

SUNČEVE PJEGE

Karajko, Marijela

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:160:959878>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-30**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Department of Physics in Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



MARIJELA KARAJKO

SUNČEVE PJEGE

Završni rad

Osijek, 2020.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

ODJEL ZA FIZIKU



MARIJELA KARAJKO

SUNČEVE PJEGE

Završni rad

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

radi stjecanja zvanja prvostupnice fizike

Osijek, 2020.

"Ovaj završni rad izrađen je u Osijeku pod vodstvom doc. dr. sc. Darija Hrupeca u sklopu Sveučilišnog preddiplomskog studija na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku".

SUNČEVE PJEGE

MARIJELA KARAJKO

Sažetak

Uvodni dio započinje s opisom ranih zapažanja Sunčevih pjega prije izuma teleskopa i nakon. Nadalje, dana je definicija pjega te opis njihove građe i veličine. Također, u radu je opisan i mehanizam njihova nastanka.

Tijekom daljnjeg izlaganja obrađena je tema Sunčevog ciklusa u kojoj su opisana važna otkrića vezana za Sunčev ciklus. Tema Sunčevog ciklusa obuhvaća i opis brojnosti pjega i njihove položaje na Suncu. Uz to opisan je 24. Sunčev ciklus te predviđanja za 25. Sunčev ciklus. Na kraju rada, obrađuje se tema o sondama i novim spoznajama do kojih se došlo pomoću njih.

(23 stranice, 13 slika, 34 literaturnih navoda)

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: Sunčeve pjege/ dinamo/ Sunčev ciklus

Mentor: doc. dr. sc. Dario Hrupec

Ocjenjivač: doc. dr. sc. Dario Hrupec

Rad prihvaćen: odlukom Odbora za završne radove

SUNSPOTS

MARIJELA KARAJKO

Abstract

The introductory part begins with a description of the early observations of sunspots before and after the invention of the telescope. Furthermore, the definition of spots and a description of their structure and size is given. Also, the paper describes the mechanism of their occurrence.

During the further presentation, the topic of the solar cycle was discussed, in which important discoveries related to the solar cycle were described. The topic of the solar cycle includes a description of the number of spots and their positions on the Sun. In addition, the 24th solar cycle and predictions for the 25th solar cycle are described. At the end of the paper, the topic of probes and new insights gained with them is discussed.

(23 pages, 13 figures, 34 references)

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords: Sunspots/ dynamo/ Solar cycle

Supervisor: Dario Hrupec, Assistant Professor

Reviewer: Dario Hrupec, Assistant Professor

Thesis accepted: by decision of Committee for Bachelor thesis

Sadržaj

1. Uvod.....	2
2. Što su Sunčeve pjege?	4
2.1. Građa pjega i veličina	5
2.2. Magnetska priroda Sunčevih pjega.....	7
2.2.1. Nastanak Sunčevih pjega	8
3. Sunčev ciklus.....	12
3.1. Važna otkrića vezana za Sunčev ciklus.....	13
3.2. Brojnost pjega i položaji na Suncu.....	14
3.3. 24. i 25. Sunčev ciklus	15
4. Sunčeve sonde i nove spoznaje	18
5. Zaključak	23
6. Literatura	25
Životopis.....	27

1. Uvod

Ljudi su od davnina vodili brojne zabilješke o opažanju pjega. Prije izuma teleskopa i današnjih modernih letjelica, rijetko su bile viđene golim okom (samo najveće pjege) pod posebnim uvjetima kroz oblak ili gustu maglu. Tako je grčki fizičar i matematičar Anaksagora ugledao 467. godine pr. Kr. jednu Sunčevu pjegu, a Teofrast je opazio jednu u 4. st. pr. Kr. Prvo zabilježeno promatranje Sunčeve pjege, iz doba prije izuma teleskopa, nalazi se u najstarijoj sačuvanoj kineskoj knjizi *I Ching, Knjizi promjena*. Tamo piše kako su na Suncu primijećeni „dou“ i „mei“ što se iz konteksta može pretpostaviti da znači zatamnjenje ili zamračenje. John Worcester je 1128. godine napravio Sunčev dijagram na kojemu su ucrtane dvije velike tamne točke. Nalazile su se točno jedna nasuprot druge. Koliko je poznato njegov dijagram predstavlja prvi crtež Sunčevih pjega. Zanimljiva je bilo saznanje da je u Koreji bila opažena polarna svjetlost nedugo nakon što su primijećene ove dvije pjege.

Izumom teleskopa započelo je novo razdoblje opažanja Sunčevih pjega. U prvom desetljeću 17. stoljeća četiri su astronoma koristila teleskope usmjerivši ih prema Suncu i Sunčevim pjegama: Johann Goldsmid (1587. – 1616.), Thomas Harriot (1560. – 1621.), Galileo Galilei (1564. – 1642.) i Christoph Scheiner (1575. – 1650.).

Thomas Harriot prvi je teleskopom promatrao Sunčevu pjegu te je svoje promatranje zabilježio u dnevnik. Napravio je preko 200 crteža Sunčevih pjega od 1610. do 1612. godine. Originali njegovih izvanrednih crteža Sunca ostali su sačuvani do dana današnjeg.

Johann Goldsmid bio je vrlo značajan astronom koji je prvu Sunčevu pjegu ugledao 27. veljače 1611. godine. Ispravno je protumačio da su dnevna kretanja Sunčevih pjega zapravo posljedica Sunčeve rotacije zbog koje pjege prijeđu cijeli vidljivi Sunčev disk za otprilike tjedan dana. Galileo Galilei sa svojim je učenikom Castelliem pažljivo pratio kretanje Sunčevih pjega na način da je Sunčev disk podijelio u 15 dijelova. Pomoću preciznih mjerenja pokazao je da se Sunčeve pjege nalaze vrlo blizu Sunčeve površine ili na njoj. Isprva je Galileo izravno promatrao kroz teleskop Sunce kako zalazi riskirajući ozljedu očiju, ali kasnije je usvojio metodu teleskopske projekcije na zaslon (slika Sunca projicirala bi se na krug koji bi već bio nacrtan na papiru).

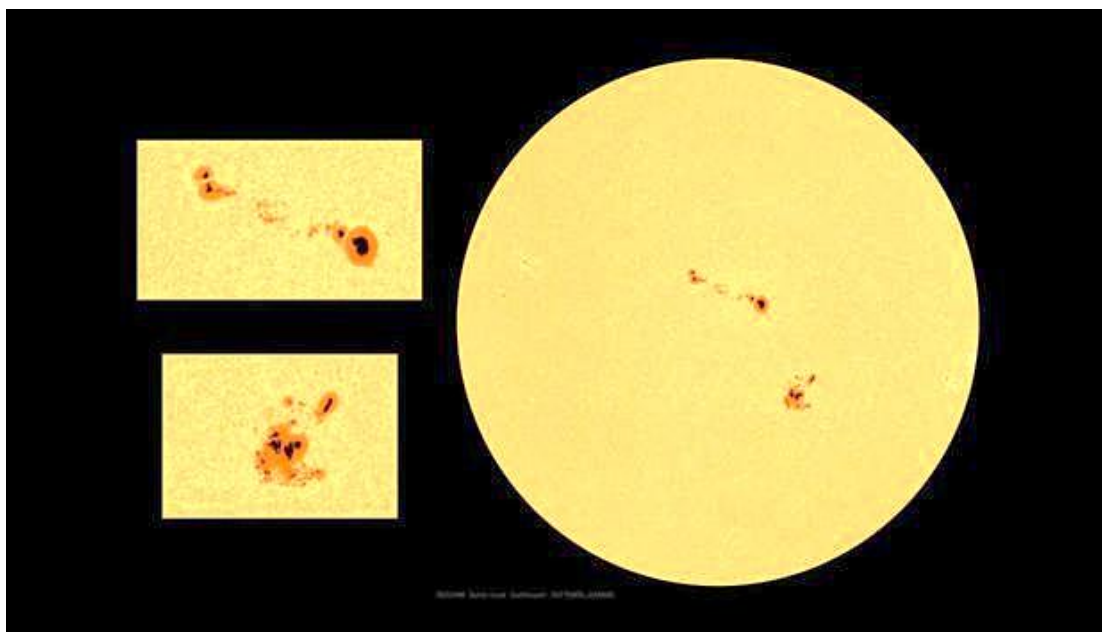
Christoph Scheiner započeo je istraživati Sunčeve pjege u listopadu 1611. godine pomoću teleskopa s filtrima od obojenog stakla. Čuo je za Galilejeva otkrića i krenuo u potragu za dobrom teleskopom te je postao prvi astronom teleskopskog doba koji je osnovao solarni opservatorij. Pošto je bio matematičar i isusovac, u skladu s Aristotelovim učenjem i učenjem Katoličke crkve, vjerovao je kako je Sunce bez greške, savršeno te je tvrdio da su Sunčeve pjege zapravo Sunčevi sateliti. U Rimu je 1630. god. objavio svoje najslavnije djelo, *Rosa Ursina*, u kojem se ipak složio s Galileovim tvrdnjama kako se pjege nalaze na površini Sunca ili u njegovoj atmosferi te da Sunce nije savršeno. Smatra se i da je Scheiner 1617., osim što je promatrao pjege, osmišljavao i pravio nacрте teleskopske projekcije „*heliotropii telioscopici*“, kasnije skraćeno helioskop. Njegov helioskop bio je prvi helioskop s ekvatorijalnom montažom, što je značilo da ga je morao pomicati samo po jednoj osi slijedeći Sunčev put nebom. Pomoću njih napravio je velik broj crteža Sunčevih pjega koji zajedno daju slike puta pjega preko Sunčeve površine.

Johannes Hevelius (1611.-1687.) bio je astronomski zanesenjak i veoma bogat čovjek koji je velik dio svojega bogatstva trošio na konstrukcije solarnih teleskopa. Godine 1647. napisao je djelo *Selenographia* u kojemu je iznio vrijednost prosječnog perioda Sunčeve rotacije od 27 dana. Ovo je djelo od velike važnosti jer se u njemu nalazi 26 crteža na kojemu se jasno vidi polusjena, a objašnjena je i promjena oblika pjege tijekom rotacije Sunca. U njegovom vremenu Sunce se ponašalo drugačije nego danas što je bila polazna točka za daljnja istraživanja.

2. Što su Sunčeve pjege?

Mnogi su astronomi pokušali objasniti što su Sunčeve pjege. Jedan od njih bio je Galileo Galilei koji je predložio da bi Sunčeve pjege mogle biti nakupine oblaka u Sunčevoj atmosferi dok je Scheiner vjerovao da se radi o gustim objektima uklopljenim u Sunčevu svijetlu atmosferu. William Herschel izrekao je svoje mišljenje da su to zapravo otvori u svijetloj Sunčevoj atmosferi kroz koje se vidi tamnija i hladnija sunčeva površina i prema tome Sunce može imati i stanovnike.

Sunčeve pjege područja su u kojima je jakost magnetskog polja tisućama puta veća od jakosti Zemljina magnetskog polja. Postanu vidljiva na Sunčevoj fotosferi kao rezultat intenzivnog magnetskog toka koji je potisnut iz dubine Sunčeve unutrašnjosti. Sunčeva jezgra, zagrijana na temperaturi od 15,7 milijuna K i načinjena od jako guste plazme (slobodnih protona, elektrona, neutrona te helijeve jezgre) čija je masa 150 puta gušća od vode, mnogo je svjetlija od gornjih područja (korone, kromosfere i fotosfere). Fotosfera je vidljivi površinski sloj Sunca debljine oko 500 km koji je u odnosu na ostale Sunčeve slojeve veoma tanak. Temperatura na vrhu fotosfere iznosi oko 5800 K. Iz nje najveći dio svjetlosti odlazi u svemir.

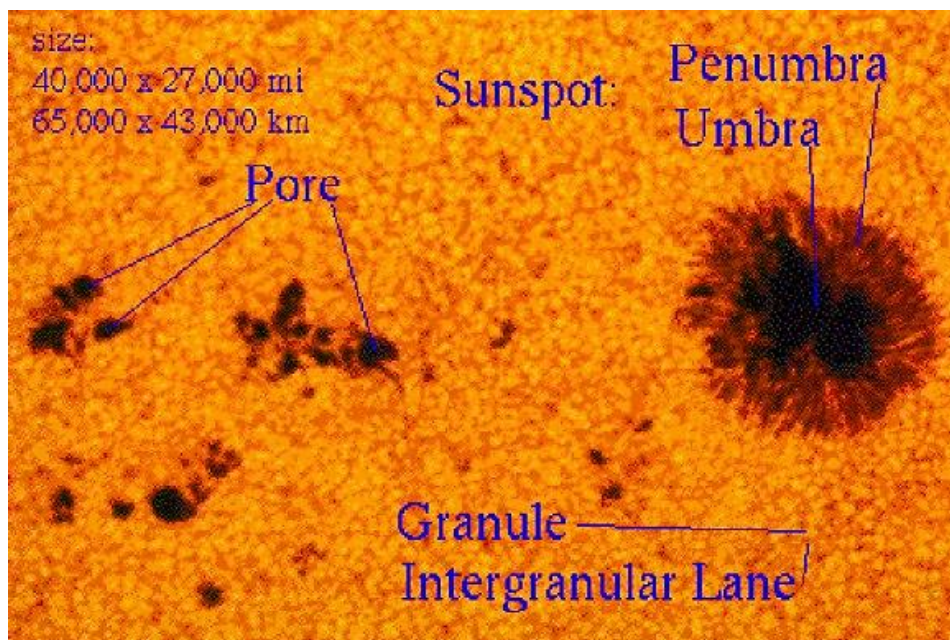


Slika 1: Sunčeve pjege

(Izvor: [1])

2.1. Građa pjega i veličina

Tipična Sunčeva pjega građena je od dvaju dijelova: penumbre (polusjene) koja čini rubno, svjetlije područje i umbre (sjene), najtamnijeg, središnjeg područja koje se nalazi na temperaturi od 3500 – 4000 K. U polusjeni zamjećujemo neobične tanke, duge vlaknaste strukture tzv. filamente ili vlakna koja se radijalno pružaju od središta pjega i nastavljaju u fotosferske granule. Radijacijski filamenti, koji mogu biti svjetliji i tamniji, zrače iz penumbre te se neprestano izmjenjuju. Izgledom pjega podsjećaju na tratinčice. Prema rubu sjene, može se vidjeti miješanje tvari, svijetle točke koje podsjećaju na otoke koji plešu u samom središtu. Magnetsko polje puno je slabije u penumbri gdje se vodoravno širi prema van, dok je najjače u umbri iz koje izlazi okomito odozdo. Pomoću specijalnog instrumenta (tzv. magnetografa) otkrivena su vrlo jaka magnetska polja u pjegama. Izmjerene vrijednosti dosežale su i do 0,4 T. [2]

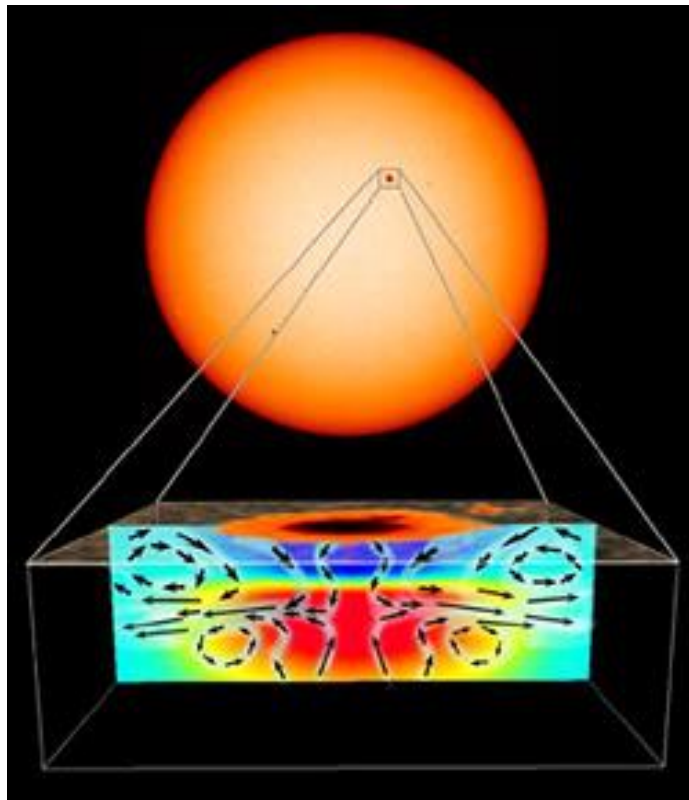


Slika 2: Vrste pjega po veličini

(Izvor: [3])

Pošto se pjege razvijaju, ne dosegnu sve razvojni oblik sa sjenom i polusjenom. Zbog toga su i veličine pjega različite. Najmanje su pore, zatim slijede granule koje su nešto veće od pora. Da su pojedinačne pjege kratkotrajne govori nam podatak da oko 90% pjega nestane unutar 11 dana. Grupa pjega u 1-2 dana dostigne maksimalnu površinu, a magnetsko polje im je tada najjače.

Zahvaljujući 3D slikama okoliša unutrašnjosti Sunčeve pjege, jasno se mogu vidjeti vrlo brze struje užarenog plina koje se slijevaju u golemi vrtlog ponirući ispod Sunčeve površine. To potvrđuje da Sunčeve pjege čine vrlo snažan silazni tok plazme koja putuje brzinom od približno 4800 km/h prema središtu Sunca. Dana 18. lipnja 1998. godine pojavila se velika pjega koju je zabilježio satelit SOHO. Znanstvenici su mjerili brzinu solarnih zvučnih valova nastalih toga dana i na temelju dobivenih podataka otkrili da zvučni valovi putuju 10% sporije na površini, koja ima nižu temperaturu te da održavaju relativno spor tempo dok se kreću prema unutrašnjosti Sunca. Međutim, kada dosegnu razinu od oko 4800 kilometara ispod površine, brzina im se drastično poveća što ukazuje na to da su korijeni pjege topliji od njihove okoline. Sunčeve pjege su dakle, hladne samo do dubine od kojih 4800 km, što je relativno plitko s obzirom na to da udaljenost od površine do središta iznosi 692 000 km. [4] Taj je dotok dovoljno jak da privuče magnetska polja i smanji količinu topline koja normalno teče iz unutrašnjosti Sunca. [5] To objašnjava zašto su Sunčeve pjege hladnije (temperature 3000 F), a time i tamnije od okolne površine čija je temperatura oko 10 000 F.



Slika 3: Unutrašnjost pjege (umjetnički prikaz)

(Izvor: [6])

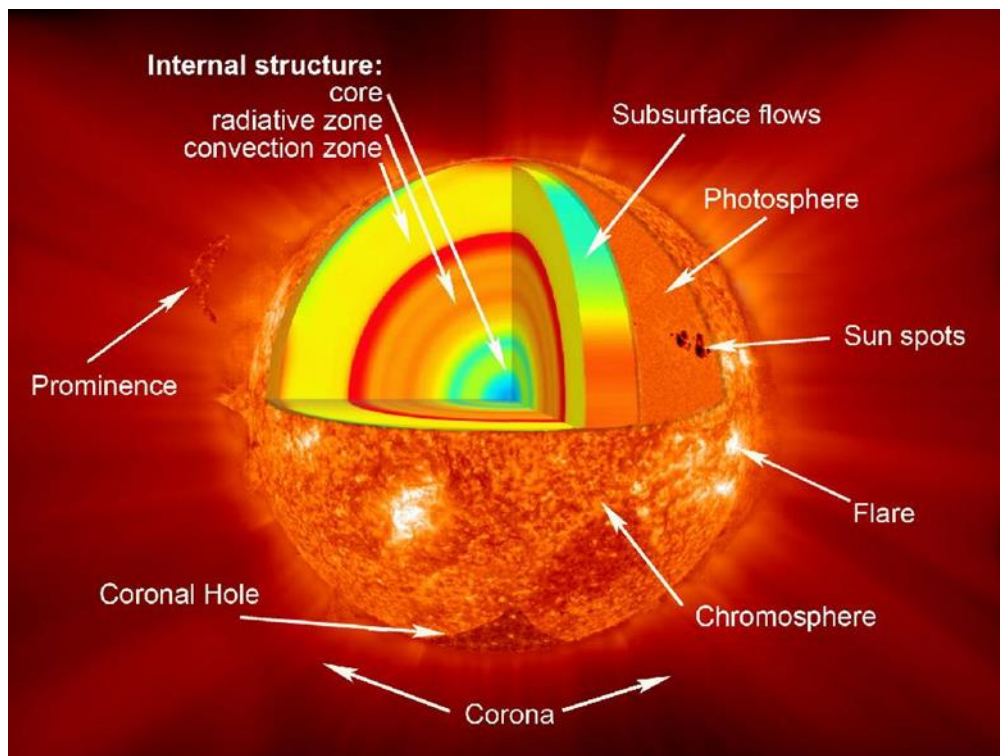
2.2. Magnetska priroda Sunčevih pjega

Da su Sunčeve pjege mjesta snažnih magnetskih polja, dokazao je George Ellery Hale. Kao trinaestogodišnji dječak za poklon je dobio knjigu *Cassellovu knjigu o sportovima i razbibrizi* zbog koje se počeo interesirati za boje Sunčeva spektra (dugu). Sunčev spektar ključ je za razumijevanje fizičkog svemira. Godine 1889. izumio je spektroheliograf, uređaj koji je uveo potpuni preokret u način istraživanja Sunčevih pjega i Sunčeve površine. Fotografsku ploču pomicao je kako se pomiče Sunce, a teleskop nije micao već ga je ostavio nepomičnim. Kasnije je upotrijebio dvije pukotine na spektrografu čime je uvidio da se određena spektralna linija može izolirati i fotografirati. Spektroheliografom je promatrao dva velika Sunčeva bljeska. Nakon bljeskova, uslijedile su magnetske oluje. Godine 1908. je pomoću Zeemanova efekta, cijepanja energijskih razina i spektralnih linija u ovom slučaju na crvenu i plavu liniju uslijed promjene unutrašnje energije atoma, molekula koje se nalaze u magnetskom polju, dokazao da su Sunčeve pjege magnetski fenomen. Bilo je to prvo otkriće magnetskog polja izvan Zemlje. Značajna je bila činjenica što je novootkriveno polje, jakosti 0,3 T, bilo oko 1000 puta jače od magnetskog polja Zemlje. Uz to pretpostavio je da koronini izbačaji i bljeskovi nastaju u vremenu kada su magnetska polja preopterećena.

2.2.1. Nastanak Sunčevih pjega

Astronomi smatraju da magnetska energija koju proizvodi dinamo, bilo što što mehaničku energiju pretvara u magnetsku ili električnu, upravlja oblikom Sunčevih pjega, Sunčevim vjetrom, ciklusom Sunčevih pjega, petljama bljeskova. Sunčeva se unutrašnjost sastoji od plazme koja sa sobom „vuče“ magnetsko polje remeteći postojeća magnetska polja. Tako nastaju električne struje koje induciraju sekundarno magnetsko polje, a ono opet remeti gibanje plazme stvarajući nove električne struje. To je igra magnetizma, elektriciteta i gibanja.

Konvektivna zona jest zona debljine oko 200 000 km u kojoj fotoni ne mogu putovati dalje. Sunce na ovom području gubi energiju u obliku kretanja mase. Dolazi do konvekcije. Goleme struje plazme podižu se prema površini. Kada stigne do nje, prenosi toplinu na okolinu zbog čega se hladi pa se kao hladna plazma spušta prema unutrašnjosti u užim mlazovima brzinom od nekoliko metara po sekundi. Ispod površine užarene uzlazne struje raspadaju se na mnoštvo malih ćelija koje se uspinju prema Sunčevoj površini.



Slika 4: Građa Sunca na kojoj se vide radijativna i konvektivna zona

(Izvor: [7])

Radijativna zona je područje Sunca ispunjeno plazmom koja ima jednaku gustoću kao i voda. Plazma sadrži ogromne količine topline. Pošto je sa svih strana toplina okružena plazmom iste temperature, energija se ne gubi, ali ni ne dobiva. Energija se prenosi zračenjem. Mali temperaturni gradijent uzrokuje istjecanje energije prema konvektivnoj zoni. Čestice visokih energija jezgre stvaraju fotone zbog naizmjeničnog emitiranja i apsorpiranja koja su posljedica zakročnog zračenja ili raspršenja kvanta zračenja na slobodnom elektronu. Na oko 500 000 km, plazma postaje gusta poput stiropora.

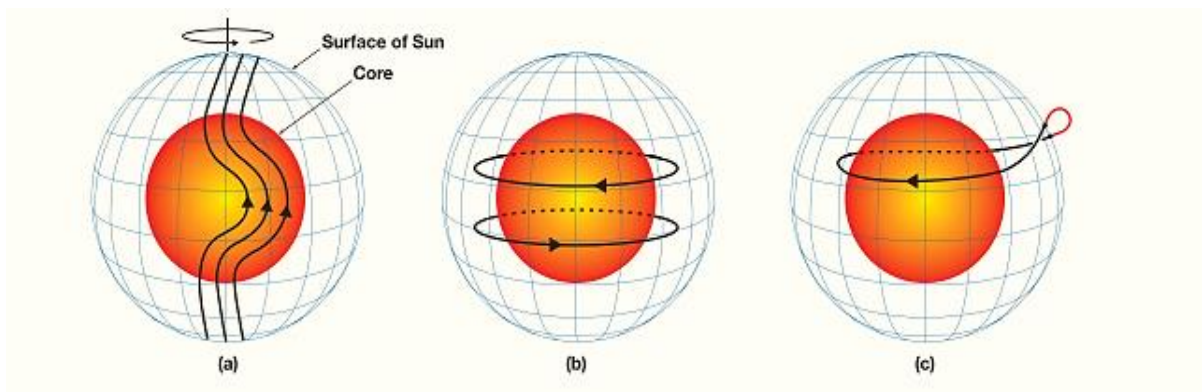
Da radijativna zona rotira kao kruto tijelo brzinom jednakom površinskoj brzini rotacije na srednjim širinama (koja je veća nego na polovima), dokazano je istraživanjima prolaska zvučnih valova Sunčevim središtem. Sunčeva površinska rotacija osjeti se i ispod površine sve do konvektivne zone. U blizini konvektivne zone postoji sloj smicanja debljine oko 61 000 km na oko 217 000 km ispod Sunčeve površine u kojemu se stvaraju magnetska polja. Ovdje magnetska polja izgledaju poput rastegnutih gumenih vrpca. Mogu se razvlačiti, uvijati ili zbijati te na takav način postati jača zahvaljujući gibanju plazme uslijed izmjene rotacije, konvekcije i torzije.

Diferencijalna rotacija (brže rotiranje Sunca na ekvatoru u odnosu na područje polova) Sunca uzrok je stvaranja magnetskih polja koja se razvlače i omataju oko Sunca. Može omotati silnice magnetskog polja u orijentaciji sjever-jug. Diferencijalna rotacija naziva se još i omega efekt., a otkrio ju je Richard Carrington dana 1. rujna 1859. Promatrajući oblike i položaj Sunčevih pjega na Sunčevoj površini, svjedočio je rijetkoj pojavi dviju mrlja intenzivno bijele svjetlosti, eksploziji bijelog bljeska koja je uzrokovala nakon 17 sati veliki poremećaj Zemljinog magnetskog polja. Uz to otkrio je i kretanje Sunčevih pjega prema ekvatoru tijekom Sunčeva ciklusa. Pomoću spektroskopa znanstvenik Nils Dúner krajem osamdesetih godina osamnaestog stoljeća vrlo precizno odredio je period rotacije na širinama koje su dvostruko veće od širina na kojima su se pjege najčešće pojavljivale. Time je pokazao da ekvatorska područja Sunca rotiraju 30% brže od polarnih Sunčevih područja. [8]

Magnetske se silnice uvijaju zbog utjecaja Sunčeve rotacije na uzlazeće magnetske cijevi, tzv. alfa-efekta. Zbog tih zavoja, magnetsko polje mijenja orijentaciju od jednog ciklusa Sunčevih pjega do drugog.

Nadalje, na Sunčevoj je površini opaženo i polagano gibanje plazme s ekvatorijalnog područja prema polovima. Površinsko gibanje plazme prema polovima posljedica je golemog cirkulacijskog sustava 200 000 km ispod Sunčeve površine. Komprimirani plinovi kreću se od polova prema ekvatoru brzinom od oko 50 km/h, u blizini ekvatora dižu se na površinu i ponovno okreću prema polovima. Na površini je brzina veća, oko 30 do 60 km/h zbog manje kompresije. Ovakvo strujanje zove se meridijanska cirkulacija. Puno je sporija od ostalih komponenti kretanja, npr. diferencijalne rotacije. Tijekom solarnog ciklusa meridijanska cirkulacija djeluje kao transportna traka koja vuče magnetsko polje i mijenja se od jednog do drugog Sunčeva ciklusa. U ciklusima koji su kraći od prosječnih jedanaest godina, cirkulacija je brža, a u ciklusima koji su dulji od prosjeka puno je sporija. [9]

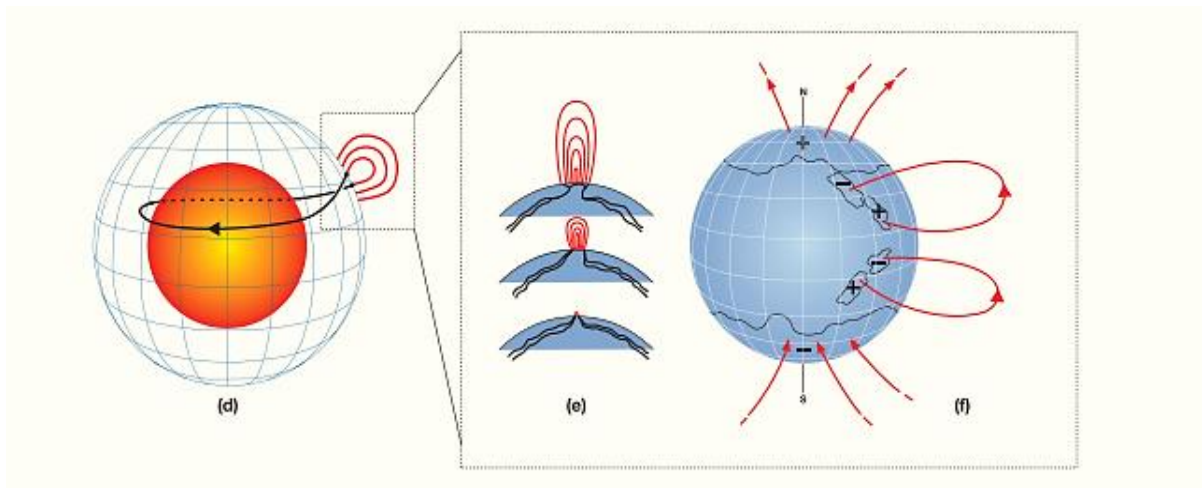
Crvena unutarnja sfera predstavlja sunčevu radijacijsku jezgru, a plava mreža Sunčevu površinu. Između je konvekcijska zona u kojoj se nalazi dinamo. [10]



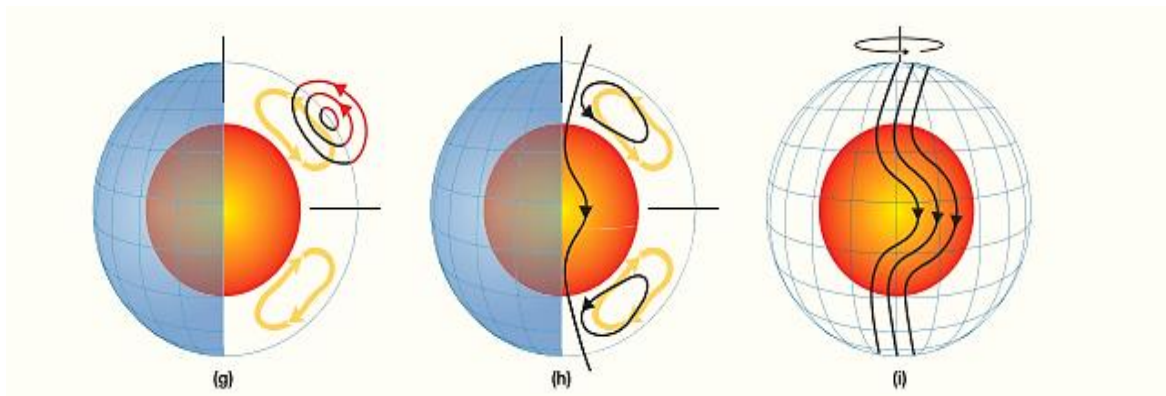
(a) Smicanje poloidnog polja Sunčevom diferencijalnom rotacijom blizu dna konvekcijske zone; Sunce se okreće brže na ekvatoru, nego na polovima

(b) Toroidno polje nastalo uslijed smicanja diferencijalnom rotacijom

(c) Kad je toroidno polje dovoljno jako, uzlazne petlje izdižu se na površinu, uvijajući se dok se uspinju uslijed rotacije, tzv. alfa - efekt; bipolarne Sunčeve pjege nastaju od tih petlji.



(d, e, f) Dodatni tok izlazi (d, e) i širi se (f) na heliografskoj širini i dužini uslijed propadanja mrlje, tj. poniranja



(g) Meridijanska cirkulacija (žuta cirkulacija sa strelicama) nosi površinski magnetski tok prema polu, uzrokujući okretanje polarnih polja.

(h) Dio te cirkulacije transportira se prema dolje na dno i prema ekvatoru; polje je promijenilo polaritet i smjer djelovanja, suprotnog je predznaka u odnosu na predznak sa slike (a)

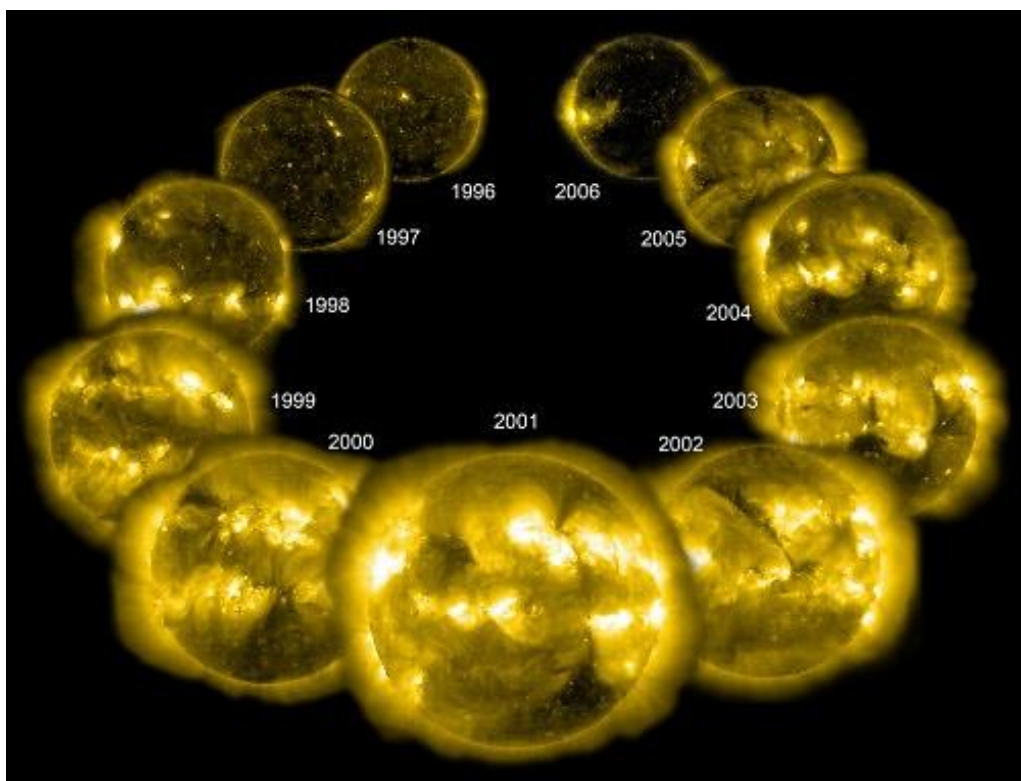
(i) Dolazi do ponovnog smicanja obrnutog polja diferencijalnom rotacijom odozdo da bi se dobilo novo toroidno polje suprotno predznaka od onog prikazanog u (b)

Slika 5: Shematski opis procesa prijenosa Sunčeve plazme, nastanka i nestajanja pjege

(Izvor: [11])

3. Sunčev ciklus

Sunčev ciklus u svojoj je biti polovica 22-godišnjeg magnetskog ciklusa uzrokovan kruženjem Sunčevih magnetskih polja. Smjer magnetskog polja preokrene se od jednog 11-godišnjeg Sunčevog ciklusa do sljedećeg. Tijekom prvog Sunčeva ciklusa vodeća Sunčeva pjega, vodilica, nastoji biti sjeverni magnetski pol, dok prateća pjega, pratilica nastoji biti južni magnetski pol. To su dvije veće pjege s najjačim magnetskim poljima oko kojih se kao oko težišta okupljaju ostali članovi grupe. Vodilica je dobila ime zato što je isturena u smjeru rotacije Sunca. Sunce se vrti isto kao i Zemlja, u smjeru desnog vijka koji napreduje prema sjeveru. U idućem ciklusu mijenja se redoslijed polariteta, vodilica postaje pratilica, a pratilica postaje vodilica. Vodilica i pratilica čine bipolarnu grupu kad ih jasno možemo razdvojiti, dok kod multipolarne grupe sadrže više velikih pjege s jakim magnetskim poljem pa ih je teško razdvojiti. [12]



Slika 6: Kolaž snimki sa SOHO svemirske letjelice (NASA/ESA) koja prikazuje promjene Sunčeve aktivnosti tijekom 11 godina

(Izvor: [13])

3.1. Važna otkrića vezana za Sunčev ciklus

Ciklus Sunčevih pjega otkrio je njemački farmaceut i amaterski astronom Samuel Heinrich Schwabe 1843. godine. On je tražio planete između Merkura i Sunca. Shvatio je da će ih najbolje moći detektirati dok prolaze ispred Sunca. Jedini je problem bio što ih se lako moglo zamijeniti s malim Sunčevim pjegama. Zbog toga je svakoga dana punih 17 godina bilježio položaje svih vidljivih pjega. Godine 1843. nije pronašao niti jedan planet bliži Suncu od Merkura. Umjesto toga otkrio je da broj vidljivih Sunčevih pjega s vremenom ciklički opada i ponovno raste. Ciklus je procijenio na 10 godina.

Švicarski astronom Rudolf Wolf uspoređivao je izvještaje o pjegama iz bilješki raznih astronoma. Punih 46 godina promatrao je Sunce gotovo svakoga dana. Na temelju izvještaja primijetio je da je od 1645. do 1715. opaženo i zabilježeno vrlo malo pjega te da je Sunčeva aktivnost bila smanjena. Uz to odredio je relativni broj Sunčevih pjega R :

$$R = k(10g + f)$$

gdje je f broj pojedinačnih pjega na vidljivoj strani Sunca u trenutku promatranja, g broj grupa pjega, k faktor redukcije danog teleskopa. [14]

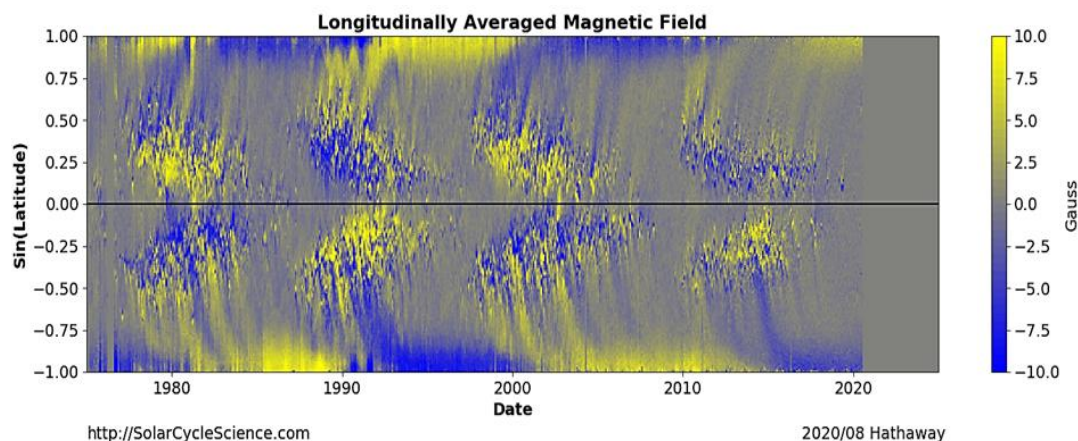
Edward Walter Maunder nastojao je riješiti tajnu nestanka Sunčevih pjega. Godine 1877. počeo je mjeriti površinu Sunčevih pjega i veličinu fakula, Sunčevih fotosfernih baklji u kojima je magnetsko polje koncentrirano u mnogo manjim svežnjevima, nego u pjegi. Prevladavaju u vrijeme maksimuma Sunčevih pjega te je zbog njih Sunce sjajnije za oko 0,1% nego u vrijeme minimuma. Zahvaljujući sakupljenim podacima, dobio je dijagram u obliku leptira koji se sastojao od 9000 fotografija samog Sunca i 5000 fotografija odvojenih skupina Sunčevih pjega. Također je bio uvjeren da postoji povezanost između aktivnosti Sunčeve površine i fluktuacija Zemljina magnetskog polja. U studenom 1882., veljači 1892. i listopadu 1903. uočio je goleme pjege nakon kojih bi izbile snažne geomagnetske oluje. Oluje ometaju Zemljino magnetsko polje, uzrokuju kvarove na satelitima, smetnje na radiovezama koje se koriste u zrakoplovnoj navigaciji blizu Sjevernog pola na letovima između Sjeverne Amerike, Europe i Azije.

Andrew Ellicott Douglass, utemeljitelj nove znanosti koja proučava godove u deblima stabla, dendrokronologije, proučavao je drvene grede, godove sekvoja i drugog dugoživućeg drveća. Na temelju istraživanja zaključio je da je u sedamnaestom stoljeću dulje vrijeme vladalo suho i hladno vrijeme baš u vremenu nestanka Sunčevih pjega. [15]

3.2. Brojnost pjega i položaji na Suncu

Sunčeva aktivnost obično se sustavno javlja na cijeloj površini Sunca između $\pm 40^\circ$ geografske širine pjega, tzv. heliografske širine (latitude) koja se računa od 0° do 90° sjeverno od Sunčeva ekvatora te od 0° do -90° južno od njega. Iako postoje značajne varijacije u napredovanju aktivnog ciklusa, sveukupno je to impresivno redovito, što ukazuje na dobro uspostavljen redoslijed brojeva i heliografske širine. Pjege se najčešće javljaju u pojasu heliografskih širina od oko 30° sjeverno i južno od ekvatora. Na početku ciklusa, broj grupa i njihova veličina brzo se povećavaju, a to znači da se težište pojasa polako seli prema ekvatoru, sve dok ne postignu vrhunac poznat kao solarni maksimum sunčevih pjega koji se nalazi na 15° sjeverno i južno od ekvatora. Ciklus Sunčevih pjega vraća se na minimum nakon približno 11 godina. Za vrijeme minimuma Sunčevih pjega na Suncu najviše ima nekoliko malih pjega, obično na niskim heliografskim širinama od $\pm 8^\circ$, a mogu biti mjeseci bez ijedne pjege. Sunčeve pjege novog ciklusa počinju se pojavljivati na višim geografskim širinama, između 25° i 40° , s polaritetom suprotnim prethodnom ciklusu. Sunčeve pjege novog ciklusa na velikim latitudama i pjege starog ciklusa, koje se nalaze na niskim širinama, mogu biti istovremeno prisutne na Suncu. Prve pjege novog ciklusa veoma su male i traju samo nekoliko dana. Budući da je razdoblje rotacije 27 dana (duže na višim heliografskim širinama), te se pjege obično ne vraćaju dok se novije pjege pojavljuju bliže ekvatoru. [16]

Raspodjela pjega na heliografskim širinama ima oblik leptira koji se naziva leptirov dijagram.

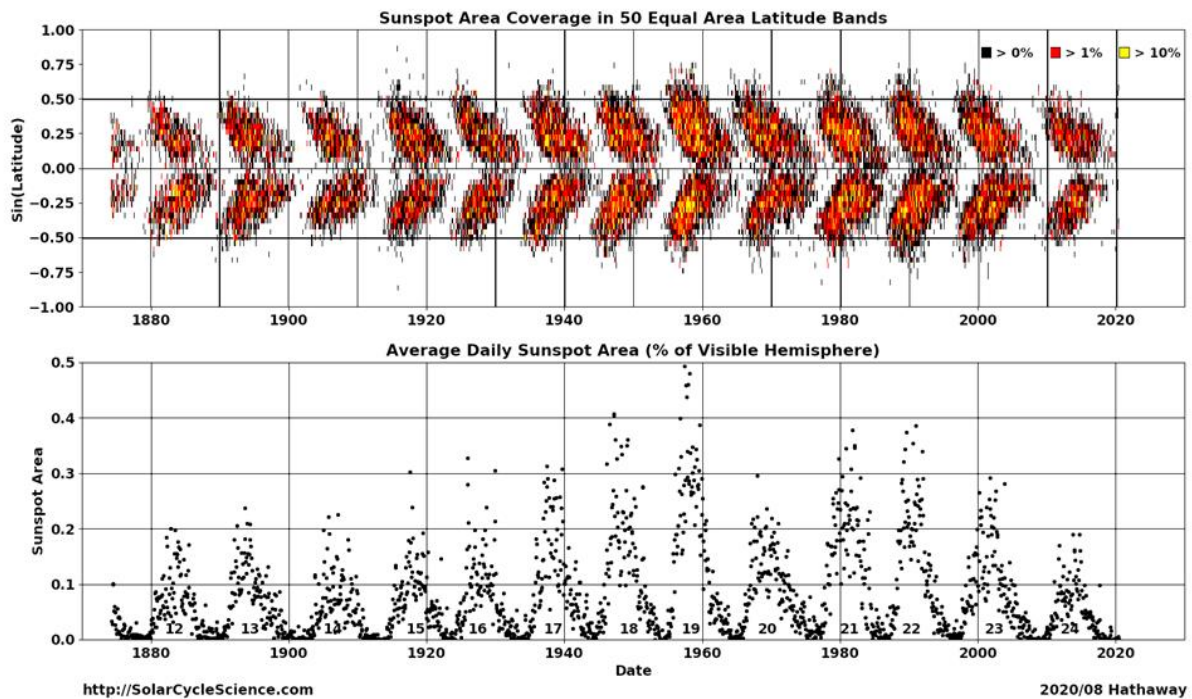


Slika 7: Magnetski leptirov dijagram koji pokazuje raspodjelu površinskog magnetskog polja u posljednjim četirima Solarnim ciklusima

(Izvor: [17])

3.3. 24. i 25. Sunčev ciklus

Prema riječima stručnjaka iz NASA-e i Nacionalne uprave za oceane i atmosferu (NOAA) 24. Sunčev ciklus dosegno je Solarni minimum u prosincu 2019. godine, a svoj je maksimum dosegno u travnju 2014. godine s vršnim prosjekom od 82 Sunčeve pjega. [34] Sjeverna hemisfera Sunca predvodila je ciklus Sunčevih pjega, dosežući vrhunac tijekom dvije godine ispred vrhunca Sunčevih pjega na južnoj hemisferi. [18]

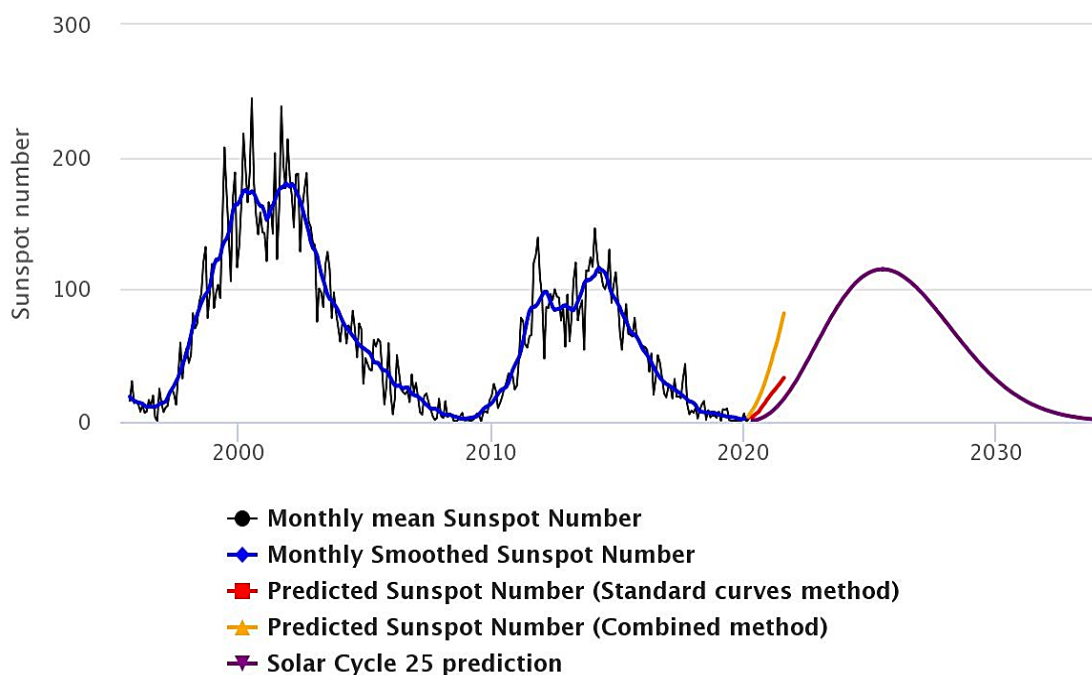


Slika 8: Leptirov dijagram za cikluse 12-24

(Izvor: [19])

Znanstvenici zaduženi za predviđanje Sunčeve aktivnosti za trenutni 11-godišnji Sunčev ciklus (25.) kažu da će vjerojatno biti slab, sličan prethodnom te će mu prethoditi dugi, duboki minimum. Budući da je Solarni minimum iza nas, znanstvenici očekuju da će se Sunčeva aktivnost pojačati i doseći vrhunac (Solarni maksimum) u srpnju 2025. Raspon Sunčevih pjega mogao bi biti od 95 do 130. To je znatno ispod prosječnog broja Sunčevih pjega, koji se kreće od 140 do 220 Sunčevih pjega po Sunčevom ciklusu. Detaljno se evidentiraju sićušne Sunčeve pjega koje obilježavaju početak i uspon novog ciklusa. [20]

Solar Cycle progression – Sunspot number



WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels

Slika 9: Sunčevi ciklusi 23, 24 i predviđena krivulja za 25. ciklus

(Izvor: [21])

Iako su dnevne vremenske prognoze najčešće korištena vrsta znanstvenih informacija u SAD-u, Sunčeva prognoza je relativno nova. S obzirom na to da Suncu treba 11 godina kako bi završilo jedan Sunčev ciklus, ovo je tek četvrti put da američki znanstvenici objavljuju predviđanje Sunčeva ciklusa. Prvo vijeće sazvano je 1989. za ciklus 22.

Za Sunčev ciklus 25, nadaju se da će po prvi puta predvidjeti prisutnost, amplitudu i vrijeme bilo kakvih razlika između Sjeverne i Južne hemisfere na Suncu, poznate kao hemisferna asimetrija. Kasnije ove godine, bit će objavljena službena krivulja broja Sunčevih pjega koja prikazuje predviđeni broj Sunčevih pjega tijekom bilo koje godine i očekivanu asimetriju. Također će se razmotriti mogućnost pružanja prognoze vjerojatnosti Sunčevog vjetra.

Bez obzira što znanstvenici ne predviđaju posebno aktivan Sunčev ciklus 25, nasilne erupcije Sunca mogu se dogoditi u bilo kojem trenutku jer se tijekom silazne faze ciklusa energija se nakuplja i može se osloboditi u pojedinačnim, ali vrlo snažnim događajima. Tako se jedna Sunčeva baklja pojavila 8. kolovoza 2020., a promatrači neba mogli su vidjeti polarnu svjetlost nekoliko dana krajem srpnja.



Slika 10.: Polarna svjetlost viđena na sjevernoj Zemljinoj hemisferi

(Izvor: [22])

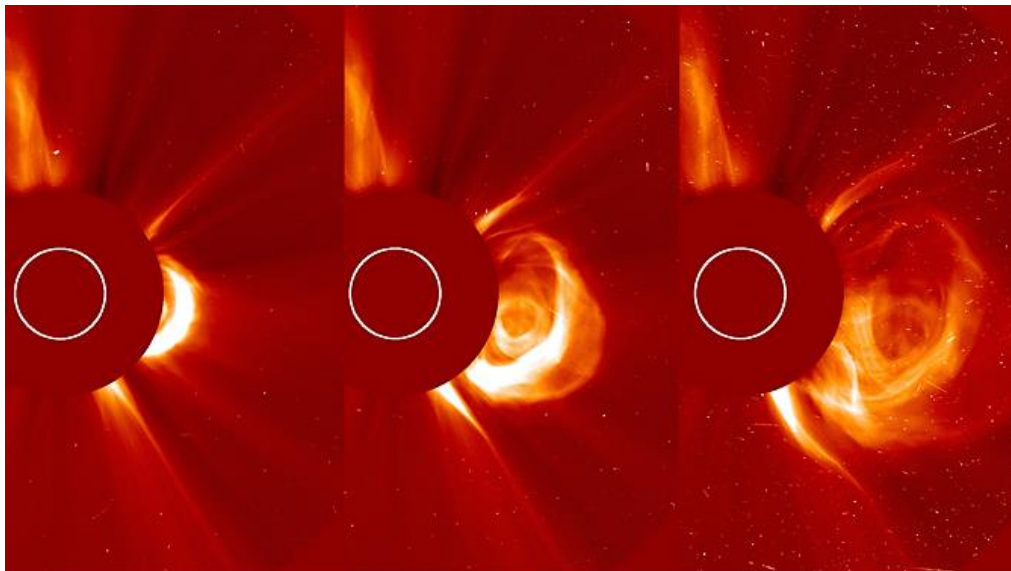
Vidi se sve više i više područja Sunčevih pjega koje pripadaju novom Sunčevom ciklusu 25 što je zapravo potvrda da smo prešli Solarni minimum. Zaključci *Solar-Terrestrial Centre of Excellence* (STCE), suradničke mreže Belgijskog instituta za svemirsku aeronomiju, Kraljevskog opservatorija u Belgiji i Kraljevskog meteorološkog instituta iz Belgiji jesu da se Solarni minimum vjerojatno dogodio krajem 2019. godine i da je taj Solarni minimum sličan Solarnim minimumima koji su prethodili 12., 15. i 24. Sunčevom ciklusu. Za te cikluse pokazalo se da su prilično niske aktivnosti. [23] Ovi dokazi upućuju na to da smo prešli Sunčev minimum te da trenutno vidimo porast 25. Sunčevog ciklusa, što potvrđuje najnovija objava NOAA-inog centra za predviđanje svemirskog vremena (SWPC) u Boulderu od 15. rujna 2020. godine.

Predviđanje Sunčevog ciklusa daje okvirnu predodžbu o učestalosti svemirskih oluja svih vrsta, od smanjenja zračenja u radiopodručju do geomagnetskih oluja i oluja Sunčevog zračenja. U mnogim industrijama koristi se za procjenu potencijalnog utjecaja svemirskog vremena u narednim godinama. Svemirsko vrijeme može utjecati na elektroenergetske mreže, kritične vojne, zrakoplovne i brodske komunikacije, satelite i signale *Global Positioning System* (GPS), a može čak i ugroziti astronaute izlaganjem štetnim dozama zračenja. [24]

4. Sunčeve sonde i nove spoznaje

Pioneer 5 je svemirska letjelica s putanjom 148,4 do 120,6 milijuna km udaljenom od Sunca koji je krenuo na putovanje 11. ožujka 1960. godine s uzletišta 17A u Cape Canaveralu. Zabilježila je bljesak koji je buknuo na Suncu krajem ožujka. Istovremeno je primijećeno da je tok kozmičkih zraka opao. Otkrio je postojanje međuplanetarnog magnetskog polja slabog intenziteta tijekom mirnog dijela Sunčeva ciklusa.

Skylab je prva svemirska postaja Sjedinjenih Država lansirana 14. svibnja 1973. godine u sklopu programa Apollo. Otkrio je koronine šupljine i koronine svijetle točke, male kratkoživuće regije nastale zbog rendgenskog zračenja koje se vide u šupljinama. Najsajjnije koronino zračenje zabilježeno je iznad područja aktivnosti Sunčevih pjega. Još jedno vrlo važno otkriće bilo je da brzi Sunčev vjetar dolazi iz koroninih šupljina u razmaku od 27 dana (kada su izbijale magnetske oluje na Zemlji) gdje nema pjega, koliko iznosi period rotacije dijela Sunčeve površine jer magnetske petlje iznad pjega zarobljuju plazmu i ne daju joj pobjeći. Sunčev vjetar lakše izbija iz područja gdje nema pjega. Dakle, za magnetske oluje na Zemlji odgovorni su koronini izbačaji koji crpe energiju iz magnetskih polja. [25]



Slika 11: Koronini izbačaji snimljeni letjelicom SOHO 16. svibnja 2012.

(Izvor: [26])

Solar Maximum Mission (SMM ili SolarMax) najveća je solarna misija lansirana 14. veljače 1980. s ciljem proučavanja Sunca tijekom maksimuma aktivnosti jedanaestogodišnjeg ciklusa (vrhunac bio 1979. godine), pruža nov uvid u prirodu Sunčevih baklji i ukupnog Sunčevog zračenja. Pomoću paketa ACRIM podaci su pokazali da je Sunce sjajnije tijekom maksimuma ciklusa Sunčevih pjega, iako su pjege tamne i prigušuju sjaj, zbog toga što su okružene fakulama koje pojačavaju sjaj. Dvije velike koronine šupljine trajno se nalaze iznad Sunčevih polova. U koroni se na polovima većim dijelom Sunčeva ciklusa nalaze šupljine pa i tijekom minimuma Sunčevih pjega. Pošto se magnetsko polje mijenja tijekom 11-godišnjeg ciklusa Sunčevih pjega, na polovima nema šupljina tijekom maksimuma. Zanimljivo je što je tijekom minimuma Sunčevih pjega Sunčev vjetar razmjerno pravilan, a tijekom maksimuma kaotičan: spori (iznad ostatka korone) i brzi vjetrovi (iznad koroninih šupljina) pojavljuju se na svim širinama. Oni se izmjenjuju kako Sunce rotira i međudjeluju. [27]

Sonda *Ulysses* lansirana je 1990. godine. Uključivala je dvije svemirske letjelice lansirane u dvije identične orbite iznad Sunčevih polova, jedna je bila iznad sjevernog, a druga iznad južnog. Letjelica je upućena prema Jupiteru i njegovom gravitacijom skrenula prema Suncu kako bi se mogla uzdići točno iznad Sunčeva pola. 1994. obišla je južni pol, a 1995. preletjela je sjeverni. S nizom sofisticiranih senzora za mjerenje nevidljivih vjetrova, atoma, zrna prašine i magnetskih polja koja prožimaju prostor oko Sunca, *Ulysses* je prešao 300 milijuna km iznad Sunčevog južnog i sjevernog pola, područja koja nikada prije nisu proučavana. Istraživao je Sunčev vjetar iz svih kutova stvarajući prvu trodimenzionalnu sliku heliosfere. Otkrio je da vjetar iz hladnijih područja blizu Sunčevih polova ispunjava dvije trećine heliosfere i puše ujednačenom brzinom od 750 km/s, mnogo brže od vjetra čija je brzina 350 km/s i koji izlazi iz Sunčeve ekvatorijalne zone. [28]

SOHO (Solar Terrestrial Science Program) je najuspješnija Sunčeva sonda. Pomoću nje moći će se pronaći odgovori na mnoga pitanja: pitanje zagrijavanja korone, ubrzanja Sunčeva vjetra, fizičke prirode unutrašnjosti i slično. Tajna solarnog grijanja: zašto se Sunčeva korona zagrijava na izuzetno visokih 1-2 milijuna °C kad je vidljiva površina (fotosfera) a temperaturi od ‘samo’ 5500 °C, odavno je misterij solarne fizike. SOHO je otkrio izuzetno dinamičnu atmosferu u kojoj protok plazme i prijelazni događaji malih razmjera igraju važnu ulogu. Također su otkrili nove dinamičke pojave poput Sunčevih tornada i globalnih koronalnih valova, poremećaja povezanih s izbacivanjem koronalne mase koji mogu putovati oko cijele Sunčeve kugle i pružiti dokaze za prijenos magnetske energije s površine na koronu, tzv. magnetskim tepihom načinjenim od magnetskih petlji koje se protežu iznad površine Sunca. [29]



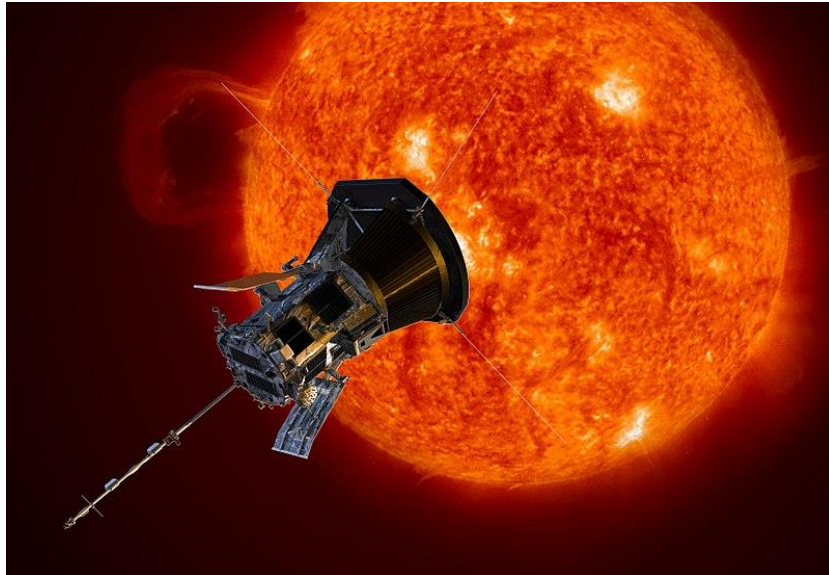
Slika 12: svemirska letjelica SOHO

(Izvor: [30])

Upravo je SOHO otkrio sloj smicanja koji se nalazi blizu konvektivne zone. Još jedno veliko otkriće vezano je za koronine izbačaje. Preko njih Sunce čisti svoj magnetizam na način da se svakim koroninim izbačajem ljušti staro magnetsko polje (komadić po komadić magnetskog polja odlazi sa Sunca), najprije s jednog pola, zatim s ekvatora i u konačnici s drugog pola. Kada se Sunce, očisti, silnice teku u suprotnome smjeru.

Dana 14. kolovoza 2020. znanstvenici su razvili metodu za proučavanje brzih izbacivanja koronalne mase. Rezultati mogu pomoći u boljem razumijevanju i predviđanju najekstremnijih svemirskih vremenskih događaja te njihove mogućnosti uzrokovanja jake geomagnetske oluje. Najjače i najintenzivnije geomagnetske oluje pokrenute su brzim izbacivanjima koronalne mase u interakciji s drugim izbacivanjem koronalne mase u međuplanetarnom prostoru. One se javljaju se kada se jedna za drugom lansiraju iz istog aktivnog područja. Ova vrsta izbacivanja može se okarakterizirati pomoću koncepta nakupina koji također generira pojačano ubrzanje čestica u usporedbi s izoliranim oblakom plazme. Općenito, otkrivanje nakupina ima važnu primjenu u mnogim drugim ekstremnim geofizičkim događajima (poplave i potresima), kao i u interdisciplinarnim područjima (hidrologija, telekomunikacije, financije i studije zaštite okoliša). [31]

Sonda Parker Solar ima tri detaljna znanstvena cilja: pratiti protok energije koja zagrijava i ubrzava Sunčevu koronu i Sunčev vjetar, odrediti strukturu i dinamiku plazme i magnetskih polja na izvorima Sunčevog vjetra te istražiti mehanizme koji ubrzavaju i prenose čestice visokih energija. Lansirana je u kolovozu 2018. te je postala Suncu dotad najbliža svemirska letjelica izvršivši 3 od 24 planirana prolaska kroz nikad prije istražene dijelove Sunčeve atmosfere, koronu.



Slika 13: Sunčeva letjelica Parker (umjetnički prikaz)

(Izvor: [32])

Znanstvenici danas polako dolaze do ključnih saznanja o tome kako se ponaša Sunčev vjetar. Na udaljenosti $27,78 \cdot 10^6$ km od Sunca, Sunčev je vjetar impulzivniji i nestabilniji od onoga što vidimo u blizini Zemlje na udaljenosti $166,68 \cdot 10^6$ km od Sunca. Daljnja istraživanja pokazala su da brzi preokreti u magnetskom polju i iznenadni, brzo pokretni mlazovi materijala uzrokuju Sunčev vjetar turbulentnijim. Ovo je ključno za razumijevanje raspršivanja energije Sunčevog vjetra koji putuje od Sunca kroz Sunčev sustav. Jedna vrsta događaja posebno je privukla oko znanstvenih timova: preokreti toka magnetskog polja koje istječe sa Sunca. Ti preokreti zovu se „prebacivači“ zato što protok elektrona ide u suprotnom smjeru, okrećući se natrag prema Suncu što znači da se magnetsko polje mora savijati prema Suncu. Traju od nekoliko sekundi do nekoliko minuta dok prelaze sondu. Nadalje, otkriveno je i kako solarni vjetar istječe iz Sunca. Sunčev vjetar prije nego se oslobodi Sunca, rotira se zajedno s njim dok blizu Zemlje vjetar teče gotovo radijalno, ravno u svim smjerovima. Pronalazak točke gdje solarni vjetar prelazi iz rotacijskog toka u savršeno radijalni tok utječe na to kako Sunce baca energiju mogao bi nam pomoći u boljem razumijevanju životnog ciklusa drugih zvijezda. [33]

5. Zaključak

Ljudi su oduvijek bili fascinirani Suncem. Najprije se mislilo kako je savršeno, dok nisu bile uočene pjegice. Galileo Galilei predložio je da bi Sunčeve pjegice mogle biti nakupine oblaka, dok je Scheiner vjerovao da su to gusti objekti uklopljeni u Sunčevu svjetlu atmosferu. William Herschel smatrao je da su to zapravo otvori u svjetloj Sunčevoj atmosferi kroz koje se vidi tamnija i hladnija sunčeva površina. Da su Sunčeve pjegice područja snažnih magnetskih polja jakosti do 0,4 T koja izviru iz Sunčeve unutrašnjosti, dokazao je George Ellery Hale pomoću Zeemanova efekta. One su prvi pokazatelji Sunčeve aktivnosti.

Sunčeva pjega građena je od penumbre (polusjene), rubnog, svjetlijeg područje i umbre (sjene), najtamnijeg, središnjeg dijela. U polusjeni zamjećujemo neobične tanke, duge vlaknaste strukture zvane filamenti. Sunčeve pjegice rađaju se u konvektivnoj zoni, na području vrlo velike jakosti magnetskog polja gdje je zapriječeno istjecanje toplote prema površini tako da su mjesta izbivanja petlji magnetska polja na površini hladnija u odnosu na okolicu. Pjegice se najčešće javljaju u pojasu heliografskih širina od oko 30° sjeverno i južno od ekvatora, iako ih ima po cijeloj Sunčevoj površini. Njihova raspodjela i položaj prikazuju se pomoću leptirova dijagrama.

Pjegice nastaju kombinacijom složenih gibanja koja stvaraju magnetska polja (koja su ujedno i glavni uzrok Sunčevih ciklusa): strujanja ioniziranog plina, rotacije, konvekcije i sile smicanja. „Model za predviđanje protočno-prijenosnog dinamika“ vrlo je važan za razumijevanje i predviđanje događaja ciklusa Sunčevih pjega jer ona utječe na broj i veličinu pjega koje će se pojaviti nakon svake 22 godine. Ukoliko znamo predvidjeti događaje Sunčeva ciklusa, možda možemo unaprijed predvidjeti kada će se pojaviti Sunčeve oluje vezane uz pojavu Sunčevih pjega i koje se javljaju tijekom Sunčeva maksimuma. Sunčev vjetar koji izlazi iz koroninih šupljina sa sobom nosi čestice koje putuju do Zemlje i mogu nanijeti štetu svojim zračenjem. Svemirsko zračenje lako prepoznajemo po pojavi polarne svjetlosti. Međutim, tijekom Sunčeva minimuma, Sunce se primjetno smiruje, a dokaz tome jest nedostatak Sunčevih pjega.

Prethodni Sunčev ciklus, 24., dosegnoo je Solarni minimum u prosincu 2019. godine, dok mu je maksimum bio u travnju 2014. godine s vršnim prosjekom od 82 Sunčeve pjegice. Za trenutni 11-godišnji Sunčev ciklus (25.) znanstvenici predviđaju da će vjerojatno biti slab, sličan prethodnom. 25. Sunčev ciklus započeo je u prosincu 2019. godine. Budući da je Solarni minimum iza nas, znanstvenici očekuju da će se Sunčeva aktivnost pojačati i doseći vrhunac (Solarni maksimum) u srpnju 2025. godine.

Zahvaljujući sondama „Pioneer 5“, „Skylab“, sonde „SolarMax“, „Ulysses“, „SOHO“ i „Parker Solar Probe“, mnogo smo toga novoga saznali o Sunčevom vjetru, koroninim šupljinama. Nove spoznaje mogu pomoći u boljem razumijevanju i predviđanju najekstremnijih svemirskih vremenskih događaja koji bitno utječu kako na naš život na Zemlji, tako i u svemiru.

6. Literatura

[1]

https://www.swpc.noaa.gov/sites/default/files/styles/medium/public/SunspotPicture_phenomena_update.jpg, (20. 8. 2020.)

[2] Maričić, D.: Otkrivanje Sunčevih tajni, URL: <https://eskola.zvjezdarnica.hr/osnove-astronomije/sunce/otkrivanje-suncevi-tajni/>, (20. 8. 2020.)

[3] <https://d1jqu7g1y74ds1.cloudfront.net/wp-content/uploads/2014/02/sunspot-parts-NASA-credit-580x387.jpg>, (20. 8. 2020.)

[4] Whitehouse, D, Sunce Biografija: poglavlje Fotosfera, Zagreb: Ljevak, 2007. (21. 8. 2020.)

[5] Shwarz, M. *Scientists solve centuries-old query: What's inside a sunspot*, 2001. URL: <https://news.stanford.edu/news/2001/november7/sunspot-117.html>, (21. 8. 2020.)

[6] https://news.stanford.edu/news/2001/november7/gifs/SSU_rend_250.jpg, (21. 8. 2020.)

[7] https://www.nasa.gov/images/content/462974main_sun_layers_946-710.jpg, (21. 8. 2020.)

[8] Whitehouse, D, Sunce Biografija: poglavlje Alfa i omega, Zagreb: Ljevak, 2007., (22. 8. 2020.)

[9], [29], [31] *Status of the Soho mission*, 2020. URL:

<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/content/-/article/soho>, (22. 8. 2020.)

[10], [11] Dikpati, M., *Predicting cycle 24 using various dynamo-based tools*,

<https://angeo.copernicus.org/articles/26/259/2008/angeo-26-259-2008.pdf>, (22. 8. 2020.)

[12], [14], [16] Vujnović, V., *Astronomija 2: 3. poglavlje Sunce, podnaslov Pjege*, Zagreb: Školska knjiga, 1994., (22. 8. 2020.)

[13] http://eskola.zvjezdarnica.hr/wp-content/uploads/2010/03/sl1_solarcycle_soho_big.jpg, (23. 8. 2020.)

[14] Whitehouse, D., *Sunce Biografija: poglavlje Nestanak Sunčeve pjege*, Zagreb: Ljevak, 2007., (23. 8. 2020.)

[15] Whitehouse, D., *Sunce Biografija: poglavlje Edward Walter Maunder*, Zagreb: Ljevak, 2007., (23. 8. 2020.)

- [16] Zirin H., Lang K., *Sunspots*, URL: <https://www.britannica.com/place/Sun/Solar-activity#ref54148>, (23. 8. 2020.)
- [17] <http://solarcyclescience.com/bin/magbfly.png>, (23. 8. 2020.)
- [18], [20], [24] *Solar experts predict the Sun's activity in Solar Cycle 25 to be below average, similar to Solar Cycle 24*, 2019. <https://www.weather.gov/news/190504-sun-activity-in-solar-cycle>, (24. 8. 2020.)
- [19] <http://solarcyclescience.com/bin/ButterflyDiagram.png>, (24. 8. 2020.)
- [21] <https://www.spaceweatherlive.com/en/solar-activity/solar-cycle>, (24. 8. 2020.)
- [22] <https://www.spaceweatherlive.com/en/news/view/408/20200504-time-flies-roll-on-solar-cycle-25>, (24. 8. 2020.)
- [23] STCE, *C2 solar flare, SC25 slowly ramping up?*, 2020. URL: <https://www.spaceweatherlive.com/en/news/view/412/20200815-c2-solar-flare-sc25-slowly-ramping-up>, (24. 8. 2020.)
- [25] Whitehouse, D., *Sunce Biografija: poglavlje Skylab*, Zagreb: Ljevak, 2007., (28. 8. 2020.)
- [26] https://www.nasa.gov/images/content/650809main_C2-20120517.jpg, (28. 8. 2020.)
- [27], [28] Whitehouse, D., *Sunce Biografija: poglavlje Sunčeve sonde*, Zagreb: Ljevak, 2007., (28. 8. 2020.)
- [28] https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Ulysses_overview, (28. 8. 2020.)
- [30] https://space.skyrocket.de/img_sat/soho_1.jpg, (28. 8. 2020.)
- [32] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1c/Parker_Solar_Probe.jpg/260px-Parker_Solar_Probe.jpg, (30. 8. 2020.)
- [33] Frazier, S., *Parker Solar Probe Sheds New Light on the Sun*, 2019. URL: <http://parkersolarprobe.jhuapl.edu/News-Center/Show-Article.php>, (30. 8. 2020.)
- [34] Potter S., *Solar Cycle 25 Is Here. NASA, NOAA Scientists Explain What That Means*, 2020. URL: <https://www.nasa.gov/press-release/solar-cycle-25-is-here-nasa-noaa-scientists-explain-what-that-means/>, (15. 9. 2020.)

Životopis

Marijela Karajko rođena je 30. studenog 1997. u Osijeku. Osnovnu školu „Stjepan Cvrković“ završila je u Starim Mikanovcima. Završetkom osnovne škole upisuje gimnaziju „Antun Gustav Matoš“ u Đakovu. Srednju školu završila je 2016. godine i iste godine svoje obrazovanje nastavlja na preddiplomskom studiju fizike na Odjelu za fiziku, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.