdalji ene astronomske enote. Izkazalo se je, da so v dneh pred omenjenim izbruhom v isto smer potovali drugi, manjši izbruhi. Le-ti so »počistili« medplanetarni prostor ter za sabo pustili Sončev veter z izjemno nizko gostoto, ki hitremu izbruhu ni predstavljal ovire na njegovi poti. Tudi zato je ta dogodek postal poznan kot »popolna nevihta« (angl. *perfect storm*).

Civilizacija v vesolju

Smo družba, ki svojo tehnologijo vedno bolj seli v vesolje, zaradi česar postajamo čedalje bolj občutljivi na vesoljsko vreme. Da bi se v prihodnosti zaščitili pred temi pojavi, je več držav že ustanovilo programe, ki se ukvarjajo s spremljanjem in napovedovanjem vesoljskega vremena. Med institucijami, ki so zadolžene za spremljanje le-tega, prednjačita Evropska vesoljska agencija (ESA) in ameriška NASA oziroma njen NOAA (https://www.noaa.gov/) Center za napovedovanje vremena v vesolju (*Space Weather Prediction Center* (https://www.swpc.noaa.gov/)). ESA je februarja 2020 v vesolje poslala odpravo Solar Orbiter, ki okoli Sonca potuje po zapleteni tirnici ter se mu na trenutke približa na vsega 0,3 astronomske enote, kar je manj od polmera Merkurjeve orbite. Solar Orbiter nam posreduje najbolj podrobne posnetke Sončevega površja, eden od ciljev odprave pa je, da bi se z njenimi podatki naučili napovedati izbruhe na naši zvezdi.

NASA je avgusta 2018 proti Soncu izstrelila sondo Parker Solar Probe (PSP), ki je dobila ime po odkritelju Sončevega vetra, nedavno preminulemu Eugenu Parkerju (1927–2022). PSP se na trenutke Soncu približa na vsega nekaj milijonov kilometrov, tako da dejansko vstopi v Sončevo korono. Zaradi te bližine PSP ne more snemati Sonca, temveč meri trenutne fizikalne lastnosti korone in Sončevega vetra.

Obema misijama delajo družbo še misije STEREO, ACE, Wind, SOHO, SDO in druge, ki nas brez prestanka oskrbujejo z neprecenljivimi podatki o dogajanju v medplanetarnem prostoru. Njihova opazovanja danes že imajo komercialno vrednost, saj nas lahko nekaj deset minut do nekaj ur vnaprej obvestijo o prihajajočih izbruhih, tako da velike korporacije, ki upravljajo telekomunikacijske ter znanstvene satelite, lahko le-te zaščitijo pred škodljivimi vplivi, pri čemer je najučinkovitejša strategija ta, da se nabolj občutljive sisteme preprosto začasno ugasne. Tudi astronavti na mednarodni vesoljski postaji se ob opozorilih zatečejo v tiste dele postaje, ki jih bolje ščitijo pred delci visokih energij, ki spremljajo izbruhe koronalne snovi. Stene teh delov postaje so prekrite s t. i. polietilenskimi opekami, ki zmanjšajo vpliv sevanja za približno 20 odstotkov. Delci visokih energij imajo na naše zdravje podoben vpliv kot radioaktivno sevanje. Akutni sindromi, ki se lahko pojavijo kmalu po izpostavljenosti visokoenergijskim delcem, so bruhanje, utrujenost, slabost in bolezni centralnega živčevja. Kronična obolenja (https://soncniblog.com/vesoljska-potovanja/) se lahko pokažejo šele čez leta oziroma desetletja po izpostavljenosti sevanju, med njimi pa so rak, siva mrena, poslabšanje vida ter degenerativna srčna obolenja. V prihodnosti bomo primorani tako zaščito bistveno izboljšati, saj bo v nasprotnem primeru ogroženo zdravje in življenje astronavtov na dolgotrajnih medplanetarnih misijah ter prebivalcev bodočih naselbin na drugih nebesnih telesih, kot sta Luna ter Mars, ki nimata lastnega magnetnega polja in goste atmosfere, ki

bi ljudi ščitila pred škodljivimi delci iz vesolja.

https://www.alternator.science/en/long/vreme-iz-vesolja/