

Naslov članka/Article:

Merjenje temperature Sončevih peg s preprosto šolsko opremo (1. del)

Estimation of Sunspot Temperatures With Simple School Equipment (Part 1)

Avtor/Author:

Eva Kučič

CC licenca



Priznanje avtorstva-Nekomercialno-Brez predelav



Fizika v šoli 1/2025, letnik 30

ISSN 1318-6388

Izdal in založil: Zavod Republike Slovenije za šolstvo

Kraj in leto izdaje: Ljubljana, 2025

Spletna stran revije:

<https://www.zrss.si/strokovne-revije/fizika-v-soli/>

Merjenje temperature Sončevih peg s preprosto šolsko opremo (1. del)

Estimation of Sunspot Temperatures With Simple School Equipment (Part 1)

Eva Kučič

Šolski center za pošto, ekonomijo in telekomunikacije Ljubljana

Izvelek

Sonce, naša najbližja zvezda, je v obdobjih povečane magnetne aktivnosti posuto s številnimi pegami, ki nastanejo zaradi motenj v Sončevem magnetnem polju. Pege se premikajo preko Sončeve ploskvice skupaj s Sončevo snovjo, ker se Sonce vrti okoli lastne osi. S šolsko opremo: 20-centimetrskim Newtonovim teleskopom, zaščitnim steklenim filtrom Thousand Oaks in digitalnim fotoaparatom Canon EOS 700D s snemljivim objektivom, smo več dni zapored fotografirali aktivno Sonce in spremljali premike izbranih peg. Te posnetke smo obdelali in analizirali, pri čemer smo intenziteto svetlobe povezali s funkcijo izvira in s Planckovo funkcijo, da smo ocenili temperaturo v osrednjih predelih izbranih Sončevih peg. V prvem delu članka so predstavljene osnovne informacije o Soncu, Sončevih pegah in opravljenih meritvah, medtem ko se bo drugi del članka osredotočil na obdelavo posnetkov in določitev temperature v osrednjih predelih Sončevih peg.

Ključne besede: Sonce, Sončeve pege, temperatura, šolski teleskop

Abstract

The Sun is the closest star to Earth. During periods of heightened magnetic activity, multiple sunspots form due to disturbances in the Sun's magnetic field. These sunspots move across the Sun's surface along with its material as the Sun rotates on its axis. We captured images of the Sun using basic school equipment, including a 20 cm Newtonian telescope, a Thousand Oaks glass filter, and a Canon EOS 700D digital camera. These images can be processed and analysed. We estimated sunspot temperatures by relating light intensity to the source function and Planck's function. This article contains two parts. Part 1 introduces the Sun, sunspots, and the measurements we conducted, while Part 2 covers digital image processing and temperature determination in sunspots.

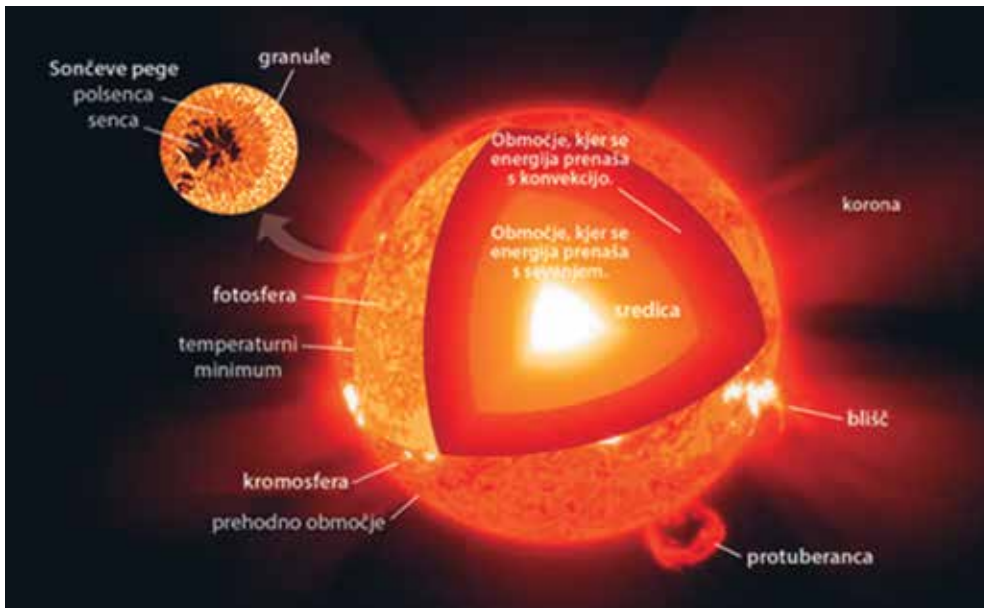
Keywords: Sun, sunspots, temperature, measurements, school telescope

Osnovne informacije o Soncu

Sonce je središče našega Osončja, nam najbližja zvezda in glavni vir energije za življenje na Zemlji, saj zagotavlja toploto in svetlobo, ki jo potrebujejo vsa živa bitja [1]. Staro je 4,6 milijarde let in je na polovici svoje življenjske poti. Od Zemlje je oddaljeno $150 \cdot 10^6$ km in je približno stokrat večje od Zemlje [2].

Sonce je žareča plinasta krogla, katere glavni vir energije je jedrsko zlivanje vodika v helij, ki poteka v njenem jedru [3]. V središču Sonca je temperatura okrog 15 MK in se z oddaljenostjo od središča proti površju zmanjšuje. Temperaturne razlike so odgovorne za prenos energije s sevanjem proti površini. Energija, ki nastane v notranjosti, se do približno dveh tretjin polmera Sonca prenaša s sevanjem, na preostali tretjini polmera Sonca pa zaradi nizke temperature ioni plina ovirajo učinkovit prenos energije s sevanjem, zato jo navzven prenašajo konvekcijski tokovi. To so stebri plina, ki se premikajo navzgor in navzdol (Slika 1). Vidna plast Sončevega površja se imenuje fotosfera, debela je približno 500 km in ima temperaturo okoli 6000 K.

Sonce je žareča plinasta krogla, katere glavni vir energije je jedrsko zlivanje vodika v helij, ki poteka v njenem jedru.



Slika 1: Struktura Sonca s Sončevimi pegami. Vir: B. Kambič (20. 6. 2022), *Spika*.

Ker je fotosfera tako redka, fotoni svetlobe dosežejo Zemljo v osmih minutah. Notranjost Sonca je neprozorna in tako gosta, da fotoni potujejo do površja na milijone let. Nad fotosfero leži spodnja plast atmosfere, ki jo imenujemo kromosfera. Kromosfera je debela okoli 2000 km in je večinoma sestavljena iz vodika. Temperatura v tej plasti narašča z višino. Zunanja plast Sončeve atmosfere se imenuje korona. Je zelo neizrazita in redka plast s temperaturo nekaj MK [1]. Opazujemo jo lahko le med popolnim Sončevim mrkom. V običajnih razmerah, ko ni Sončevega mrka, pa jo lahko opazujemo s posebnim teleskopom, ki ga imenujemo koronograf. Strm prehod med relativno hladno kromosfero in vročo korono imenujemo prehodno območje.

Pri opazovanju Sonca ob primerni zaščiti lahko na površju Sonca opazimo majhne temne lise. Ta temna področja se imenujejo Sončeve pege. Ob opazovanju Sonca s teleskopom z dobro ločljivostjo pa na površju Sonca opazimo tudi zrnato strukturo (granule), ki nastane zaradi konvekcijskih tokov [3].

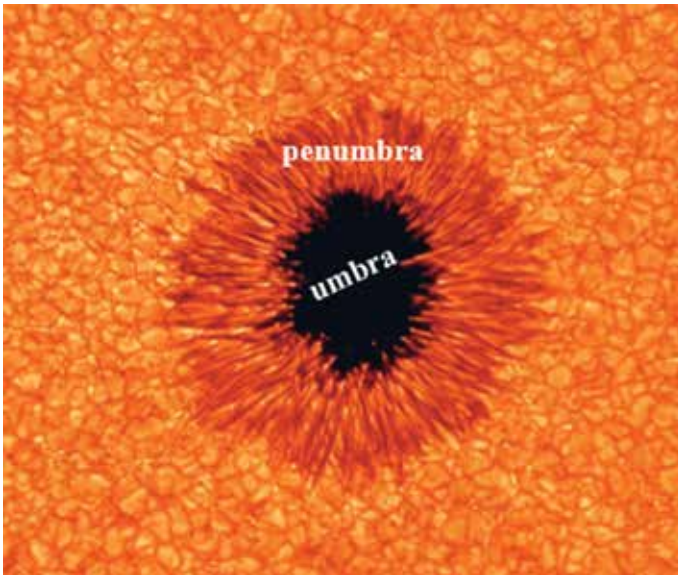
Sončeve pege

Sončeve pege so velika, hladna območja, ki imajo v središčnem delu temperaturo med 3900 in 4800 K. Ker imajo za več kot 1000 K nižjo temperaturo od fotosfere, jih na svetli Sončevi ploskvi vidimo kot temnejše lise [1]. Tipična Sončeva pega ima temnejšo sredino, imenovano *umbra* (senca), ki jo obkroža obročasti svetlejši del pege, ki ga imenujemo *penumbra* (polsenca). Tako *umbra* kot *penumbra* sta nepravilnih oblik, kot je razvidno na Sliki 2. *Umbra* ima v največjih pegah premer do 30.000 km, v povprečnih pegah pa je ta pol manjši [1, 4].

Tipična življenjska doba peg je nekaj dni do nekaj tednov. Pega se na površju Sonca pojavi naključno, in sicer kot ena sama pega ali kot skupina peg. Vsaka pega je sprva videti kot pora (nima *penumbre*). Če pa se magnetni pretok skozi njo poveča, nastane *penumbra* in tako pega dobi svojo značilno obliko [4]. V pegah je močno magnetno polje, ki je za približno 2500-krat večje od Zemeljskega magnetnega polja in je veliko močnejše kot na drugih predelih Sonca. Magnetno polje zmanjša prenos energije s konvekcijo tudi do 80 %, zato je to območje hladnejše od okolice. Magnetno polje je lahko usmerjeno navpično iz pege ali navpično v pego, kar določa polarnost pege (severno ali južno). Pega se po navadi pojavijo v parih, kjer imata člana para nasprotno magnetno polarnost [1, 5].

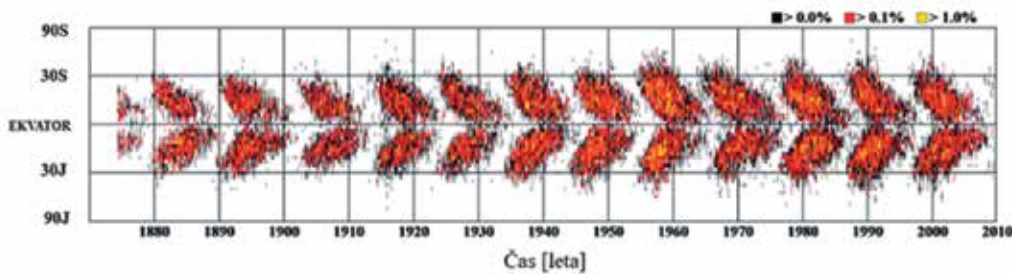
Sončeve pege so zelo dober pokazatelj Sončeve aktivnosti. Astronomi zadnjih dvesto let podrobno spremljajo premikanje Sončevih peg preko Sončeve ploskvice. Ugotovili so, da se število peg na Soncu približno periodično spreminja z enajstletnim ciklom. Sončeve pege se na

Sončeve pege so velika, hladna območja, ki imajo v središčnem delu temperaturo med 3900 in 4800 K.



Slika 2: Sončeva pega, ki jo sestavljata *umbra* in *penumbra*. V okolici pege opazimo granule (zrnata struktura površja Sonca). Vir: JILA.

začetku cikla pojavijo na heliografski širini okoli ± 40 med ciklom pa vedno bližje ekvatorju. To je razvidno na metuljčnem diagramu (Slika 3), ki prikazuje heliografsko širino Sončevih peg na Sončevi ploskvi v odvisnosti od časa [5, 6].

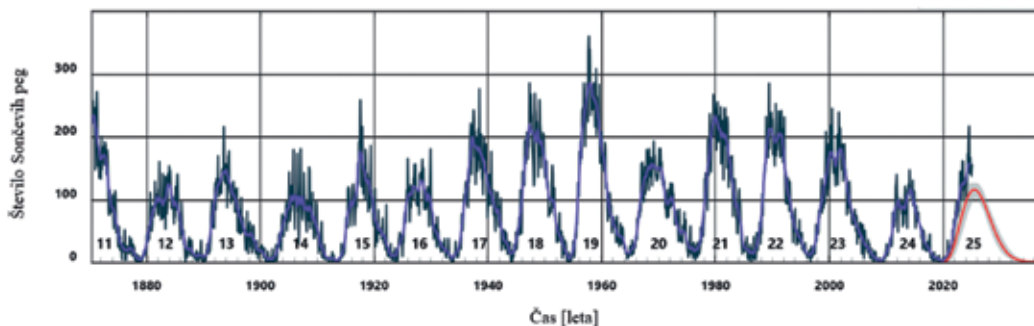


Slika 3: Metuljni diagram. Prvi ga je izdelal E. W. Maunder [6]. Vir: J. Voisey, *Universe Today*.

Aktivnost Sonca merimo z Wolfvim številom W , ki ga podaja zapis:

$$W = (10 S + P)K. \quad (1)$$

Tu S predstavlja število skupin Sončevih peg, P število posameznih peg in K korekcijski faktor. Korekcijski faktor je odvisen od premera objektiva teleskopa, opazovalnih razmer in prosojnosti ozračja [6]. Od leta 1849 se Wolfovo število spremlja vsak dan. Beleži ga Kraljevi observatorij v Belgiji (Slika 4). Sliki 3 in 4 sta v korelaciji in se spreminjata z enajstletnim ciklom.



Slika 4: Sončevi cikli, ki predstavljajo število peg na Sončevi ploskvi od leta 1870. Vir: Space weather prediction center.

Ko se pega približa robu Sončeve ploskvice, spremeni obliko, ker gledamo rob Sončeve ploskvice pod večjim kotom in zato se spremeni oblika pege. Ta pojav imenujemo Wilsonov pojav (Slika 5), ki potrjuje, da so pege vdrtine v Sončevi fotosferi. Tipično se pega nahaja 400–800 km pod površjem Sonca [5].



Slika 5: Shematični prikaz Wilsonovega pojava. Vir: R. Kippenhahn, John Wiley & sons Ltd.

Meritve

Za opazovanje in slikanje Sonca potrebujemo dobro in kakovostno opremo: teleskop, različne okularje, digitalni fotoaparati in filter, ki omogoča varno opazovanje Sonca. **Nikoli ne smemo gledati neposredno v Sonce, saj nam že kratek pogled lahko poškoduje oči.**

Pri opazovanju smo uporabili Newtonov teleskop s premerom objektivna 20 cm in goriščno razdaljo 100 cm. Za varno opazovanje smo namestili zaščitni stekleni filter Thousand Oaks, ki je izdelan posebej za varno opazovanje Sonca, in digitalni fotoaparati Canon EOS 700D, s katerim smo zajemali digitalne slike Sonca (Slika 6). Ker stekleni filter prepušča daljše valovne dolžine, je slika Sonca oranžne barve. Uporabimo lahko tudi mylar folijo, ki je tanjša in absorbira več daljših valovnih dolžin, zato so slike Sonca, posnete z mylar folijo, ostrejša in modro bele barve.



Slika 6: 20-centimetrski Newtonov teleskop s steklenim filtrom Thousand Oaks in digitalnim fotoaparatom Canon EOS 700D. Vir: osebni arhiv.

Tipično se pega nahaja 400–800 km pod površjem Sonca

Nikoli ne smemo gledati neposredno v Sonce, saj nam že kratek pogled lahko poškoduje oči.

Teleskop se postavi na razmeroma raven, trden in stabilen prostor z odprtim pogledom na Sonce. Teleskop smo pritrdili na ekvatorialno montažo, pri čemer smo eno os usmerili proti severnemu nebesnemu polu. Smer smo določili s pomočjo kompasa. Zasuk teleskopa okoli te osi spreminja časovni kot oziroma rektascenzijo, medtem ko zasuk okoli pravokotne osi spreminja deklinacijo. Nato smo na vrh cevi teleskopa pritrdili zaščitni stekleni filter Thousand Oaks. Uporaba različnih zaščitnih filtrov zmanjša količino vpadne svetlobe na neškodljivo raven. Filtri za opazovanje v vidni svetlobi blokirajo 99,999 % Sončeve svetlobe in z njimi lahko varno opazujemo površje Sonca. Filter za opazovanje Sonca v vidni svetlobi vedno namestimo na vrh cevi teleskopa, ker zmanjša količino vpadle svetlobe na varno raven, še preden vstopi v optični sistem [7]. Po namestitvi filtra smo teleskop priključili na električno omrežje, ga povezali z računalnikom, da sledi navideznemu gibanju neba, ga obrnili proti Soncu in začeli z opazovanjem.

Za zajemanje slik smo uporabili digitalni fotoaparatus Canon EOS 700D s snemljivim objektivom in ga pritrdili na poseben nastavek na mestu okularja. Najprej smo zaslon fotoaparata zastrli s temnejšim pregrinjalom (npr. odeja, brisača ali temnejša jakna), da smo lahko sliko Sonca bolje videli in prilagajali ostrino s pomočjo kolesa na okularju. Ostrili smo tako dolgo, dokler niso bile podrobnosti na Soncu dobro vidne. Ko smo bili s sliko zadovoljni, smo na fotoaparatus pritrdili sprožilno vrstico, da preprečimo tresenje cevi teleskopa. Na fotoaparatus smo ročno nastavili:

1. Čas osvetlitve

Pove nam, koliko časa je zaklop odprt. Daljši ko je čas, več svetlobe zbere detektor. Zato mora biti takrat, ko je svetlobe veliko, zaklop odprt samo kratek čas, sicer bo slika presvetla. Ostrina fotografije je odvisna od časa osvetlitve [8]. Pri našem fotografiranju smo uporabili naslednje čase osvetlitve: 1/1000 s, 1/1600 s, 1/2000 s in 1/2500 s, saj je Sonce svetel objekt.

2. Svetlobno občutljivo tipalo

Osnovni parameter pri slikanju s fotoaparatusom je tudi svetlobno občutljivo tipalo, ki ga definira ISO-vrednost. Večja ISO-vrednost pomeni, da je tipalo bolj občutljivo. Lahko pa slikamo v slabših razmerah in uporabljamo krajši čas osvetlitve. Edina težava pri večjih ISO-vrednostih je, da dobimo na fotografiji več šuma [8]. Pri našem fotoaparatusu smo uporabili ISO-vrednost 400.

Snemali smo več dni zapored, da smo lahko sledili izbranim pegam, ko se premikajo čez Sončevo ploskvico. Vsak dan smo na začetku naredili več posnetkov z različnimi nastavitvami, da smo lahko na koncu izbrali najboljše digitalne posnetke (Slika 7).



Slika 7: Posnetek Sonca, 12. 9. 2022. Vir: osebni arhiv.

Vrednosti signalov na točkovnih elementih detektorja so obremenjene s šumom (merska napaka). Za izboljšanje kakovosti meritev in zmanjšanje šuma po opravljenih meritvah Sonca posnamemo še kalibracijske posnetke. Pri opazovanju Sonca so to ničelni posnetki (*bias*) in posnetki enakomerno osvetljenega polja (*flat*).

S posnetki enakomerno osvetljenega polja zmanjšamo napake, ki nastanejo zaradi neenakomerne občutljivosti detektorja ter prahu in umazanije, ki se nabereta na detektorju in optičnih elementih teleskopa. Posnetke enakomerno osvetljenega polja naredimo na čim bolj enakomerno osvetljeni površini. Teleskop obrnemo stran od Sonca in posnamemo nebo. Pri tem moramo paziti, da slika ne bo presvetla ali pretemna, ISO-vrednost nastavimo na najmanjšo vrednost in zaklop mora biti odprt dalj časa, da dobimo dovolj signala, vendar pa moramo paziti, da ne pride do presvetlitve (saturacije) slike.

Z ničelnimi posnetki zabeležimo elektrone, ki nastanejo tudi takrat, ko detektor ni osvetljen, ker je detektor priključen na električno napetost. Posnetke naredimo tako, da pokrijemo zgornjo cev teleskopa s pokrovom. ISO-vrednosti ne spreminjamo, medtem ko čas osvetlitve nastavimo na najmanjšo možno vrednost, ki jo ima fotoaparatus. Pri vsakem opazovanju naredimo vsaj deset posnetkov enakomerno osvetljenega polja in ničelnih posnetkov.

Zaključek

Ta članek ponuja pregled osnovnih pojmov o Soncu, Sončevih pegah in postopkih slikanja Sončevih peg s preprosto šolsko opremo. V drugem delu bomo predstavili podrobno obdelavo digitalnih posnetkov ter izračunali temperaturni profil v temnejših predelih Sončevih peg. Kako obdelamo pridobljene digitalne posnetke in izračunamo temperaturo v temnejših predelih Sončevih peg? Razlago ponuja nadaljevanje članka (2. del), ki bo objavljeno v naslednji številki revije.

Viri

- [1] Green, S. F., in Jones, M. H. (2003). *An introduction to the Sun and Stars*. Cambridge: University Press.
- [2] Nasa (15. 12. 2022). *Solar system exploration*.
<https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/sun/overview/>
- [3] Golub, L., in Pasachoff, M. (2002). *Nearest star: the suprising science of our sun*. Cambridge: Harvard University Press.
- [4] Foukal, V. P. (2004). *Solar Astrophysics*. John Wiley & Sons, Second edition.
- [5] Solanki, S. K. (2003). *Sunspots: An overview*. The Astronomy and Astrophysics
- [6] Mihelič, M. (23. 11. 2014). Na soncu lahko opazujemo kar dve veliki pegi – izračunajmo Wolfovo število. <https://astronomska-revija-spika.si/dve-veliki-peg-sonce-wolfovo-stevilo/>
- [7] Kambič, B. (20. 6. 2022). Filtri za varno opazovanje Sonca.
<https://astronomska-revija-spika.si/filtri-za-varno-opazovanje-sonca/>
- [8] Digitalna kamera. (12. 5. 2016). Trije osnovni parametri.
<https://www.digitalna-kamera.si/trije-osnovni-parametri/>