

ŠTO NAM SVE OTKRIVA SUNČEVA SVJETLOST?

Pregled današnjih istraživanja Sunca opisuju: dipl. ing. Mateja Dumbović, dr. sc. Jaša Čalogović, dr. sc. Bojan Vršnak i dr. sc. Roman Brajša, hrvatski stručnjaci za Sunce iz Opervatorija Hvar, koji djeluju u sklopu Geodetskog fakulteta u Sveučilištu u Zagrebu.

Mateja DUMBOVIĆ, Zagreb; Jaša ČALOGOVIĆ, Zagreb; Bojan VRŠNAK, Zagreb i Roman BRAJŠA, Zagreb

Suvremeno istraživanje Sunca provodi se u čitavom spekturu elektromagnetskog zračenja nizom instrumenata smještenih kako na Zemlji, tako i na floti svemirskih letjelica koje su razmještene širom Sunčevog sustava. Promatranje Sunca pri valnim duljinama koje ne prolaze kroz Zemljinu atmosferu, kao i povećanje razlučivosti opažanja sa Zemlje, daju atraktivne snimke i detaljna mjerena najbliže nam zvijezde pa uvelike doprinose sve većem razumijevanju fizikalnih procesa na Suncu i njegovog utjecaja na njegovu heliosferu. Primjenom najsvremenijih instrumenata, metoda mjerjenja i analizom prikupljenih podataka razotkrivamo tajne Sunčeve strukture i evolucije, njegovu magnetsku aktivnost i eruptivne procese, kao i Sunčev utjecaj na meduplanetarni prostor i Zemlju.

A sve je započelo...

Može se reći da era znanstvenog istraživanja Sunca započinje izuzom teleskopa i njegovim usmjeravanjem prema najbližoj nam zvijezdi. Ta pionirska opažanja Sunca u vidljivom dijelu elektromagnetskoga spektra, tijekom 17. stoljeća, otkrila su nam Sunčeve pjage – tamna područja na Sunčevu vidljivoj površini (photoseri) – i činjenicu da se Sunce okreće oko svoje osi. Promatranjem Sunčevih pjega, otkriveno je da one nisu stalne i nepromjenjive, već da izviru, mijenjaju svoju veličinu i oblik te nakon nekog vremena nestaju – neke nakon samo nekoliko sati, a neke čak nakon nekoliko mjeseci. Sustavna opažanja

Sunčevih pjega nastavljena su do današnjih dana, a dugoročni niz opažanja otkrio je periodičnost u porastu i smanjenju broja Sunčevih pjega, odnosno otkriven je jedanaestogodišnji Sunčev ciklus.

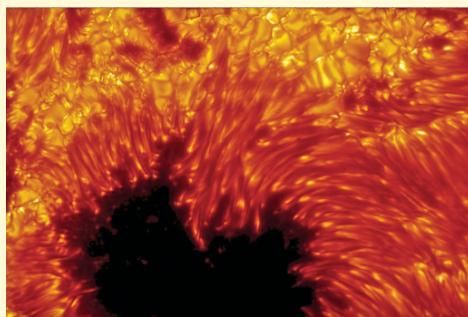
Razvojem spektroskopije, krajem 19. i početkom 20. stoljeća, opažanja Sunca počela su se provoditi i u uskim dijelovima elektromagnetskoga spektra – u atomskim linijama. Spektroskopska opažanja otkrila su postojanje snažnih magnetskih polja na Suncu i omogućila opažanje Sunčeve atmosfere. Sunčeva atmosfera prozirna je za svjetlost koja dolazi s fotosferi i stoga je bila nevidljiva dotadašnjim »standardnim« teleskopima. Međutim, prava revolucija uslijedila je s erom svemirskih letjelica u drugoj polovici 20. stoljeća, dakle s opažanjima izvan Zemljine atmosfere u onim područjima elektromagnetskoga spektra koja Zemljina atmosfera ne propušta i stoga se ne mogu vidjeti s površine Zemlje.

Veće je bolje!

Veličina objektiva utječe na moć razlučivanja teleskopa, stoga za teleskope vrijedi izreka: »Veće je bolje«. Upravo iz tog razloga, razlučivost zemaljskih teleskopa prednjači pred onima sa svemirskih letjelica, budući da su svemirske letjelice ograničene masom i dimenzijama instrumenata koje mogu ponijeti sa sobom. Međutim, da bi se postigla velika razlučivost zemaljskih teleskopa potrebno je riješiti niz poteškoća koje se javljaju u pokušajima »hvatanja« Sunčeve svjetlosti na Zemlji.

Jedan od velikih problema je Zemljina atmosfera koja svojim turbulencijama utječe na razlučivost i kvalitetu slike. U većini slučajeva atmosfera ne dopušta razlučivanje ispod jedne lučne sekunde (što odgovara udaljenosti od oko 700 km na Sunčevu površini), a takva razlučivost je teorijski dostupna već primjenom objektiva veličine 10-ak centimetara. Naime, u idealnim uvjetima razlučivost teleskopa ograničena je difracijom i određena kao omjer promatrane valne duljine i promjera tele-

MEDUNARODNA GODINA SVJETLOSTI



Slika 1. Prikaz detaljne strukture Sunčeve pjage. Snimljeno 1-metarskim Švedskim solarnim teleskopom na Kanarskim otocima, koji za snimanje Sunca koristi nove tehnologije te postiže razlučivost struktura na Suncu do 100 kilometara.

skopa. Za vidljivi spektar može se vrlo jednostavno odrediti Dawesovom formulom $R = 120/D$, gdje je R razlučivost teleskopa u lučnim sekundama, a D promjer objektiva u mm. Dodatni problem je sakupljanje velike količine svjetlosti u teleskopu. Ona uzrokuje zagrijavanje unutrašnjosti teleskopa, što utječe na kvalitetu slike.

U posljednja dva desetljeća razvijene su nove tehnologije koje su donekle rješile spomenute probleme. Tako je isisavanjem zraka iz teleskopskih optičkih cijevi i preciznim hlađenjem optičkih elemenata moguće spriječiti zagrijavanje teleskopa. Dodatno poboljšanje razlučivosti solarnih teleskopa moguće je primjenom adaptivne optike. Pomoću posebne kamere bilježe se atmosferske turbulencije, nakon čega se kompjutorski izračunavaju potrebne korekcije, a one se uz pomoć specijalnoga i savitljivog zrcala neposredno primjenjuju na glavni snop svjetlosti u teleskopu. Suvremenim računalima i pomoću određe-

nih algoritama (npr. speckle-rekonstrukcija), moguće je dodatno smanjiti šum dobivenih podataka. Zahvaljujući ovim tehnološkim poboljšanjima noviji teleskopi, kao što su *New Solar Telescope*, *GREGOR*, ili *Švedski solarni teleskop*, imaju razlučivost mnogo bolju od jedne lučne sekunde te omogućuju raspoznavanje detalja međusobno udaljenih 100 km na Sunčevoj površini (sl. 1).

Nedostatak opažanja sa Zemlje, u odnosu na satelitska opažanja Sunca, je i ograničen period promatrana, uvjetovan izmjenom dana i noći te vremenskim uvjetima. Stoga je važno promatrati Sunce sa što više položaja na Zemlji, odnosno potrebna je mreža manjih opservatorija s manjim teleskopima. Ovakvim opažanjima doprinosi i Opervatorij Hvar Geodetskog fakulteta u Zagrebu, koji posjeduje dva solarna teleskopa, kojima upravlja računalo, a smješteni su na otoku Hvaru. Prvim teleskopom, kojemu je promjer objektiva 20 cm, izvode se opažanja fotosfere u bijeloj svjetlosti, a drugi, kojemu je promjer objektiva 13 cm, omogućuje promatrivanje Sunčeve kromosfere (dio Sunčeve atmosfere) pri vodikovoj spektralnoj liniji H-alfa (sl. 2.). Vidno polje Hvarskog kromosferskog teleskopa i područje elektromagnetskog spektra koje njime možemo detektirati pogodni su za proučavanje Sunčevih bljeskova – eruptivnih fenomena u Sunčevoj atmosferi, koji odašilju elektromagnetsko zračenje vrlo širokoga spektra (od radiovalova do gama-zračenja). Osim toga, pogodni su i za opažanje prominencijsa, nakućina guste kromosferske plazme koje su izdignute u više slojeve Sunčeve atmosfere. Prominencijs mogu biti stabilne (»mirne prominencijs«, traju i po nekoliko mjeseci) i aktivne. »Eruptivne prominencijs« aktivna su izbacivanja plazme u visoku korunu u trajanju od svega nekoliko minuta.

Sunce u radiovalnom području

Sunčeva aktivnost u radiovalnom području otkrivena je rada-rima tijekom Drugog svjetskog rata. Rat je ujedno i usporio



Slika 2. Primjer opažanja hvarskim solarnim teleskopom. Prikazana je grupa Sunčevih pjega na Sunčevoj fotosferi (lijevo) te pripadajuće aktivno područje u Sunčevoj kromosferi (desno). Za usporedbu: veće Sunčeve pjage su veličine naše Zemlje, odnosno, imaju polumjer od nekoliko tisuća kilometara.

MEDUNARODNA GODINA SVJETLOSTI

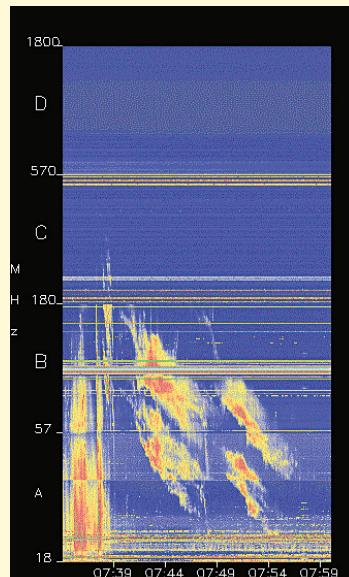


Slika 3. Fotografija dijela sustava radioteleskopa *Atacama Large mm/sub-mm Array* (ALMA). (www.almaobservatory.org, 23. siječnja 2015.)

razvoj ovog područja fizike Sunca pa je napredak u prostornoj i spektralnoj kategorizaciji Sunčevih radiosignala postignut tek u drugoj polovici 20. stoljeća.

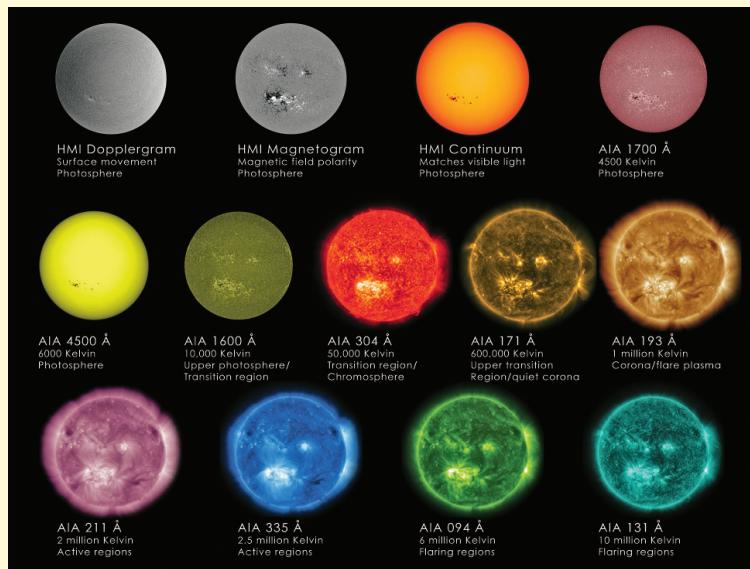
Budući da radiovalno zračenje u širokom spektru frekvencija prolazi kroz Zemljinu atmosferu, ono se može »hvatići« antenama na Zemljinoj površini. Problem je što pojedinačni uredaji imaju slabu razlučivost, a raspon frekvencija je širok. Veliki napredak postignut je korištenjem interferometrije, tj. zbrajanja signala većeg broja radio-antena u jedan sustav. Jedan od takvih sustava je *Atacama Large mm/sub-mm Array* (ALMA), trenutačno jedan od najvećih svjetskih astronomskih projekata u kojemu zajednički sudjeluju astronomске institucije iz Europe, Sjeverne Amerike i Istočne Azije. Opervatorij je smješten u pustinji Atacama, u sjevernom Čileu na nadmorskoj visini od 5000 m. Glavni razlog za odabir toga položaja bila je njegova iznimno suha klima zbog koje Zemljina atmosfera na tome mjestu dobro propušta milimetarske i submilimetarske radiovalove. ALMA je sustav od 66 pojedinačnih antena promjera 12 i 7 metara. Opseg valnih duljina koje se mogu opažati obuhvaća raspon od 3,4 do 0,3 mm, što odgovara frekvencijama od 86 do 720 GHz. Radioteleskopi ALMA-e mogu se koristiti kao pojedinačne antene, ali njihova glavna prednost je interferometrijski način rada, koji omogućuje vrlo veliko prostorno razlučivanje. ALMA spada među vrlo rijetke instrumente kojima je moguće promatrati gotovo sve astronomске objekte. Promatranja Sunca su trenutačno u pokusnoj fazi, ali ALMA će omogućiti promatranja strukture Sunčeva kromosfere, aktivnih područja, prominencijskih filamentarnih i bljeskovih sa spektralnim, prostornim i vremenskim razlučivanjem kakvo do sada nije bilo moguće. Opervatorij Hvar suraduje s Astronomskim institutom Češke akademije znanosti i Europskim južnim opervatorijem (ESO) i uključen je u pokusna opažanja Sunca pomoću ALMA-e (sl. 3.).

U radiovalnom spektru Sunca uočavamo nagle (reda veličine sat vremena) emisije velikog intenziteta, posebice u decimetarskom i metarskom području valnih duljina. Takve provale Sunčevog radiozračenja uglavnom su povezane s aktivnim područjima na Suncu i pripadajućim eruptivnim procesima. Stoga su radioopažanja Sunca važna za proučavanje »Sunčevih oluja« (sl. 4.).



Slika 4. Dinamički spektar koji prikazuje razvoj dva različita tipa provale Sunčevog radiozračenja. Snimljeno u području frekvencija od 570 do 18 MHz na radioopervatoriju *Culgoora* u Australiji (20. siječnja 2004.). Dinamički spektar povezan je s eruptivnim procesima na Suncu (Sunčev bljesak i koronin izbačaj). (www.ips.gov.au, 23. siječnja 2015.).

MEĐUNARODNA GODINA SVJETLOSTI

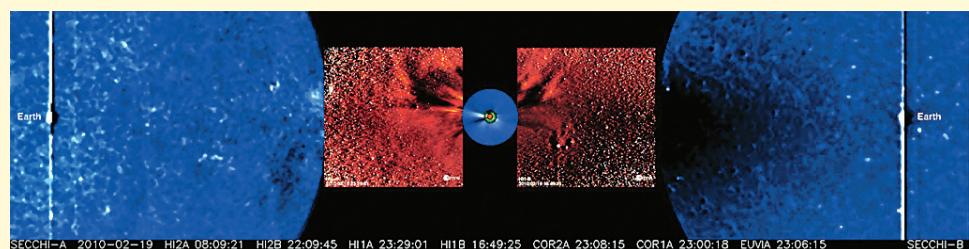


Slika 5. Pregled snimaka različitih instrumenata NASA-inog satelita *Solar Dynamics Observatory* (SDO), koji prikazuju različite slojeve Sunca, vidljive pri različitim valnim duljinama, koje odgovaraju različitim temperaturama. (www.thesuntoday.org, 20. siječnja 2015.).

Sunce iz svemira

Svemirske letjelice omogućile su proučavanje Sunčevog zračenja pri valnim duljinama koje slabo dopiru do površine Zemlje, poput X-zraka i ultraljubičaste svjetlosti, ali i izravna mjerena neposrednog svemirskog okoliša Zemlje izvan njezine magnetrofere. Satelitska era dovela je do važnih otkrića i razumijevanja bogate strukture i promjenjivosti Sunčeve korone, Sunčevog vjetra te koroninih izbačaja. Danas Sunce promatramo u različitim područjima elektromagnetskog spektra, a ta područja odgovaraju različitim temperaturama promatrane plazme, pa stoga i različitim slojevima Sunca (sl. 5.).

Budući da je Sunčeva korona izrazito visoke temperature (i preko milijun K) i niske gustoće, ona, za razliku od mnogo hladnije fotosfere (temperature 5780 K), slabo zrači u vidljivom dijelu elektromagnetskoga spektra. Stoga je u vidljivom dijelu spektra Sunčevu koronu moguće vidjeti samo kada fotosferu »zakrije« Mjesec, primjerice za vrijeme potpune pomrčine Sunca, ili pak uporabom koronagrafa, u kojima fotosferu prekriva »umjetni Mjesec«. Satelitska koronografska opažanja dovela su do otkrića koroninih izbačaja – erupcija nestabilnih magnetskih ustrojstava u međuplanetarni prostor koje za sobom povlače i plazmu Sunčeve korone. Koronografi su i danas

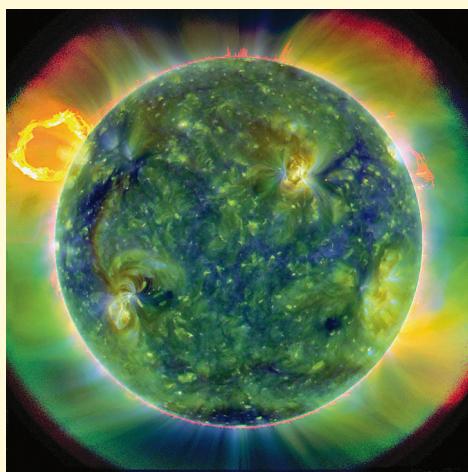


Slika 6. Kompozitna snimka heliosferskih kamera, koronografa te teleskopa u UV-dijelu spektra na letjelicama STEREO-A i STEREO-B 19.02.2010., koja obuhvaća Sunčevu koronu te međuplanetarni prostor između Sunca i Zemlje. (www.stereo.gsfc.nasa.gov, 21. siječnja 2015.).

MEDUNARODNA GODINA SVJETLOSTI

glavno sredstvo opažanja izbačaja, iako se ti efekti mogu vidjeti i mnogim drugim instrumentima. Veliki doprinos razumijevanju koroninih izbačaja dala je dugovječna i još uvijek aktivna svemirska letjelica SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*). Ona je, sa svojim sustavom koronografa LASCO (*Large Angle and Spectrometric COronagraph*) lansirana, sada već davne, 1995. godine. Ogranom napredak postignut je i misijom STEREO (*Solar TErerestrial RElations Observatory*). Tu misiju čine dvije identične letjelice, koje kruže oko Sunca, po putanjama koje su vrlo slične Zemljinoj – jedna letjelica je malo bliže Suncu u odnosu na Zemljinu orbitu, a druga malo dalje. Tako je ostvaren stereoskopski pogled na Sunce i korone izbačaje (sl. 6), i stečen uvid u širenje koroninih izbačaja međuplanetarnim prostorom te je po prvi puta Sunce pogledano i sa »stražnje strane«.

Opažanja u vidljivom dijelu spektra otkrivaju nam koronu samo iznad ruba Sunčeva diska, a ukoliko želimo promatrati koronu iznad vidljivog diska Sunca promatramo je, ili u području ultraljubičastog zračenja ili u području X-zračenja, sa svemirskih letjelica izvan Zemljine atmosfere. Korona je, u X-području i UV-području elektromagnetskoga spektra, prožeta arkadama i koroninim šupljinama. Arkade su svijetla područja u kojima je velika gustoća plazme, a koronine šupljine su tamna područja u kojima plazma ima malu gustoću (sl. 7).



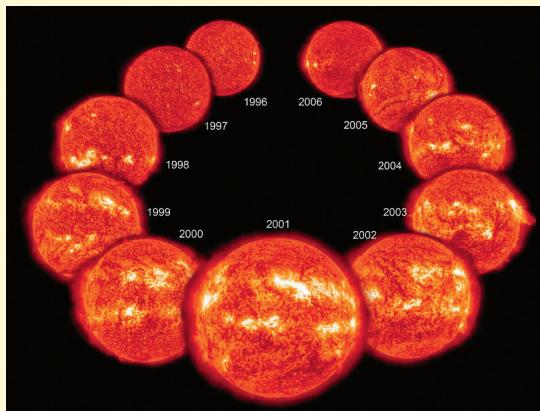
Slika 7. Višeslojna slika Sunca (izradeno pri različitim valnim duljinama UV-zračnja, 30. ožujka 2010.). Bojama su označene različite temperature plazme. Crvena boja označava hladniju plazmu (temperatura oko 60 000 K), a zelena i plava topliju plazmu (temperatura preko milijun K). Vidljivo je nekoliko manjih aktivnih područja i koroninih šupljina, kao i jedna prominencija. (www.nasa.gov, 20. siječnja 2015.).

Ova dva, vrlo različita, aspekta Sunčeve korone povezana su s njezinim magnetskim ustrojstvom: svijetle arkade aktivnih područja predstavljaju područja »zatvorenih« magnetskih struktura u kojima je zarobljena gusta i vruća plazma, dok su korone šupljine područja »otvorenih« magnetskih silnica, plazma je mnogo rjeđa pa stoga ta područja emitiraju znatno manje elektromagnetskoga zračenja. Najintenzivnije Sunčeve bljeskove i aktivne prominencije nalazimo u aktivnim područjima iznad Sunčevih pjega. Sunčevi bljeskovi i eruptivne prominencije uglavnom su popraćeni koroninim izbačajima. Prema standardnom modelu bljeska, magnetska arkada eruptira uslijed nestabilnosti te biva izbačena u okolini prostora brzinom većom od 1000 km/s. Pritom, uslijed »razvlačenja« silnica, dolazi do njihovog »prespajanja«, što u konačnici rezultira preustrojem magnetske strukture. Proces respajanja silnica uzrokuje naglo zagrijavanje plazme i porast temperature od nekoliko desetaka milijuna kelvina te stvaranje čestičnih snopova koji u interakciji s okolinom zrače u gotovo svim područjima elektromagnetskoga spektra (Sunčev bljesak).

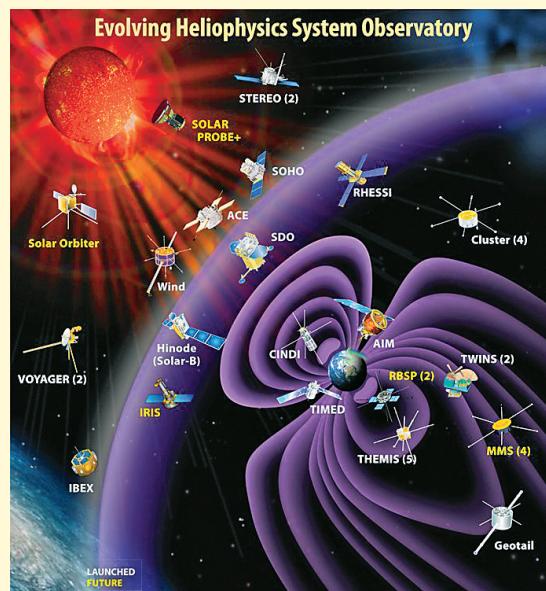
Sunčeva korona mijenja se tijekom Sunčevog ciklusa pa tako pri Sunčevom maksimumu zamjećujemo povećan broj i površinu aktivnih područja (obično iznad Sunčevih pjega) dok su koronine šupljine obično manjih površina, a nalazimo ih bliže Sunčevom ekuatoru. Ovakvo ponašanje u skladu je s promjenom globalnog magnetskog polja prema teoriji Sunčevog droma. Naime, ciklus Sunčeve aktivnosti posljedica je evolucije globalnog Sunčevog magnetskog polja iz gotovo poloidalnog (u Sunčevom minimumu, kada su silnice paralelne sa Sunčevim meridijanim) prema toroidalnom (kada su silnice paralelne sa Sunčevim paralelama). To se magnetsko polje zatim radialno izdiže i izvire iz unutarnjih slojeva Sunca te nastaje niz pojava u vanjskim slojevima Sunca (Sunčeve pjge, aktivna područja). Ova evolucija magnetskoga polja posljedica je diferencijalne rotacije i konvekcije plazme u unutarnjim slojevima Sunca. Ta gibanja povlače sa sobom magnetske silnice te na taj način pretvaraju kinetičku energiju u energiju magnetskoga polja (sl. 8).

Povećana Sunčeva aktivnost očituje se i u povećanju broja i u povećanju intenziteta Sunčevih bljeskova i koroninih izbačaja. Time je, ujedno, povećan i njihov utjecaj na međuplanetarni prostor i na Zemlju. Koronini izbačaji mogu međudjelovati sa Zemljinim magnetskim poljem i uzrokovati geomagnetske oluje. Povećan broj geomagnetskih oluja i čestičnih snopova sa Sunca povećava ugrozu za tehnologiju (npr. svemirske letjelice i elektroenergetske mreže) i za ljudske posade u svemiru. Sve to je, tijekom zadnjih desetljeća, uvjetovalo razvoj zasebne znanstvene discipline po uzoru na meteorologiju – svemirske prognozistike (više detalja na www.spaceweather.com). U okviru ove discipline, znanstvenici ši-

MEDUNARODNA GODINA SVJETLOSTI



Slika 8. Jedanaest godina Sunca (1996.–2006.). Snimljeno tijekom 23. ciklusa Sunčeve aktivnosti, od minimuma, do maksimuma te nazad prema minimumu. Prikazan je kolaž snimaka nižih slojeva Sunčeve korone koji su snimljeni instrumentom EIT na satelitu SOHO. (www.nasa.gov, 20. siječnja 2015.)



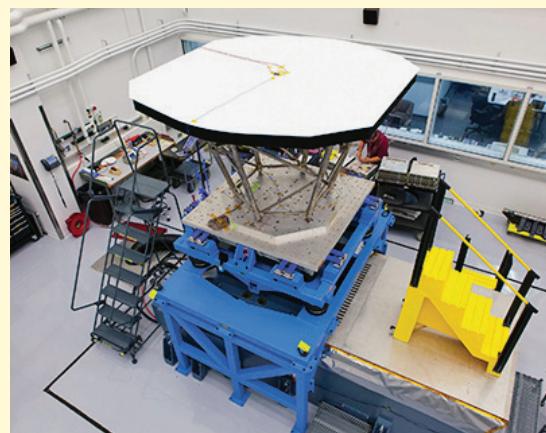
Slika 9. Prikaz trenutačnih i planiranih letjelica posvećenih istraživanju Sunca te njegovog utjecaja na heliosferu i Zemlju (Heliophysics System Observatory). (www.nasa.gov, 20. siječnja 2015.)

rom svijeta pokušavaju predvidjeti »svemirsko vrijeme« korištći mjerjenja čitave flote svemirskih letjelica u Sunčevom sustavu (sl. 9.).

Novi izazovi

Nova otkrića naravno uvijek povlače nova pitanja i nove izazove. Što je izvor magnetskoga polja u Sunčevoj koroni? Što po-kreće Sunčev vjetar? Kako pojave poput koroninih izbačaja utječu na stanje heliosfere? Kako funkcioniра Sunčev dinamo te kako utječe na stanje heliosfere? Na ta pitanja znanstvenici će pokušati odgovoriti koristeći postojeće znanstvene metode i opažanja Sunca, ali i instrumente koje tek treba razviti. Osim toga, potrebne su i nove svemirske misije, koje će omogućiti, za sada neizvedive, metode opažanja.

NASA-ina misija *Solar Probe Plus*, čije je lansiranje planirano za 2018. godinu, jedna je od nadolazećih, povjesno važnih, misija. Često je se navodi kao prvi posjet nekoj zvijezdi. Naime, po prvi puta će jedna letjelica biti uronjena duboko u Sunčevu atmosferu te će na taj način omogućiti mjerjenja u neposrednoj blizini Sunčeve površine. U vremenskom periodu od otprilike sedam godina, *Solar Probe Plus* će sedam puta obletjeti Veneru i iskoristiti njezinu gravitaciju da bi postigla vrlo eliptičnu putanju. Tako će se sve više i više približavati Suncu. Na letjelicu će biti postavljeno deset instrumenata koji će mjeriti sastav i



Slika 10. Model štita za *Solar Probe Plus* (Thermal Protection System, TPS) u Laboratoriju za primjenjenu fiziku na Johns Hopkins Sveučilištu u Marylandu, SAD. (www.solarprobe.jhuapl.edu, 16. siječnja 2015.).

MEDUNARODNA GODINA SVJETLOSTI

karakteristike čestica, svojstva plazme te električna i magnetska polja medija kroz koji letjelica prolazi. Sve to omogućit će trodimenzijski prikaz Sunčeve korone u okolini letjelice. U najблиžem prolasku pored Sunca, na udaljenosti od približno šest milijuna km (oko devet polumjera Sunca), letjelica će biti sedam puta bliže Sunu nego ijedna letjelica do sada te će se susresti s dosad nevidenom okolinom i opasnostima – superbrzinim česticama prašine i temperaturama većim od 2500 K. Od svega toga trebalo bi je zaštитiti 11 cm debeo štit od ugljične pjene, promjera 2,5 m. (sl. 10.).

Značajna je i nadolazeća ESA-ina misija *Solar Orbiter*, planirana za 2017. godinu. Ta će letjelica također izbliza proučavati Sunce, ali s važnom razlikom – njezina putanja omogućit će proučavanje polarnih područja Sunca, koja je vrlo teško vidjeti s velikih udaljenosti te će stoga nesumnjivo doprinijeti razrašnjavanju Sunčevog dinama i Sunčeve magnetske aktivnosti. Putanju letjelice *Solar Orbiter* bit će uskladivana sa Sunčevom rotacijom svakih nekoliko dana te će tako, po prvi puta, omogućiti dugoročno i neprekidno opažanje nastanka Sunčeve oluje s istog položaja u odnosu na Sunce (možemo reći da će *Solar Orbiter* biti u heliostacionarnom položaju).

Osim velikih i revolucionarnih misija, važno je napomenuti da se stalno planiraju i provode male misije, čija je primarna uloga testiranje novih tehnologija, no koristi ih se i u znanstvene svrhe. Jedna od takvih je ESA-ina misija PROBA, u sklopu koje se 2018. godine planira lansirati svemirska letjelica PROBA-3. Ova mala letjelica pružit će koronagrafske snimke Sunca tako što će, po prvi put dvije svemirske letjelice letjeti u formaciji. Jedna od njih nosit će instrument, a druga će joj

služiti kao zasjenjujući disk. Zbog toga će obje morati letjeti u uskladenim orbitama. Precizno pozicioniranje tih dviju letjelica omogućit će proučavanje dosad najdubljih slojeva Sunčeve atmosfere (onih koji su nam u ovom trenutku nedostizni). Time misija PROBA, osim tehnološkoga, predstavlja i znanstveni izazov (sl. 11.).

Da bismo bolje razumjeli globalne procese i pojave na Suncu potrebna su još detaljnija opažanja s mogućnošću razlučivanja struktura manjih od 100 kilometara. To će nam omogućiti da bolje razumijemo finije detalje dinamike i strukture Sunčeva magnetskog polja. Zato je započet rad na novoj generaciji velikih solarnih teleskopa na Zemlji, poput američkog 4-metarskog solarnog teleskopa *Daniel K. Inouye* na Havajima, čija je gradnja započela prije nešto više od dvije godine. Tu je i 4-metarski *Europski solarni teleskop*, koji bi trebao biti postavljen na Kanarskim otocima. Ovi teleskopi »pokrivat« će valne duljine u rasponu od ultraljubičastog do infracrvenog područja elektromagnetskoga spektra, dakle od 300 nm do 28 000 nm, a u najboljim vremenskim uvjetima moći će, zahvaljujući naprednim tehnologijama i adaptivnoj optici, razlučivati detalje i do 0,03 lučne sekunde, što na Sunčevoj površini odgovara razmaku od oko 20 kilometara.

Literatura

1. Lang, K.R., Sun, Earth and Sky, 2006, Springer Science + Business Media, LLC, New York.
2. Foukal, P., Solar Astrophysics, 2004, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., KGaA. Weinheim.



Slika 11. Prikaz letenja u formaciji letjelica misije PROBA-3. (www.esa.int, 19. siječnja 2015.)