

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za *matematiko in fiziko*



UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA MATEMATIKO IN FIZIKO
ODDELEK ZA FIZIKO

$H\alpha$ absorpcijska črta v zvezdah

Projekt v sklopu predmeta
Astronomija I

Študentje:
Ruben Lasan
Bor Rutar
Aljaž Perovnik

Predavatelj: Prof. dr. Tomaž Zwitter
Asistent: dr. Dunja Fabjan
Demonstrator: dipl. inž. fiz. Bojan Dintinjana

AKADEMSKO LETO 2021/2022

1 Povzetek

Radi bi poiskali funkcijsko odvisnost med temperaturo zvezd in sevanjem $H\alpha$. Opazovali smo odprto kopico NGC1893[1] v kateri je območje ioniziranega vodika H II. Meritve kopice smo opravili v filtrih R, G, B in $H\alpha$. Preko dobljenih magnitud smo naredili Hertzsprung-Russellov diagram, nato pa preko Ballesterove formule[2] izračunali temperaturo posamezne zvezde. Na graf magnitude $H\alpha$ -R v odvisnosti od temperature smo naredili linearno regresijo prvega reda.

Preko te enačbe lahko direktno izračunamo temperaturo zvezde v kopici. Enačba velja najboljše za zvezde iz spektralni razredov od M do A, oziroma za temperature okoli 3000K do 8000K z relativno nizko magnitudo v $H\alpha$ filtru. Po primerjavi izračunanih vrednosti z vrednostmi iz kataloga GAIA smo za večino zvezd ugotovili odstopanja izven izračunane napake. V nekaterih primerih ta doseže vrednost tudi do 50% odstopanje.

2 Uvod

2.1 Spekter vodikovega atoma

V Bohrovem modelu atoma elektroni krožijo okoli jedra na diskretnih orbitah z določenimi energetske nivoji. Vodikove spektralne črte v vidnem spektru svetlobe nastanejo pri prehodu elektrona med določeno notranjo tirnico in zunanji tirnicami. Spektralna črta, ki nastane zaradi prehoda elektrona iz tretje na drugo tirnico, se imenuje $H\alpha$ spektralna črta.

Rydbergova formula, ki služi za izračun energetske nivojev v Bohrovem modelu je:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (1)$$

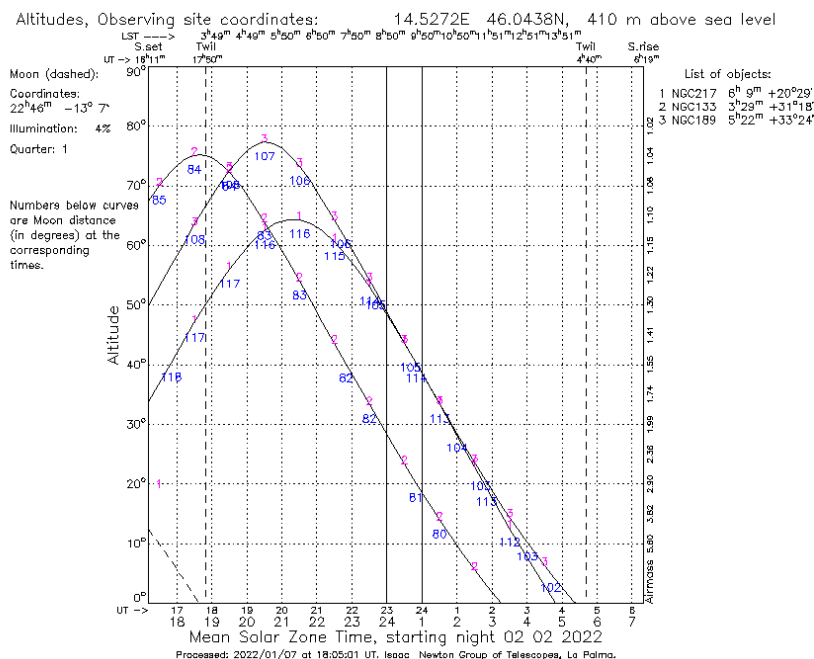
kjer je n_1 končni energetski nivo, n_2 prvotni energetski nivo in R je Rydbergova konstanta [3]. Za $n_1 = 2$ in $n_2 = 3$ lahko preko enačbe (1) izračunamo, da je valovna dolžina, ki jo odda ioniziran vodikov atom H II, enaka $\lambda = 656,46$ nm v vakuumu.

2.2 Naloga

Cilj našega projekta je ugotoviti povezavo med absorpcijo $H\alpha$ v spektru zvezde in njeno temperaturo. Izbrali smo mlado odprto kopico NGC1893 v kateri je oblak ioniziranega plina H II. Kopico smo opazovali s filtri $H\alpha$, B, G in R. S tem smo direktno izmerili magnitude posameznih zvezd in magnitudo sevanja $H\alpha$. Z izmerjenimi magnitudami napravimo Hertzsprung-Russellov (HR) diagram. Nato izračunamo posamezne temperature zvezd in na pridobljenih podatkih opravimo linearno regresijo. Ta nam poda zvezo med magnitudo in temperaturo.

3 Opazovanje

Opazovanje smo opravili v torek 1. februarja 2022 na daljavo s pomočjo programske opreme Zoom in VNCViewer, s katerim smo od doma upravljali računalnik in teleskop na astronomskem observatoriju Golovec (geografska širina: $46,04385^\circ$ S, geografska dolžina: $14,527706^\circ$ V). Luna je bila v mlaju in ves čas pod obzorjem. Vreme je bilo jasno, z občasnimi prehodi oblakov. Oprema, ki smo jo uporabljali med opazovanjem je bil teleskop Skywatcher 25 cm f/4.9 Newtonovega tipa, SBIG ST8300M CCD detektor, ter filtri R, G, B, in $H\alpha$.



Slika 1: Graf vidljivosti NGC 1893 čez noč dne 2.2.2022 z astronomskega observatorija Golovec. Na grafu sta z vertikalno črtkano črto označena sončni zahod in sončni vzhod, v levem spodnjem kotu pa je s črtkano črto označena vidljivost Lune na nebu.

Iz grafa vidljivosti 1 smo razbrali optimalen čas opazovanja, zato smo z opazovanjem pričeli ob 19.00. Najprej smo se s programom VNC Viewer povezali z delovnim računalnikom, ter prižgali vso potrebno programsko opremo za opazovanje. Poskusili smo usmeriti teleskop na zvezde β Aur, α Aur in δ Aur, ampak jih v vidnem polju nismo videli. Zato smo z uporabo različnih programov pravilno usmerili teleskop. Po odpravljeni težavi smo s programom CCDOPS pričeli z opazovanjem objekta NGC 1893. Najprej smo posneli 3 slike v filtrih R, G, B z ekspozicijo 60s, ter še 3 slike v filtru $H\alpha$ z ekspozicijo 300s. Po zadnjem zajetju posnetka v $H\alpha$ filtru, je teleskop prečkal meridian. Po zasuku teleskopa smo še enkrat opravili kalibracijo, nato pa z uporabo programa N.I.N.A. ponovno posneli 3 slike v filtrih R, G z ekspozicijo 60s in 3 slike v filtru $H\alpha$ z ekspozicijo 300s, ter to ponovili dvakrat. Nazadnje smo posneli še 7x10s posnetkov ravnega polja (*flat*) v R, G, B filtrih in 7x60s posnetkov ravnega polja v $H\alpha$ filtru, 10x10s, 10x60s, 7x300s posnetkov temnega toka (*dark*), ter 10 ničelnih posnetkov (*bias*).

4 Rezultati

4.1 Obdelava slik in pridobitev podatkov

Po opravljenih opazovanjih smo morali obdelati slike. Za njihovo obdelavo smo uporabili program ASTAP [4], astronomični program za obdelavo in prikaz slik. Slike je bilo potrebno med sabo poravnati, združiti in popraviti z ničelnimi posnetki (*bias*), posnetki ravnega polja (*flat*) in posnetki temnega polja (*dark*).

Za posnetke filtrov *B*, *G* in *R* pri 60 sekundni ekspoziciji smo uporabili *bias* posnetke ter *dark* posnetke z enako ekspozicijo. *Flat* posnetki so imeli enako 60 sekundno ekspozicijo, vendar so za vsak filter drugačni. Torej smo za obdelavo v filtru *B* uporabili *flat* posnetke v *B* filtru in tako dalje. Za filter $H\alpha$ pri 300 sekundni ekspoziciji smo ponovno uporabili *bias* posnetke, *dark* posnetke z enako ekspozicijo in *flat* posnetke v $H\alpha$ filtru z enako ekspozicijo.

Posnetke smo v programu najprej popravili z metodo ***Calibration and alignment only*** ter nato sešteli v končni posnetek preko metode ***Sigma clip average***.

Ker je naš glavni cilj razbrati povezavo med $H\alpha$ absorpcijo in temperaturo zvezd, smo morali za računanje pridobiti vrednosti navideznih magnitud v vseh štirih opazovanih filtrih. To smo opravili s programom IRAF. V paketu **noao** odpremo paket **apphot** v katerem z ukazom **epar daofind** poiščemo

zvezde na sliki. Ko imamo izbrane zvezde, pridobimo njihove magnitude z ukazom **epar phot**. V izhodni datoteki imamo tedaj zbrane navidezne magnitude in njihove napake. To napravimo za sliko iz vsakega filtra. Na koncu smo datoteke združili zaradi izločevanja zvezd, ki se morda niso prikazale v drugem filtru, in na koncu še pretvorili koordinate v rektascenzijo in deklinacijo.

Del združevanja datotek smo opravili v IRAF-u, zaključno delo pa s pomočjo *CDS X-Match Service*[5]. S tem programom smo združili podatke za magnitude v vseh štirih filtrih za vse zvezde.

4.2 Korekcija magnitud

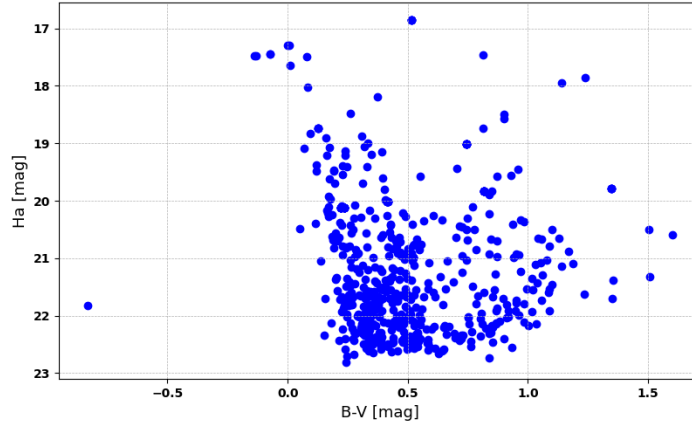
Naredili smo še korekcijo magnitud za zvezde. Vzeli smo 5 svetlih zvezd, navedenih v tabeli (1), in izračunali popravke k barvi ($B - G$) ter popravke k filtru G . Izmerjene podatke barve ($m_{Bm} - m_{Gm}$) odštejemo od standardnih magnitud, ki smo jih pridobili iz kataloga GAIA, 3.izdaja. Naredimo povprečje vseh popravkov in to odštejemo od vseh barv zvezd. Prav tako pridobimo na podoben način popravek za filter G . Popravka ki jih dobimo, sta: $err(B - G) = 0,13232 \pm 0,01$ in $err(G) = 4,79942 \pm 0,01$.

Zvezda	m_{B_0}	m_{G_0}	m_{Bm}	m_{Gm}
HD 242908	9,1111	8,9609	$14,134 \pm 0,001$	$13,866 \pm 0,001$
HD 34841	9,0960	8,9799	$14,018 \pm 0,001$	$13,842 \pm 0,001$
HD 34760	8,8105	8,8240	$13,880 \pm 0,001$	$13,879 \pm 0,001$
HD 242935A	9,4747	9,7071	$14,273 \pm 0,001$	$14,115 \pm 0,001$
HD 242926	9,4230	9,2640	$14,296 \pm 0,001$	$14,031 \pm 0,001$

Tabela 1: Tabela uporabljenih zvezd za korekcijo magnitud.

4.3 Hertzsprung-Russellov diagram

Iz obdelanih podatkov lahko sedaj naredimo Hertzsprung-Russellov diagram za opazovan objekt za $H\alpha$ magnitudo v odvisnosti od barvnega indeksa $B - G$.



Slika 2: Hertzsprung-Russellov diagram odprte kopice NGC 1893, ki prikazuje odvisnost magnitude $H\alpha$ in magnitude B-G.

V našem HR-diagramu na sliki 2 vidimo, da ni razvidne kakšne veje, ki je značilna za takšen diagram. Prav tako ne vidimo prehoda zvezd v rdeče orjakinje in iz tega lahko sklepamo, da je naša opazovana kopica relativno mlada, ter se s pomočjo našega HR-diagrama težko točno določi starost kopice.

4.4 Relacija $H\alpha$ - Temperatura

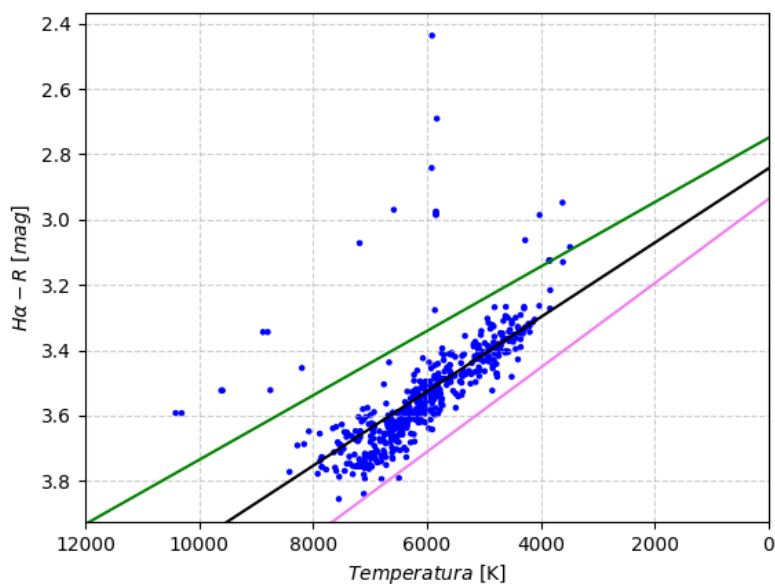
Ker smo pri opazovanju merili magnitude, smo do temperature prišli preko razlike magnitud v dveh različnih filterih oziroma barve. Uporabili smo barvo $B - G$.

Temperature zvezd smo izračunali z uporabo Ballesterove formule[2], ki upošteva približek za sevanje črnega telesa:

$$T = 4600 \text{ K} \left(\frac{1}{0,92 (B - G) + 1,7} + \frac{1}{0,92 (B - G) + 0,62} \right) \quad (2)$$

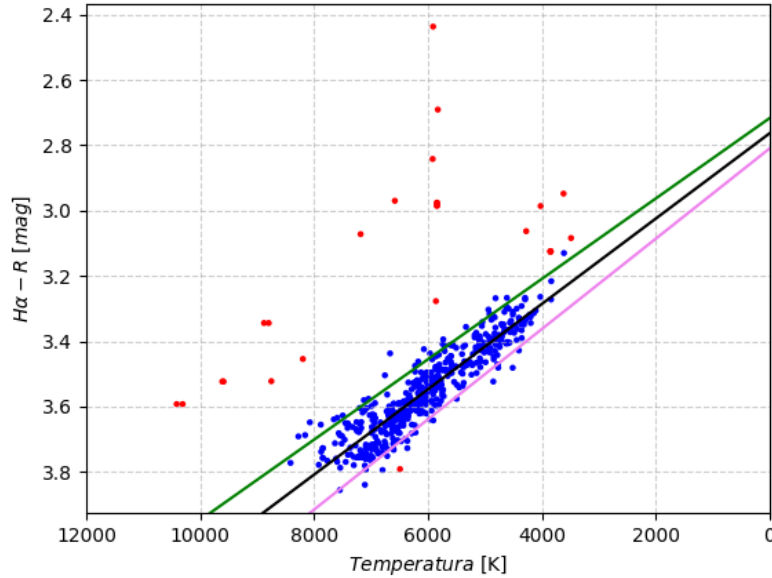
Z večanjem indeksa se prav tako večja spektralna absorpcijska črta v ožjem $H\alpha$ filtru, torej se manjša magnituda tem filtru. Obratno se magnituda povečuje, če se indeks manjša.

Na sliki 3 smo narisali graf magnitude $H\alpha - R$ v odvisnosti od temperature. Magnituda narašča po y-osi navzdol, temperatura pa po x-osi v levo smer. Opazimo lahko očitno linearno odvisnost količin, iz česar lahko pridobimo funkcijsko povezavo med vrednostma. Naredili smo linearno regresijo prvega reda, ki smo jo označili s črno barvo. 3-kratno odstopanje od nje smo označili z zeleno in vijolično barvo.



Slika 3: Graf $H\alpha - R$ indeksa v odvisnosti od temperature.

Vse zvezde, ki se niso nahajale v območju 3-kratnega odstopanja, smo izločili iz podatkov. Te zvezde so predstavljene z rdečo barvo. Iz presejanih podatkov smo ponovno naredili linearno regresijo prvega reda in dobili rezultat, razviden na sliki 4.



Slika 4: Graf $H\alpha - R$ indeksa v odvisnosti od temperature. Rdeče obarvane zvezde niso bile uporabljene pri iskanju funkcije, ki poveže uporabljeni indeks in temperaturo. S črno je narisana funkcija (3)

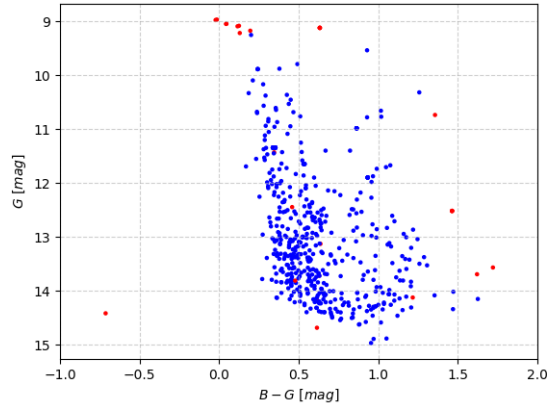
To nas pripelje do enačbe za premico:

$$(H\alpha - R)_{indeks} = 1,306 \cdot 10^{-4} T(1 \pm 0,019) + 2,763(1 \pm 0,0056) \quad (3)$$

Končna napaka indeksa je 2%. Naš model deluje predvsem za zvezde iz spektralni razredov od M do A, oziroma za temperature okoli 3000K do 8000K z relativno nizko magnitudo v $H\alpha$ filtru. Poskusili smo raziskati ali imajo zvezde, ki smo jih pri linearni regresiji izločili, skupne značilnosti, vendar so tudi na grafu slike 5 raztresene navidezno popolnoma naključno. Mogoč razlog bi bila ekstinkcija in pordečitev oddane svetlobe, ki bi premaknila pravo mesto zvezde na grafu.

Če primerjamo nekatere izračunane temperature s temperaturami iz arhiva GAIA [6] lahko opazimo velika odstopanja od pravih vrednosti. Ta narastejo tudi do 50%.

Relacija $H\alpha$ - Temperatura



Slika 5: Hertzsprung-Russell diagram odprte kopice NGC 1893, ki prikazuje odvisnost magnitude v filtru G in barvnega indeksa B-G. Rdeče obarvane zvezde tu predstavljajo podatke, ki jih nismo uporabili pri linearni regresiji prvega reda.

Objekt	Temperatura, Gaia [K]	Temperatura spodnja/zgornja meja, Gaia [K]	Temperatura, izmerjeno [K], $(1 \pm 0,019)$
TYC 2394-1602-1 6	9529	9512 \ 9546	7702
Gaia DR3 181182203248316928	5557	5543 \ 5590	5535
2MASS J05223901+3326270	12492	12403 \ 12590	6623
2MASS J05240838+3313542	4861	4855 \ 4867	5471
2MASS J05221952+3322571	5873	5862 \ 5884	6225
2MASS J05231049+3331447	12710	12670 \ 12728	7366
2MASS J05242866+3321495	4502	4453 \ 4630	4050
Cl* NGC 1893 CF 38	5699	4968 \ 5701	6217

Tabela 2: Primerjava temperatur za nekatere zvezde. Opazimo lahko znatno odstopanje.

5 Zaključki

Opazovali smo odprto kopico NGC1893 v filtrih R, G, B, $H\alpha$ in preko izmerjenih magnitud poskušali poiskati zvezo med sevanjem $H\alpha$ in temperaturo zvezde. Najprej smo z izmerjenimi magnitudami naredili Hertzsprung-Russellov diagram.

Nato preko enačbe (2) izračunamo temperaturo posameznih zvezd in napravimo graf odvisnost magnitude v $H\alpha$ -R in temperature. Z uporabe linearne regresije pa pridobimo zvezo med magnitudo in temperaturo.

V tabeli 2 primerjamo pravo temperaturo in temperaturo izračunano preko enačbe (3). Ponekod so lahko odstopanja do 50%. Koeficiente v enačbi (3), bi lahko znatno izboljšali z uporabo spektrografa. V tem primeru, bi lahko opazovali posamezen spekter zvezde in absorpcijsko črto $H\alpha$. Preko tega pa bi natančneje pridobili direktno zvezo med temperaturo zvezde in absorpcijsko črto $H\alpha$.

6 Viri

Literatura

- [1] In-The-Sky.org. The new general catalogue. <https://in-the-sky.org/data/object.php?id=NGC1893>, 2012. Zadnji dostop; 12.3.2022.
- [2] F. J. Ballesteros. New insights into black bodies. <https://arxiv.org/abs/1201.1809>. Zadnji dostop; 12.3.2022.
- [3] Wikipedia. Rydbergova konstanta. https://sl.wikipedia.org/wiki/Rydbergova_konstanta, 2021. Zadnji dostop; 12.3.2022.
- [4] ASTAP. Astrometric stacking program. <https://www.hnsky.org/astap.htm>. Zadnji dostop; 12.3.2022.
- [5] CDS. Strasbourg astronomical data center. <http://cds.unistra.fr/>. Zadnji dostop; 12.3.2022.
- [6] GAIA. Gaia archive. <https://gea.esac.esa.int/archive/>. Zadnji dostop; 12.3.2022.
- [7] Wikipedia. Spekter vodikovega atoma. https://sl.wikipedia.org/wiki/Spekter_vodikovega_atoma, 2017. Zadnji dostop; 12.3.2022.
- [8] Richard Powell. Hertzsprung-russellov diagram. <http://www.atlasoftheuniverse.com/hr.html>. Zadnji dostop; 12.3.2022.
- [9] Simbad. Simbad astronomical database - cds (strasbourg). <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>. Zadnji dostop; 12.3.2022.
- [10] Wikipedia. Stellar classification. https://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_classification/, 2022. Zadnji dostop; 12.3.2022.
- [11] Rok Vogrinčič. Fotometrija s programom iraf. https://predmeti.fmf.uni-lj.si/astronomija?action=AttachFile&do=get&target=Fotometrija-Astronomija1_2122.pdf, 2021. Zadnji dostop; 12.3.2022.
- [12] Miriam Anne West. Comparison of h-alpha and h-beta temperature indices in the hyades and coma star clusters and selected h-beta standard stars. https://scholarsarchive.byu.edu/etd/2327/?utm_source=scholarsarchive.byu.edu%2Fetd%2F2327&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages, 2010. Zadnji dostop; 12.3.2022.

- [13] Web archive. Readout noise. <https://web.archive.org/web/20080315225944/http://users.libero.it/mnico/\glossary/readnoise.htm>, 2010. Zadnji dostop; 12.3.2022.
- [14] IRAF. Iraf. <https://iraf.net/>, 2016. Zadnji dostop; 12.3.2022.