

XV. GIMNAZIJA
JORDANOVAC 8, 10 000 ZAGREB

ODREĐIVANJE TEMPERATURE SUNCA

Izradili:

NEVA DOBRIĆ I PATRIK KUKIĆ, 1.f

Mentor

MARKO MOVRE, prof.

e-mail: mmovre@mioc.hr

Zagreb, 2016./2017.

Sadržaj

1.	UVOD	3
1.1.	OPIS TEME	3
1.2.	CILJ	3
2.	OSNOVNI PODACI	4
2.1.	SUNCE – OSNOVNI PODACI	4
2.2.	SPEKTRALNA ANALIZA	5
2.3.	SPEKTROSKOP I OSTALI INSTRUMENTI ZA ANALIZU SPEKTRA	5
2.4.	SPEKTAR SUNCA	6
2.5.	WIENOV ZAKON.....	6
2.6.	PLANCKOV ZAKON	6
3.	PRAKTIČNI DIO	8
3.1.	PRVA VERZIJA SPEKTROSKOPA	8
3.1.1.	IZRADA SPEKTROSKOPA	8
3.1.2.	KALIBRACIJA SPEKTROSKOPA	8
3.1.3.	MJERENJE SPEKTRA SUNCA	10
3.2.	DRUGA VERZIJA SPEKTROSKOPA.....	10
3.2.1.	IZRADA SPEKTROSKOPA	10
3.2.2.	KALIBRACIJA SPEKTROSKOPA	11
3.2.3.	MJERENJE SPEKTRA SUNCA	13
3.3.	ANALIZA PODATAKA	14
4.	ZAKLJUČAK.....	16
5.	ŽIVOTOPISI.....	17
6.	ZAHVALA.....	18
7.	LITERATURA.....	19

1. UVOD

1.1. OPIS TEME

Iako se Sunce nalazi na vrlo velikoj udaljenosti od nas, ono je glavni razlog postojanja života na Zemlji. Prema tome, njegova površinska temperatura mora biti jako visoka da bi toplinsko zračenje koje se stvara u Suncu moglo prijeći put koji iznosi približno 150 milijuna kilometara i doći do Zemlje. Glavno pitanje koje smo si postavili prilikom izrade ovog rada bilo je kolika je temperatura Sunca te kako bismo ju mogli odrediti opažanjem.

Proučavajući literaturu, naišli smo na podatke o temperaturi Sunca te nas je zanimalo kako bismo mi, korištenjem relativno jednostavnog pribora, mogli odrediti temperaturu Sunca. Kao metodu kojom bismo odredili temperaturu Sunca odabrali smo spektralnu analizu, jer nam se ona činila najprikladnijom s obzirom na opremu koju imamo na raspolaganju.

Za određivanje temperature Sunca pomoću spektralne analize trebali bismo razložiti svjetlost koja dolazi sa Sunca pomoću spektroskopa. Budući da smo odlučili koristiti jednostavan pribor, spektroskop ćemo sami izraditi. Tako bismo trebali dobiti spektar Sunca te bismo onda mogli zabilježiti valnu duljinu Sunca na kojoj ono zrači najviše svoje topline. Pomoću Wienovog zakona zatim bismo mogli odrediti temperaturu Sunca.

1.2. CILJ

Osnovni cilj ovog rada je odrediti temperaturu Sunca. Metoda koju ćemo koristiti za određivanje temperature Sunca će biti mjerenje valne duljine (na kojoj ono zrači najviše) opažanog spektra fotografskim aparatom. Također, cilj rada je odrediti s kolikom se pogreškom mjerenja može odrediti temperatura Sunca. Prema tome, želimo izračunati kolika je pogreška izmjerene temperature.

Budući da ćemo temperaturu Sunca određivati pomoću spektroskopa ručne izrade, zanima nas i koliko ručno izrađen spektroskop može biti precizan.

2. OSNOVNI PODACI

2.1. SUNCE – OSNOVNI PODACI

Sunce je nama najbliža zvijezda. Ono je žuti patuljak promjera 1 391 900 km što iznosi 109 promjera Zemlje. Obujam mu je 1,41 trilijuna km^3 što je 1,3 milijuna volumena Zemlje, a masa mu je $1,99 \cdot 10^{30}$ kilograma, tj. 333 333 mase Zemlje. Gustoća Sunca je nešto veća od gustoće vode ($1,41 \text{ g/cm}^3$).

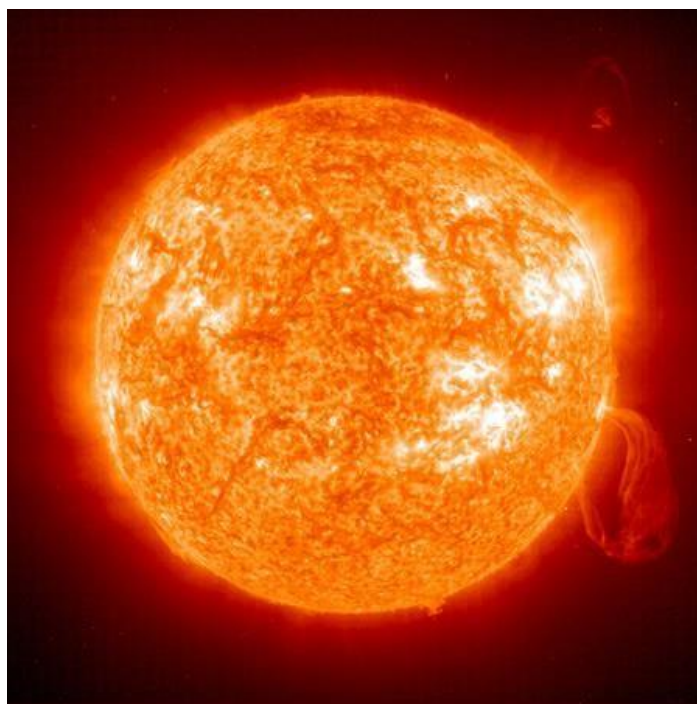
Sunce je građeno većinom od vodika (73,46%) i helija (24,85%), ali sadržava i nešto težih elemenata (kisik, ugljik, željezo, sumpor...). Ono u svemir neprestano zrači veliku količinu energije koju stvara u svom središtu procesom nuklearne fuzije, tj. pretvarajući vodik u helij.

Sunce je središte Sunčeva sustava i oko njega kruži 8 planeta, 5 patuljastih planeta te velik broj manjih tijela.

Sunce se nalazi na prosječnoj udaljenosti od 149 600 000 km. Ta udaljenost se u astronomiji koristi kao jedna od mjernih jedinica, a nazvana je astronomska jedinica (AU).

Površina Sunca nije u krutom agregacijskom stanju te se na njoj mogu uočiti mnoge pojave kao što su Sunčeve pjege, granulacije, spikule i druge. Također, i u Sunčevoj atmosferi se mogu uočiti mnoge zanimljive pojave, primjerice bljeskovi, prominencije te koronini izbačaji.

Temperatura Sunca u njegovom središtu iznosi 15,8 milijuna K. Visoku temperaturu u središtu održavaju termonuklearne reakcije. Proizvedena energija prenosi se sve do fotosfere (vidljivi površinski sloj) procesima miješanjem (konvekcijom) i zračenjem (radijacijom). Efektivna temperatura fotosfere iznosi 5 778 Kⁱ.



Slika 1 - Sunce

ⁱ <https://hr.wikipedia.org/wiki/Sunce>

2.2. SPEKTRALNA ANALIZA

Spektralna analiza u astronomiji je jedan od načina analize fotona i atoma. Ona iznosi podatke o fizičkom i kemijskom stanju i sastavu svemirskih tijela koja se proučavaju. Za spektralnu analizu nije potreban neposredan kontakt s tijelom koje se proučava već je samo potrebno razložiti pristiglu svjetlost objekta u spektar. Spektralna analiza omogućena je time što su u cijelom svemiru fizikalni zakoni jednaki. Naime, ako se objekti nalaze u identičnim uvjetima, procesi na njima se uvijek zbivaju jednako.

Temeljno pravilo spektralne analize govori nam da ako je plin, koji emitira spektralne linije, postavljen na drugačiju lokaciju, tako da upija bijelu svjetlost, tada apsorpcijske linije tog plina imaju jednake valne duljine kao i emisijske linije prvog plina. Zbog toga svaki atom pokazuje jedinstvene spektralne linije.

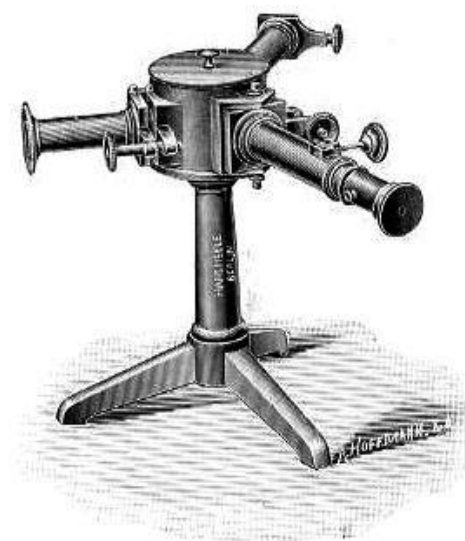
Danas se spektralna analiza vrši uređajima kao što su spektroskop, spektrograf i spektrofotometar.

2.3. SPEKTROSKOP I OSTALI INSTRUMENTI ZA ANALIZU SPEKTRA

Spektroskop je instrument koji služi za promatranje elektromagnetskog spektra. Obično se sastoji od optičke prizme ili optičke rešetke. Koristi u astronomiji za dobivanje spektra zvijezda. Današnji moderni spektroskopi se uglavnom sastoje od difrakcijske (optičke) rešetke, pomičnog otvora i neke vrste fotodetektora te je sve automatizirano te pod kontrolom računala.

Prvi spektroskop izumio je Joseph von Fraunhofer, a Gustav Robert Kirchhoff i Robert Bunsen su otkrili primjenu spektroskopa za kemijsku analizu.

Spektrograf i spektrofotometar su uređaji slični spektroskopu, no razlikuju se u konstrukciji. Spektrograf zapisuje spektar na fotografsku ploču ili fotografski film, a spektrofotometar se sastoji od izvora zračenja, monokromatora i detektora.



Slika 2 - Spektroskop

2.4. SPEKTAR SUNCA

Sunce zrači apsorpcijskim spektrom što znači da se spektar Sunca sastoji od apsorpcijskih linija koje nastaju kada se sloj plina obasja bijelom svjetlošću, tj. kontinuiranim spektrom. Tada se dio svjetlosti zadržava, tj. apsorbira u sloju plina (dio svjetlosti nestaje iz snopa bijele svjetlosti) i to je ono što uočavamo kao tamne linije u spektru Sunca.

S druge strane, obasjani plin također zrači spektralne linije, ali njihov doprinos je većinom manji od one količine koja je oduzeta iz kontinuiranog spektra pa se ne pojavljuje u emisiji.

Sunčev spektar se još može nazvati i Fraunhoferovim spektrom jer je to apsorpcijski linijski spektar. U njemu svaka linija predstavlja jedan, točno određen prijelaz u atomu. Zbog te činjenice bi se, poznajući spektar Sunca, mogao odrediti i njegov kemijski sastav.

2.5. WIENOV ZAKON

Wilhelm Wien je 1893. prvi odredio količinski odnos između temperature crnog tijela i valne duljine na mjestu spektra gdje je intenzitet najveći. Danas se taj zakon zove Wienov zakon pomaka i kaže da je temperatura crnog tijela T obrnuto proporcionalna s valnom duljinom λ_M na mjestu u spektru gdje je intenzitet najveći:

$$T = \frac{b}{\lambda_M}$$

gdje je b Wienova konstanta pomaka koja iznosi $2,897768551 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$. Wienov zakon proizlazi iz Planckova zakona.

Pomoću Wienovog zakona moguće je odrediti temperaturu zvijezda.

2.6. PLANCKOV ZAKON

Max Planck je 1900. stvorio ovaj zakon u pokušaju da poboljša Wienov zakon. Planck je zakon teorijski izveo koristeći se analogijom atoma i oscilatora (čestice koje zrače kao male dipolne antene). Jakost spektra I u ovisnosti o frekvenciji ν i termodinamičkoj temperaturi T dana je formulom:

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} * \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

gdje je ν frekvencija, h Planckova konstanta koja iznosi $6,626\,0693 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, c brzina svjetlosti koja iznosi $300\,000 \text{ km s}^{-1}$, e baza prirodnog logaritma, k Boltzmannova konstanta koja iznosi $1,3806505 \cdot 10^{-34} \text{ J K}^{-1}$, a T termodinamička temperatura.

Planckov zakon se još može prikazati i pomoću valne duljina λ i onda je jakost spektra I dana formulom:

$$I(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} * \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

gdje je λ valna duljina, h Planckova konstanta koja iznosi $6,626\,0693 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$, c brzina svjetlosti koja iznosi $300\,000 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$, e baza prirodnog logaritma, k Boltzmannova konstanta koja iznosi $1,3806505 \cdot 10^{-23} \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$, a T termodinamička temperatura.

3. PRAKTIČNI DIO

3.1. PRVA VERZIJA SPEKTROSKOPA

3.1.1. IZRADA SPEKTROSKOPA

Za izradu spektroskopa od materijala smo koristili drvene daske širine 6 centimetara, stiropor, izolir-traku, konopac, ljepilo patafix, objektiv, prizmu, postolje te motor iz kolekcije *Lego Mindstorms* koji je rotirao to postolje i lego kockice.

Iz izvora je dolazila svjetlost koja je prolazila kroz pukotinu tako da bi dobili usmjerenu zraku svjetlosti. Potom bi svjetlost prolazila kroz objektiv koji je služio kao kolimator te je on zraku usmjeravao tako da bismo dobili paralelan snop svjetlosti. Objektiv je od pukotine morao biti udaljen točno onoliko koliko je iznosila žarišna duljina objektiva, tj. 5 cm. Nakon toga je svjetlost dolazila do prizme gdje se lomila te je prizma razložila bijelu svjetlost na spektar.

Prvo smo na postolje patafixom zalijepili prizmu, a zatim smo od lego kockica napravili konstrukciju koju smo pomoću izolir-trake povezali s daskom. Prizma nam je u spektroskopu služila za rastavljanje svjetlosti na spektar boja. Od stiropora smo izradili postolje za objektiv te smo objektiv dodatno pričvrstili korištenjem konopca. Objektiv smo patafixom zalijepili na dasku i dodatno smo cijelu konstrukciju učvrstili izolir-trakom. Potom smo dasku manje dužine, na kojoj se nalazila prizma, zalijepili na dasku na kojoj se nalazio objektiv. Bilo je svejedno na kojoj će se udaljenosti nalaziti objektiv od prizme zato što je iz objektiva izlazio paralelan snop svjetlosti.



Slika 3 - Prva verzija spektroskopa

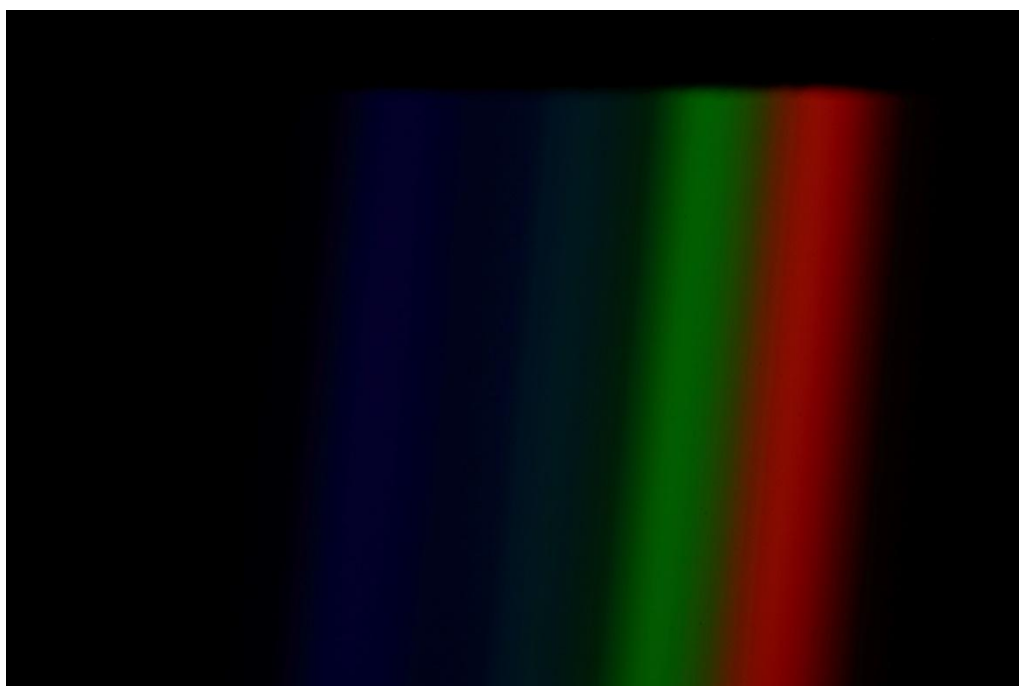
3.1.2. KALIBRACIJA SPEKTROSKOPA

Prije nego što smo izveli mjerenja, trebali smo napraviti kalibraciju. Kalibraciju smo obavili pomoću štedne žarulje koja daje emisijski spektar i pomoću obične žarulje koja daje kontinuirani spektar.

Prvo smo trebali dobiti spektar štedne žarulje. U kutiju na kojoj se nalazila pukotina stavili smo štednu žarulju te smo zamračili prostoriju. Htjeli smo postići što bolje uvjete za mjerenja tako da nam jedini izbor svijetla bude svjetlost žarulje koja je izlazila kroz pukotinu na kutiji. Fotoaparat smo stavili točno na udaljenost na kojoj se mogao vidjeti cijeli dobiveni spektar. Oštrina spektra se mijenjala

kako smo mi mijenjali udaljenost fotoaparata od prizme i veličinu pukotine. Također se mijenjala i kad smo mijenjali kut pod kojim je svjetlost padala na prizmu. Taj kut smo mijenjali rotiranjem podloge na kojim se nalazila prizma pomoću daljinskog upravljača. Kada smo dobili spektar koji nam se činio najoštrijim, slikali smo ga. Potom smo pažljivo obilježili točno mjesto gdje se nalazio spektroskop te kutija s pukotinom. Onda smo štednu žarulju zamijenili običnom te smo ponovno slikali spektar.

Morali smo paziti da nam spektroskop, kutija s pukotinom i fotoaparat ostanu na točno istom mjestu zato da slikani spektri u oba slučaja budu na potpuno istom mjestu. To će nam biti bitno kod kasnijeg uspoređivanja slika spektra.



Slika 4 - Emisijski spektar štedne žarulje



Slika 5 - Kontinuirani spektar žarulje sa žarnom niti

3.1.3. MJERENJE SPEKTRA SUNCA

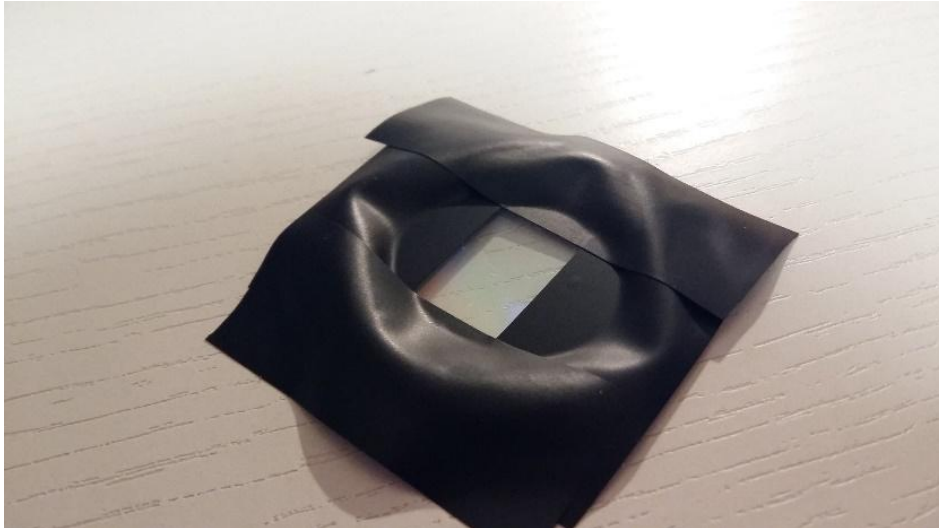
Budući da prvi spektroskop nije bio prikladan za jednostavno manipuliranje, prvi pokušaj mjerenja Sunca obavili smo korištenjem zrcala. Spektroskop smo stavili u zamračenoj sobi u kojoj smo prethodno obavili kalibraciju spektroskopa, a zatim smo jednim zrcalom usmjerili svjetlost Sunca iz dobro osvijetljenog hodnika u pukotinu. Nažalost, ovom metodom nismo uspjeli kvalitetno snimiti spektar Sunca (odnosno namještanjem spektroskopa nismo niti u jednom trenutku dobili Fraunhoferov spektar), pa smo pokušali snimiti spektar Sunca s drugom metodom.

U drugoj metodi spektar Sunca smo namjeravali opažati i snimiti kroz teleskop zagrebačke Zvezdarnice. Elemente spektroskopa, poput objektiva i prizme smo dodatno učvrstili, kako ne bi došlo do pomicanja. Spektroskop smo daskom i izolir-trakom pričvrstili za teleskop. Nažalost, i ova metoda nije bila uspješna zbog toga što se spektroskop nije dobro pričvrstio za teleskop te, ponajprije, jer prizma i kolimator nisu bili na optičkoj osi okulara teleskopa te se stoga nije mogla dobiti čista, izoštrena slika spektra (Fraunhoferov spektar).

3.2. DRUGA VERZIJA SPEKTROSKOPA

3.2.1. IZRADA SPEKTROSKOPA

Nakon neuspješne konstrukcije spektroskopa, te mjerenja sa spektroskopom, temeljenom na prizmi, odlučili smo se na drugačiji pristup. Drugu verziju spektroskopa smo izradili od optičke rešetke koja je u ovom slučaju bila jedna strana CD-a. Sa CD-a smo oljuštili zaštitni sloj, te tako otkrili sloj CD-a koji ogibom svjetlosti tvori spektar. Nakon toga smo izrezali dio CD-a kvadratnog oblika, nalijepili smo ga na izolir-traku koja se mogla prilijepiti za objektiv te smo tako dobili funkcionalni spektroskop.



Slika 6 - Druga verzija spektroskopa

3.2.2. KALIBRACIJA SPEKTROSKOPA

Drugu verziju spektroskopa kalibrirali smo tako da smo emisijski spektar štedne žarulje u zamračenoj sobi snimili fotografskim aparatom, te zatim s istom konfiguracijom lokacije pukotine, usmjerenosti žarulje, te pozicije i orijentacije fotografskog aparata, snimili spektar obične žarulje sa žarnom niti. Tako smo dobili emisijski i kontinuirani spektar na kojima smo izvršili kalibraciju.

Na internetu smo saznali na kojim se valnim duljinama nalaze opažane emisijske linije štedne žarulje. Preklopili smo fotografije spektra štedne žarulje i spektra obične žarulje tako da bismo mogli odrediti valnu duljinu bilo koje točke u spektru obične žarulje.

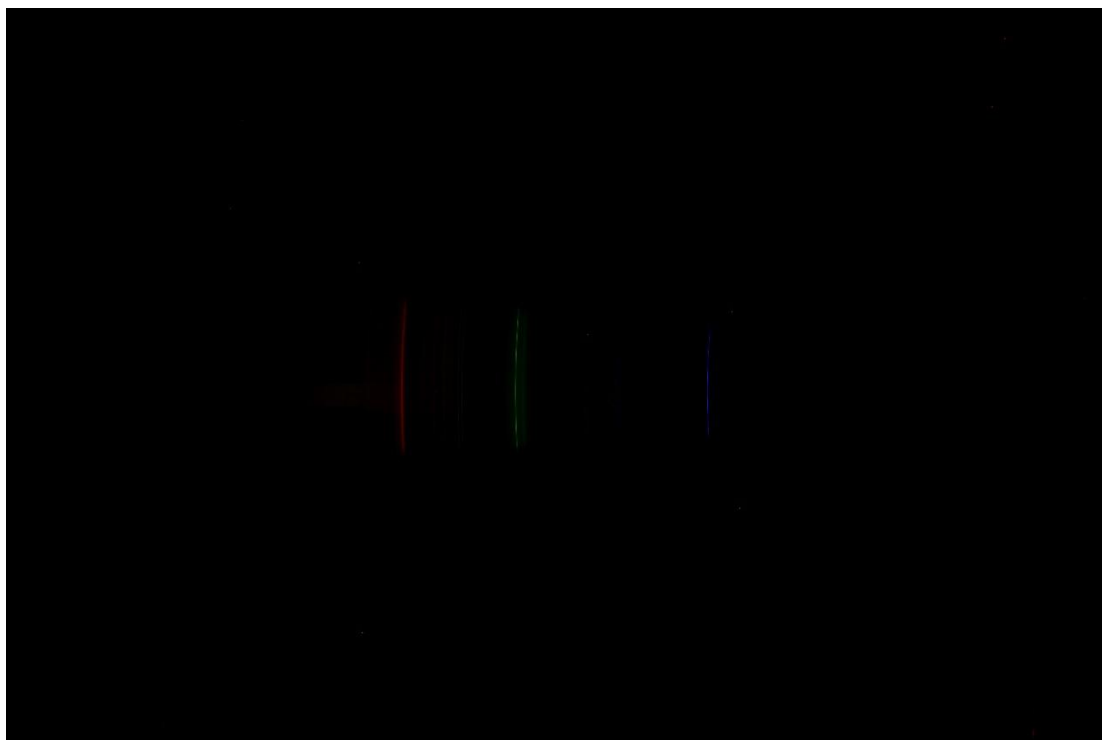
Izabrali smo 20 točaka na kontinuiranom spektru obične žarulje te smo odredili na kojoj valnoj duljini se nalaze. Nakon toga smo intenzitet svjetlosti na *greyscale* fotografiji spektra obične žarulje uspoređivali s intenzitetom svjetlosti koji je dan iz Planckove jednadžbe za intenzitet svjetlosti na određenoj valnoj duljini, te na određenoj temperaturi crnog tijela. Planckova jednadžba:

$$I(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} * \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

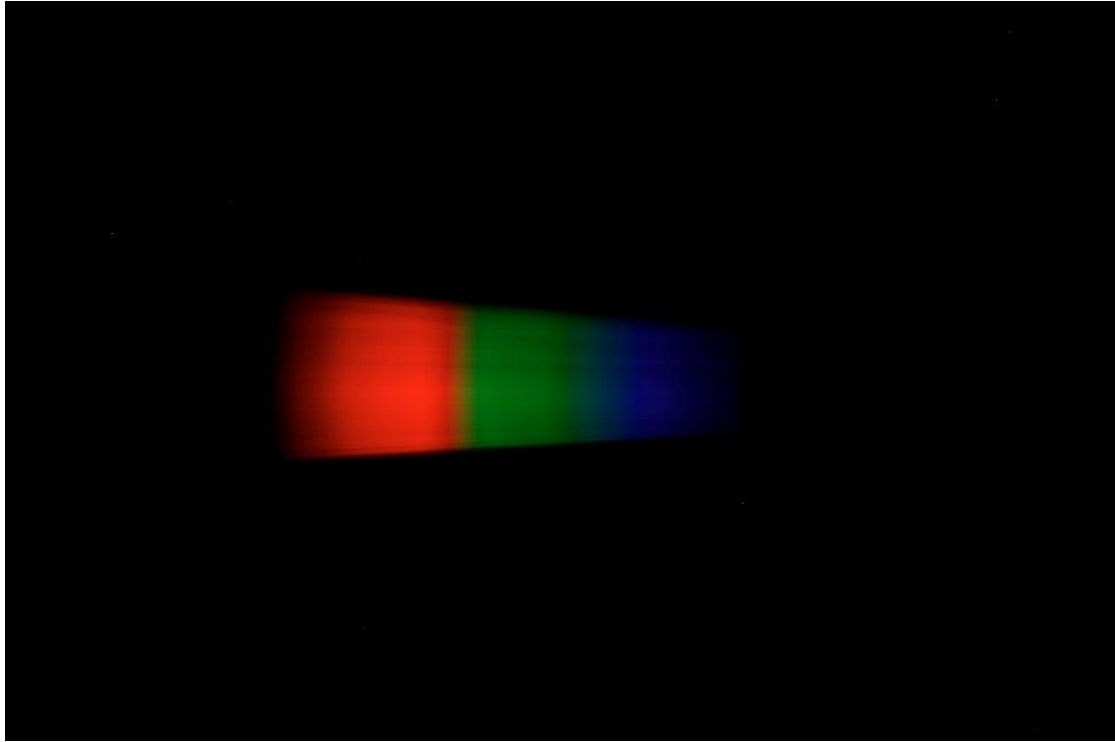
Iz omjera dvaju prije spomenutih intenziteta, izračunali smo korekcijski faktor koji moramo primijeniti na fotografiju spektra Sunca kako bi mogli preciznije odrediti valnu duljinu na kojoj Sunce doseže maksimum svog zračenja, te tako pomoću Wienovog zakona odrediti površinsku temperaturu Sunca.



Graf 1 – Krivulja korekcijskog faktora



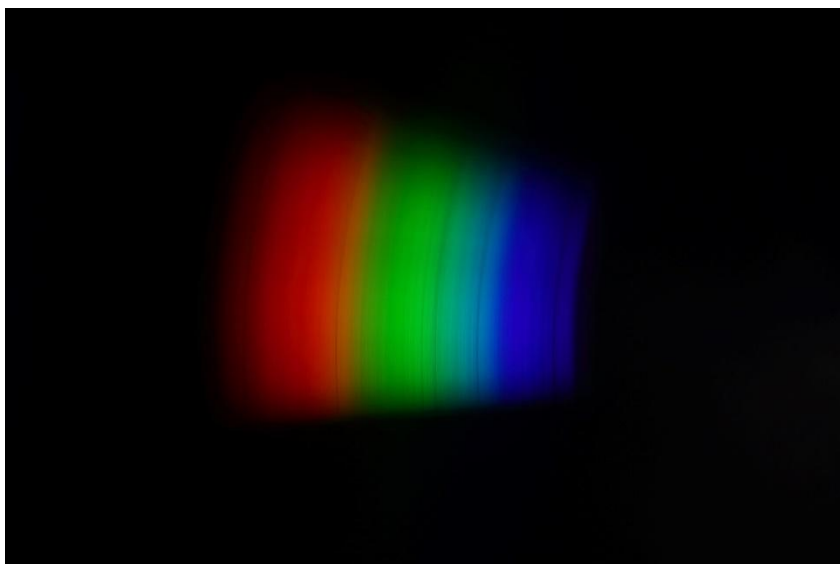
Slika 7 - Emisijski spektar štedne žarulje



Slika 8 - Kontinuirani spektar žarulje sa žarnom niti

3.2.3. MJERENJE SPEKTRA SUNCA

Nakon što smo konstrukciju s djelićem CD-a pričvrstili na fotografski aparat, okular teleskopa smo zamijenili pukotinom kojoj se može mijenjati veličina procijepa, kako bi se dobio što oštrije i precizniji spektar. Na teleskop smo izolir-trakom pričvrstili tubus, te tako osigurali zamračenost fotografskog aparata i senzora. Fotografski aparat nismo uperili direktno u pukotinu, nego nagnuli pod kutom u odnosu na optičku os pukotine i teleskopa, kako bi osigurali pravilno skretanje svjetlosti. Izoštavanjem slike te zumiranjem dobili smo oštre slike spektra Sunca na kojima se lako prepoznaju Fraunhoferove linije.



Slika 9 – Apsorpcijski spektar Sunca

3.3. ANALIZA PODATAKA

Imali smo 8 mjerenja Sunca koja su napravljena u 2 dana. Za svaki dan napravili smo posebnu kalibraciju zato što smo koristili spektroskop napravljen od drukčijeg CD-a.

Krivulju faktora korekcije koju smo dobili iz omjera intenziteta zračenja štedne žarulje i tog zračenja kako ga predviđa Planckov zakon primijenili smo na spektar Sunca. Temperaturu Sunca dobili smo korištenjem Wienovog zakona:

$$T = \frac{b}{\lambda_M}$$

Potom smo krivulju faktora korekcije primijenili na temperaturu Sunca koju predviđa Wienov zakon. Dobili smo sljedeće podatke:

Mjerenje	Izračunata temperatura/K	Apsolutno odstupanje od srednja vrijednosti/K	Relativna pogreška
1.	5847,92	324,06	5,87 %
2.	5799,55	275,69	4,99 %
3.	5429,62	94,24	1,71 %
4.	5416,58	107,28	1,94 %
5.	5431,68	92,18	1,69 %
6.	5445,56	78,3	1,42 %
7.	5410	113,86	2,06 %
8.	5410	113,86	2,06 %

Tablica 1: Rezultati mjerenja temperature Sunca

Potom smo izračunali srednju vrijednost rezultata koja iznosi 5 523,86 K. Krajnji rezultat se može zapisati kao $5\,523,86\text{ K} \pm 324,06\text{ K}$.

Iz literature znamo da temperatura Sunca iznosi 5 778 K. Prema tome, mi smo dobili odstupanje naše izračunate vrijednosti od podatka iz literature od 254,14 K, što znači da smo dobili pogrešku od 4,4 %.

4. ZAKLJUČAK

Kod određivanja temperature Sunca rezultat koji smo dobili iznosi (5500 ± 300) K uz relativnu pogrešku mjerenja od 5,5 %. Vrijednost iz literature iznosi 5 778 K i ona se nalazi unutar intervala eksperimentalno dobivenih vrijednosti.

Pogrešku koju smo dobili mogli bismo pripisati nedostatku izvedenih mjerenja te nepreciznosti mjernih instrumenata.

Svejedno, zadovoljni smo rezultatom budući da smo dobili relativnu pogrešku mjerenja od samo 5,5%, što nam se čini kao vrlo dobar rezultat. Na osnovi toga možemo zaključiti da bi se ova metoda mogla vrlo precizno koristiti za određivanje temperature Sunca.

5. ŽIVOTOPISI

Patrik Kukić

Idem u prvi razred XV. gimnazije. Astronomijom sam se počeo baviti u 8. razredu kad sam se plasirao na državno natjecanje iz astronomije. Također sam sudjelovao na Međunarodnoj Sanktpeterburškoj astronomskoj olimpijadi gdje sam prošao u kolo praktičnih zadataka. Od županijskih natjecanja sudjelovao sam na: INFOKUP-u (informatika), biologiji, engleskom, njemačkom, kemiji i astronomiji. Polaznik edukacijskih programa u ZEC Višnjan YSC3 i VSA te sam također polaznik astronomskih seminara u Istraživačkoj Stanici Petnica.

Neva Dobrić

Idem u prvi razred XV. gimnazije. Astronomija me zanima od malena te sudjelujem na natjecanjima od 5. razreda. Pohađala sam edukacijske programe u ZEC Višnjan YSC1, YSC2 i YSC3.

6. ZAHVALA

Zahvaljujemo se Zagrebačkoj zvjezdarnici na posudbi teleskopa, a posebice se zahvaljujemo Damiru Hržini na svim savjetima i znanju koje nam je prenio te iznimnom strpljenju.

7. LITERATURA

- https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_spectrometer
- Chown M., Sunčev sustav, Školska knjiga, 2012.
- Sunce (Wikipedia), <https://hr.wikipedia.org/wiki/Sunce>
- https://hr.wikipedia.org/wiki/Planckov_zakon
- <http://www.bealecorner.org/best/measure/cf-spectrum/>
- V. Vujnović: Astronomija 2, Školska knjiga, 2010.

Popis slika s izvorima:

Slika 1 - Sunce, izvor Wikipedia

Slika 2 - Spektroskop, izvor Wikipedia

Slika 3 - Prva verzija spektroskopa, vlastita fotografija

Slika 4 - Emisijski spektar, vlastita fotografija

Slika 5 - Kontinuirani spektar, vlastita fotografija

Slika 6 - Druga verzija spektroskopa, vlastita fotografija

Slika 7 - Emisijski spektar, vlastita fotografija

Slika 8 - Kontinuirani spektar, vlastita fotografija

Slika 9 - Apsorpcijski spektar Sunca, vlastita fotografija