



Univerza v Ljubljani

Fakulteta za matematiko in fiziko

Projektna naloga pri predmetu Astronomska opazovanja

## Osnove fotometrije

Študentje:

*Maša Kotnik,*

*Gorazd Motnikar,*

*Martin Šteharik,*

*Ana Šubic,*

*Marko Urbanč.*

Pod mentorstvom:

*asistent mag. Rok Vogrinčič,*

*demonstrator Bojan Dintinjana,*

*prof. dr. Tomaž Zwitter.*

Študijsko leto 2019/20

## Kazalo

<b>Kazalo</b>	<b>1</b>
<b>1 Povzetek</b>	<b>2</b>
<b>2 Uvod</b>	<b>3</b>
2.1 Merjenje magnitude zvezd . . . . .	3
2.2 Delovanje CCD detektorja . . . . .	4
2.3 Saturacija . . . . .	5
<b>3 Potek opazovanja</b>	<b>6</b>
<b>4 Obdelava podatkov</b>	<b>7</b>
<b>5 Rezultati</b>	<b>10</b>
5.1 Magnitude izbranih zvezd okoli referenčne zvezde . . . . .	10
5.2 Linearnost detektorja . . . . .	12
<b>6 Dodatek k nalogi</b>	<b>16</b>
<b>7 Zaključek</b>	<b>17</b>
<b>8 Literatura</b>	<b>18</b>
<b>Slike</b>	<b>19</b>
<b>Tabele</b>	<b>19</b>

## 1 Povzetek

Namen projekta je bil, da iz slike zvezdnega polja v okolici zvezde z znano magnitudo s primerjavo svetlobnih tokov izmerimo magnitudo petih zvezd ter da iz merjenja svetlosti v središču flatov z različnimi ekspozicijskimi časi preverimo linearnost CCD detektorja. Zaradi epidemije COVID-19 smo opazovanje izvedli na daljavo s programom VNC Viewer.

Slikali smo zvezdno polje v okolici Soncu podobne zvezde HD 143436 (TYC 366-451-1). Na zvezdnem polju smo pomerili magnitudo petih zvezd in jih primerjali z njihovimi vrednostmi iz kataloga Tycho 2 [1, 2]. Linearnost CCD detektorja smo preverili tako, da smo narisali graf povprečne svetlosti središča slike v odvisnosti od ekspozicijskega časa. Kot rezultat naloge smo dobili navidezne magnitudo petih zvezd, ki so se z izjemo ene na 2% natančno ujemale z magnitudami v katalogu, graf za preverjanje linearosti CCD pa je res pokazal linearno odvisnost povprečne svetlosti od ekspozicijskega časa, vse dokler se nismo pri 12. sekundi približali območju saturacije.

## 2 Uvod

Cilj projekta je bil posneti zvezdno polje okoli zvezde z znano magnitudo in s primerjavo gostote svetlobnih tokov z nekaj zvezdami na zvezdnem polju izračunati njihovo navidezno magnitudo.

### 2.1 Merjenje magnitude zvezd

Zvezde in drugi astronomski objekti so zelo različno oddaljeni od Zemlje, hkrati pa objekti na nebu nimajo enakega izseva. Ker je razpon možnih svetlosti zelo velik, ga merimo v logaritmični skali.

Eden prvih opazovalcev je bil starogrški astronom Hiparh, ki je zvezde po njihovi svetlosti razdelil v šest razredov. Zvezde v šestem razredu so ravno na meji vidljivosti, zvezde v prvem razredu pa najsvetlješe.

V 19. stoletju so pri poskusu z detektorjem svetlobe, ki je bil tako občutljiv kot človeško oko, opazili, da je vsak naslednji razred za faktor 2,5 težje zaznaven od prejšnjega. S tem so definirali pojem magnitude. Leta 1856 je Norman Robert Pogson dokončno definiral sistem, in sicer je obveljalo, da so zvezde z magnitudo 1 za faktor 100 svetlejša od zvezd z magnitudo 6 (zadnje, ki jih še vidimo s prostim očesom). Razlika petih magnitud je torej enaka faktorju 100 pri razmerju svetlobnih tokov. Tega dogovora se držimo še danes. Izhodišče za magnitude (vrednost magnitude 0) je zvezda s temperaturo 10 000 K, ki ima v vseh barvnih filtrih enako magnitudo.

Izračunamo lahko torej, da je zvezda z magnitudo  $m$  okoli 2,512-krat svetlejša od zvezde z magnitudo  $m + 1$ , saj je to peti koren števila 100. Ker za naše opazovanje ni bilo pomembno, kako svetla je zvezda v absolutnem merilu, ampak samo, kako svetla je videti, smo merili navidezne magnitude. Razmerje gostot svetlobnih tokov z razliko navidezni magnitud povežemo z enačbo (1), kjer faktor 2,5 poskrbi, da spoštujemo zgodovinski dogovor [3].

Velja:  $\log 100 = 2$ ,  $\log 100 \cdot 2,5 = 5$ .

$$m_1 - m_2 = -2.5 \cdot \log_{10} \left( \frac{j_1}{j_2} \right) \quad (1)$$

Pri merjenju razmerja gostot svetlobnih tokov moramo biti pozorni tudi na svetlo ozadje, ki lahko zmoti meritev. Zato izmerimo tudi svetlost ozadja v okolici zvezde ter ga odštejemo od svetlosti zvezde.

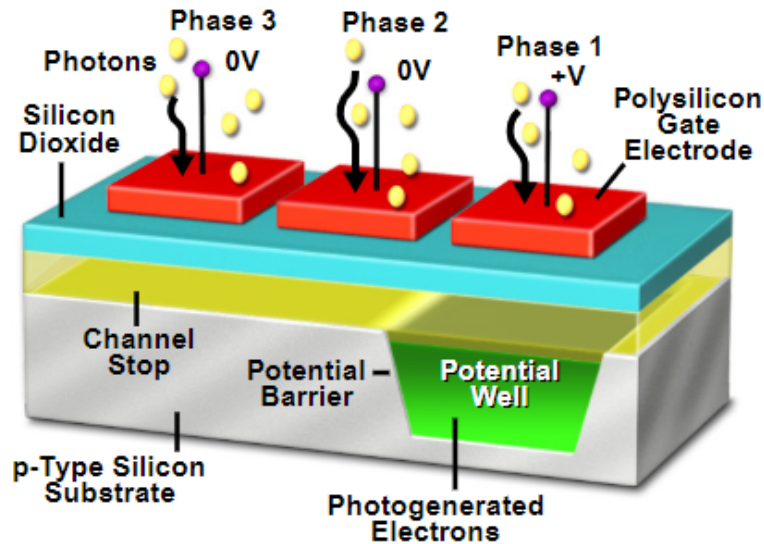
## 2.2 Delovanje CCD detektorja

Za dandanašnje meritve svetlosti in slikanje neba se pogosto uporabljajo CCD (Charged Coupled Device) detektorji. V sklopu naloge smo morali preveriti tudi linearnost CCD detektorja.

Na površini CCD detektorja imamo pravokotno matriko za svetlobo občutljivih točk. Naloga CCD je, da svetlobo prevede v elektrone oz. v električni signal, ki ga z računalnikom nato prevedemo v sliko. Energija fotona, ki pade na matriko, namreč vzbudi elektron polprevodne kovine v prevodni pas, tam pa električna napetost skupaj z nasprotno dopiranimi pregradami prepreči difuzijo. [4]

Pomemben podatek je tudi material polprevodnika, v katerem se vzbujajo elektroni. Različne polkovine ali spojine imajo namreč različno velike energijske reže in so tako različno občutljive na fotone z manj energije (npr. za infrardečo svetlobo bo zaradi manjše energijske reže bolj kot silicij uporaben indijev arzenid). [5] Od polprevodnika je odvisen tudi kvantni izkoristek, torej razmerje med številom elektronov, ki poženejo signale, in številom vpadajočih fotonov, kar je eden najpomembnejših pokazateljev kvalitete detektorja. Kamera SBIG ST-8300, ki smo jo uporabljali, ima pri valovni dolžini H-alfa 50% izkoristek, vrh, nekaj pod 60%, pa doseže pri približno 550 nm valovne dolžine in je torej primerna za slikanje v vidni svetlobi. Najbolj občutljive CCD kamere imajo lahko kvantni izkoristek tudi do 90%. Pri delu s CCD kamero je sicer pomemben podatek tudi CCD gain (dobitek), ki nam pove, koliko elektronov ustreza ADU 1, torej koliko elektronov več se mora vzbuditi v določenem pikslu, da bo ta za enoto svetlejši ali temnejši.

Termični šum, torej vzbujanje elektronov zgolj zaradi temperature in ne vpadle svetlobe, manjšamo s stalnim hlajenjem kamere na določeno temperaturo.



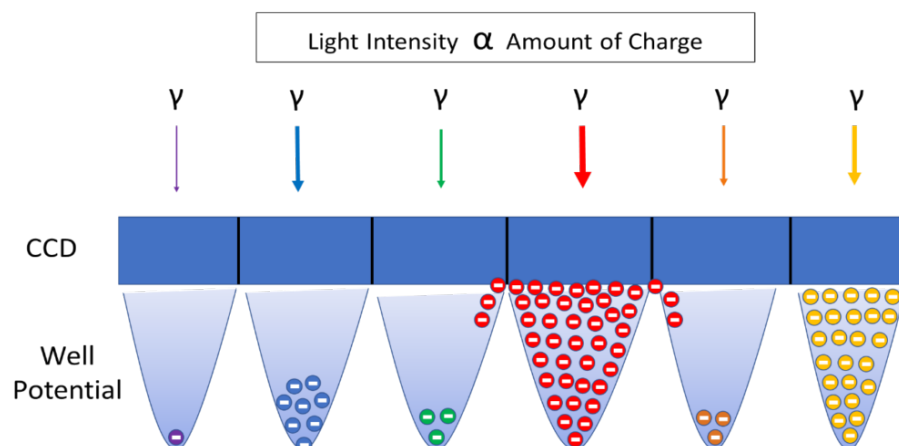
Slika 1: Shema vzbujanja elektronov pri CCD.

### 2.3 Saturacija

Vsak piksel CCD si lahko predstavljamo kot samostojen zbiralnik elektronov. Ker elektroni nosijo električni naboj, postane manj verjetno, da bomo uspešno ujeli 'elektron' v območje, ki je že prejelo veliko fotonov in jih prevedlo v elektrone.

Območje nelinearnosti na grafu je območje, kjer se povprečna svetlost nekega dela posnetka glede na ekspozicijo ne povečuje več po prej narisani premici, ampak počasneje, saj predhodno vzbujeni elektroni že zavirajo zbiranje novih. Ravno to je območje, ki se bliža saturaciji.[6] Ko ga dosežemo, se ob nadaljnji ekspoziciji signal ne ustvarja več, saj je 'potential well' zapolnjen.

Ko torej določeno območje pikselov CCD ne prikazuje več tako močne svetlosti, kot bi jo glede na intenziteto svetlobe moralo, govorimo najprej o nelinearnosti, nato pa o saturaciji oz. prežganosti. Iz tega sledi, da zveza med intenziteto svetlobe in jakostjo električnega signala za točko, ki se bliža saturaciji, ni več linearna.



Slika 2: Prikaz saturacije.

Ker je za analizo posnetkov potrebna čim bolj natančna linearnost CCD detektorja, pogosto merimo napako linearnosti, ki ji pravimo nelinearnost. To lahko izračunamo po sledeči formuli [7, 8]:

$$Nelinearnost(\%) = \frac{(MaxPozOdstopanje + MaxNegOdstopanje)}{MaxSignal} * 100 \quad (2)$$

Maksimalno pozitivno in maksimalno negativno odstopanje lahko določimo s trendno črto na območju linearnosti kot na sliki 10.

CCD lahko zazna zelo velik razpon svetlosti, kar nam omogoča, da lahko na nebu hkrati opazujemo svetle in temne objekte. Za naše meritve je bilo pomembno tudi dejstvo, da smo uporabljali 16-bitno kamero, s katero lahko bistveno natančneje razločimo svetlosti, saj lahko 16-bitna kamera razloči  $2^{16} - 1$  ADU, 8-bitna pa le  $2^8 - 1$ , kar bi znatno vplivalo na natančnost naših rezultatov. V našem primeru je največja možna vrednost signala 65 535 ADU.

### 3 Potek opazovanja

Opazovanje je potekalo v noči na 27. maj 2020 med 22.00 in 00.50 in sicer preko videokonference na Observatoriju Golovec. Temperatura je bila 13 °C in relativna vlažnost 57 %. Nebo je bilo na začetku opazovanja le delno oblačno, a se je vreme sčasoma slabšalo, zato smo opazovanje predčasno prekinili. Luna je bila ves čas pod obzorjem.

Opazovali smo s teleskopom Skywatcher 25 cm z namontirano 16-bitno CCD kamero SBIG ST-8300, ki smo jo hladili na  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  pri 60 % moči hlajenja. Za dostop do računalnika, s katerim se upravlja teleskop, smo uporabljali program VNC Viewer. Uporabljali smo še programsko opremo Scope Dome LS in EQMOD za upravljanje kupole in teleskopa, Cartes du Ciel za prikaz neba ter Astro Photography Tool APT za uporabo kamere.

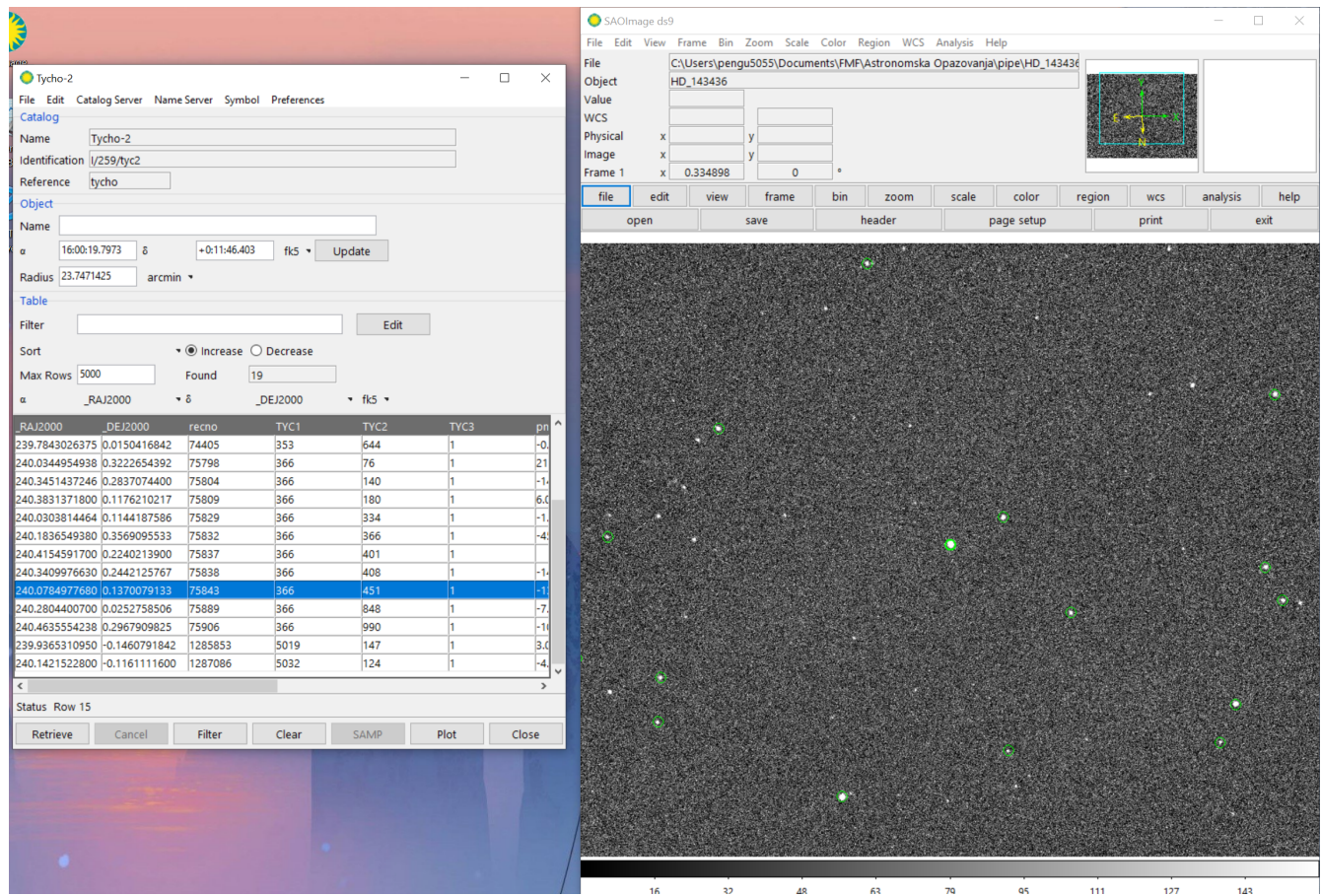
Uspeli smo posneti eno zvezdno polje v okolici HD 143436 z ekspozicijskim časom 2 sekundi. Vsi ostali posnetki zvezdnega polja so bili neuspešni zaradi prežganosti zvezd na posnetku, slabega vremena ali prevelike magnitude izbranih zvezd. Poleg tega smo posneli kalibracijske slike dark, bias in flat ter serijo slik z različnimi ekspozicijskimi časi za preizkus linearnosti CCD kamere.

#### **4 Obdelava podatkov**

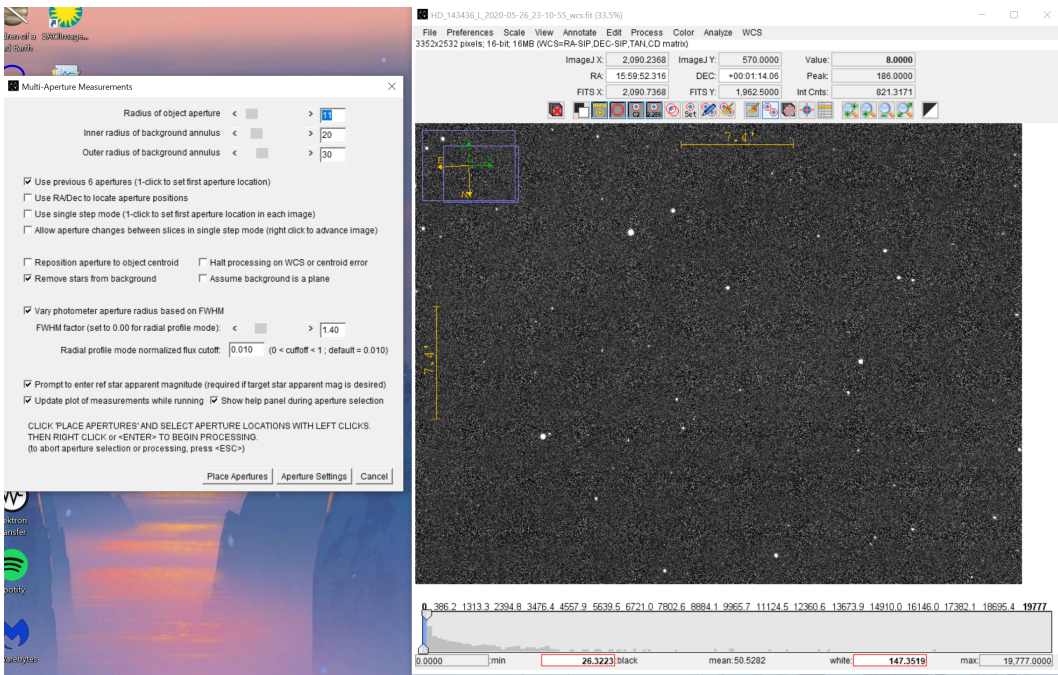
Pri posnetkih zvezdnega polja okoli HD 143436 (TYC 366-451-1) nam je Bojan Dintinjana (dipl. inž. fiz.) pomagal narediti plate solve in master kalibracijske slike. V programu SAOImage DS9 smo iz katalogov SIMBAD in Tycho 2 izbrali 5 zvezd, za katere smo želeli izmeriti navidezno magnitudo.

Z orodjem Multi-Aperture Photometry v programu AstroImageJ smo po postopku, opisanem v virih [9, 10], izmerili razmerja svetlobnega toka med našo primerjalno zvezdo in izbranimi zvezdami. Uporaba tega orodja je praktična, ker že upošteva svetlost ozadja okoli zvezde. Za nastavitve smo uporabili priporočene nastavitve iz virov. Rezultate nam program vrne kot tabelo meritev (slika 6). Linearnost CCD smo preverili z merjenjem povprečne vrednosti na istem mestu okoli sredine flatov ter tudi v nesrediščni legi. Za oba primera smo izračunali nelinearnost.

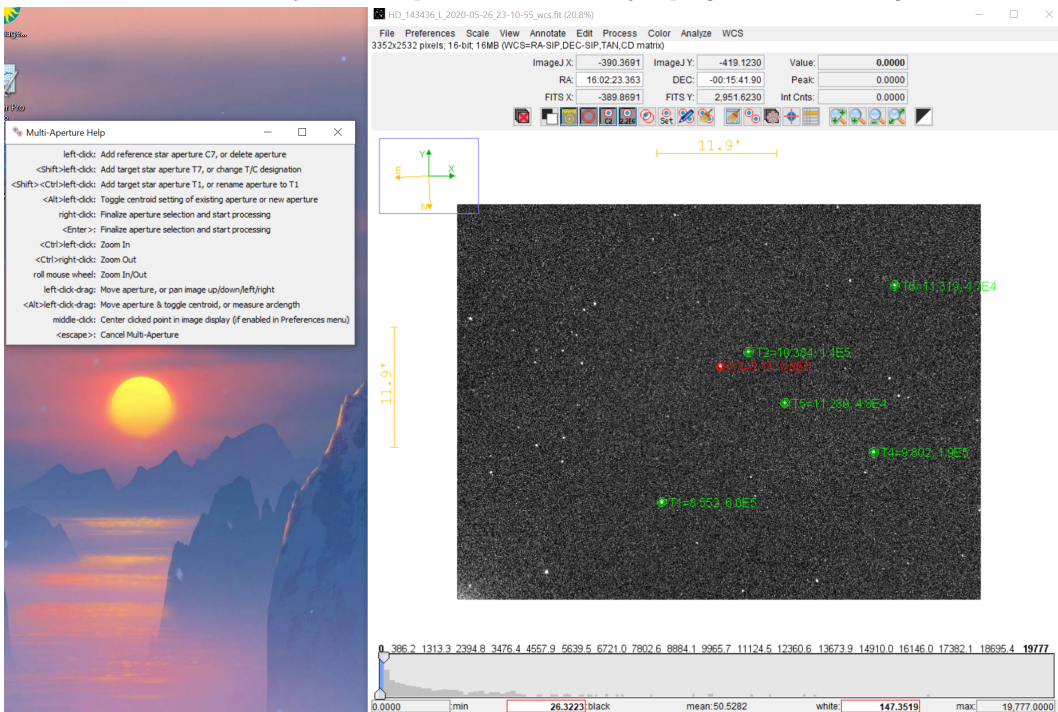




Slika 3: Iskanje zvezd po Tycho 2 katalogu v programu SAOImage DS9



Slika 4: Orodje Multi-Aperture Photometry v programu AstroImageJ



Slika 5: Postavljene Aperture-i

Label	slice	Saturated	J.D.-2400000	JD_UTC	JD_SOBS	HJD_UTC
1 HD_143436_L_2020-05-26_23-10-55_wcs.fits	0.000000	0.000000	58996.382477	2458996.382477	2458996.382465	2458996.3879

Slika 6: Tabela meritev

## 5 Rezultati

Izmerjene magnitude zvezd in natančnost rezultata glede na vrednost iz kataloga Tycho 2 smo predstavili kot tabelo, preizkus linearnosti CCD pa kot graf povprečne svetlosti v odvisnosti od ekspozicijskega časa.

### 5.1 Magnitude izbranih zvezd okoli referenčne zvezde

Zvezda (slika)	T1	T2	C3	T4	T5	T6
Ime (TYC)	366-366-1	366-334-1	366-451-1	353-512-1	353-449-1	353-644-1
$j_1/j_2$	0,665	0,123	0,000	0,209	0,054	0,052
$\Delta j_1/j_2$	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Navidezna mag.	8,553	10,384	8,111	9,811	11,292	11,328
Napaka mag.	0,002	0,004	0,001	0,003	0,006	0,006
Tycho 2 mag.	8,575	10,502	8,111	10,425	11,447	11,585
Natančnost	0,997	0,989	1,000	0,941	0,987	0,979

Tabela 1: Tabela magnitud v primerjavi z referenčno C3.

V prvi vrstici tabele 1 so navedene zvezde, pri čemer je C3 primerjalna zvezda, prek katere bomo računali magnitudo, v drugi vrstici je navedeno ime vsake zvezde v katalogu Tycho 2, v tretji vrstici pa so izmerjena ter s programom izračunana razmerja svetlobnih tokov preučevanih zvezd glede na primerjalno zvezdo na posnetku, ki smo ga naredili s CCD kamero, v četrti vrstici pa je absolutna napaka razmerja svetlobnih tokov.

V peti vrstici tabele so poračunane navidezne magnitude zvezd, njihove absolutne napake pa so navedene v šesti.

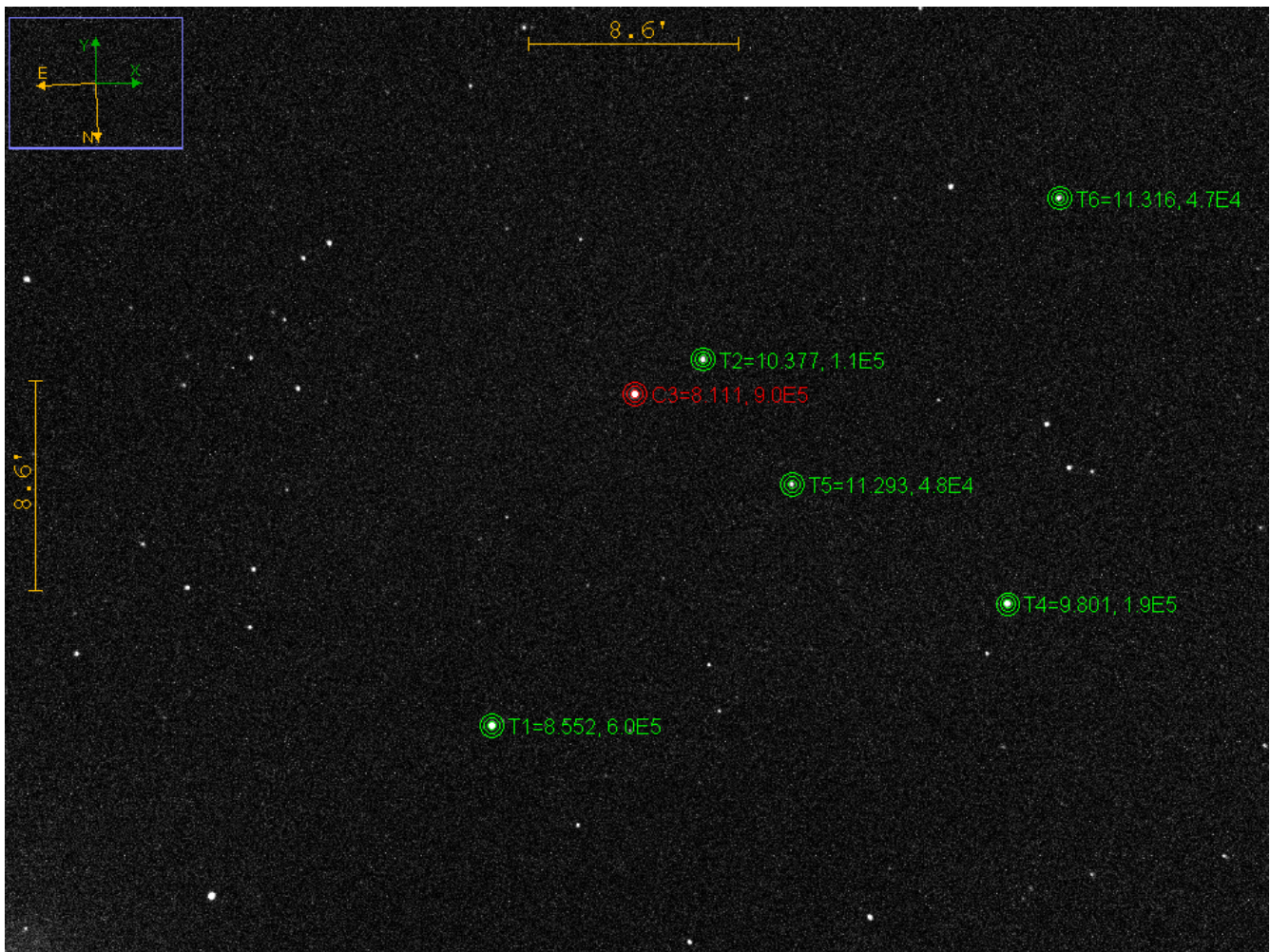
Profesionalno izmerjene magnitude iz kataloga so navedene v sedmi vrstici.

V zadnji vrsti preverjamo natančnost (relativno ujemanje) naših rezultatov z vrednostmi v katalogu.

Dobljeni rezultati so:

TYC 366-366-1:	(8,553 + / - 0,002) mag.
TYC 366-334-1:	(10,384 + / - 0,004) mag.
TYC 353-512-1:	(9,811 + / - 0,003) mag.
TYC 353-449-1:	(11,292 + / - 0,006) mag.
TYC 353-644-1:	(11,328 + / - 0,006) mag.

Pri zvezdah TYC 366-366-1 (T1), TYC 366-334-1 (T2), TYC 353-449-1 (T4) in TYC 353-644-1 (T6) smo precej natančno izmerili navidezne magnitude glede na tiste, ki so izmerjene v Tycho 2 katalogu, rezultati so vidni zgoraj ter v tabeli 1, pri zvezdi TYC 353-512-1 (T5) pa imamo nekoliko večje odstopanje. Sumimo, da bi lahko bilo območje okrog zvezde T5 na nebu bolj oblačno, saj tudi navidezne magnitude ostalih zvezd v tem območju opazno odstopajo od vrednosti v katalogu. V okolici zvezde T5 je težavno izmeriti še kakšno zvezdo iz kataloga, ker jih zelo blizu na fotografiji ni, dlje od zvezde T5 pa je oblačnost lahko že drugačna. Z več posnetki bi lahko bolj natančno izmerili tudi svetlosti zvezd, saj bi se čez čas njihova svetlost izpovprečila. Celotno polje je vidno na sliki 7.



Slika 7: Zvezdno polje z izbranimi zvezdami.

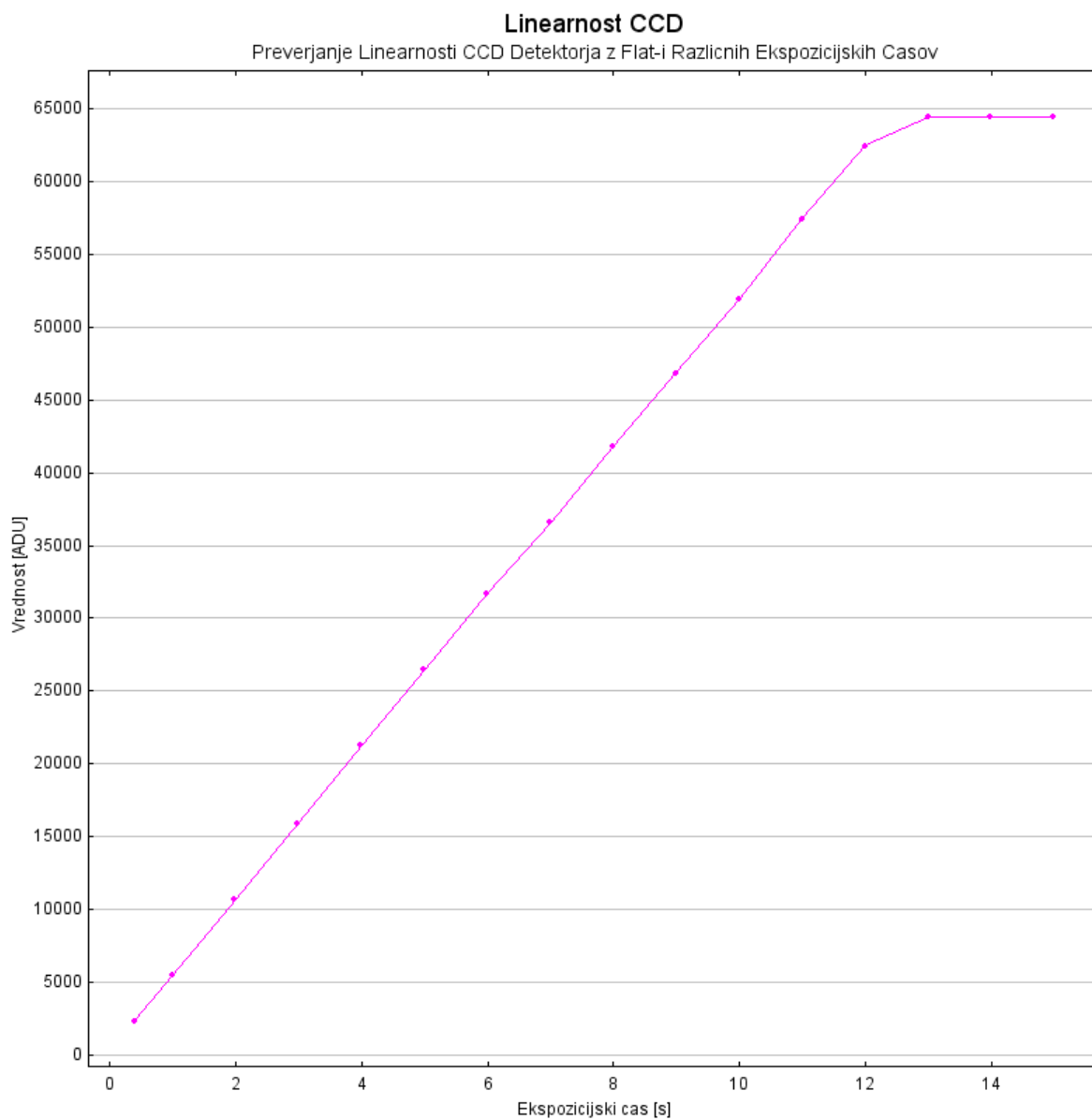
## 5.2 Linearnost detektorja

Prvi preizkus linearnosti CCD detektorja smo naredili s spremljanjem točke na sredini flata. Pri flatih oz. posnetkih ravnega polja smo uporabljali luč v temenu kupole, tj. LED sijalko temperature 5 700K. Kupolo smo zaprli ter slikali steno kupole, osvetljeno s to svetilko.

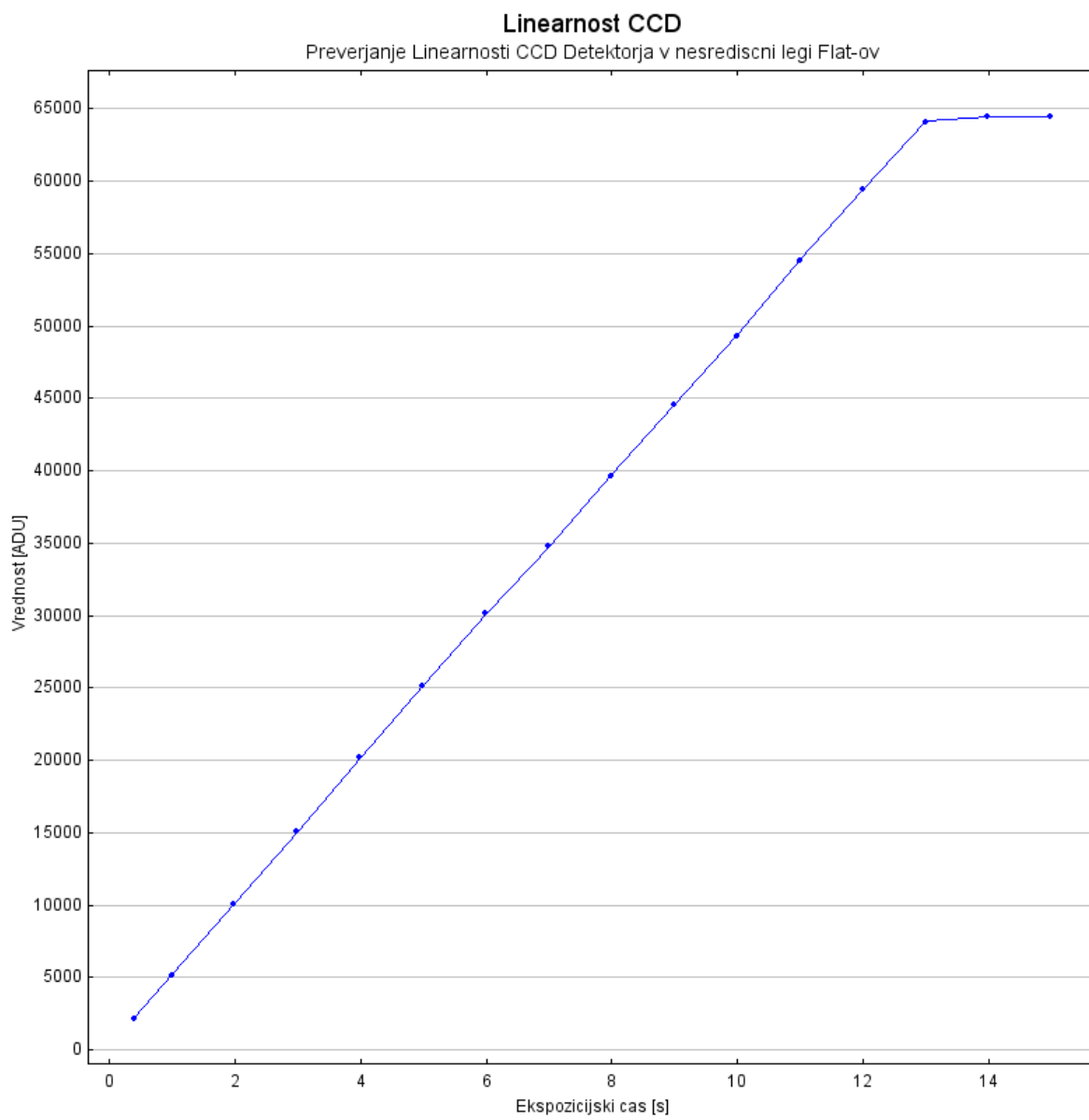
Da ne bi prišlo do prekomerne osvetljenosti pri posnetkih ravnega polja, smo morali paziti tudi na ekspozicijski čas pri fotografiranju. Na izbiro ekspozicijskega časa vplivata vrsta in jakost luči. Pri močnejši luči je treba ekspozicijski čas skrajšati. Vpliva tudi valovna dolžina oddane svetlobe zaradi spektralnega odziva CCD kamere, ki omogoča preboj fotonov le na določenem območju valovne dolžine fotona. Pri kameri SBIG ST-8300, ki smo jo uporabljali, je območje možnih valovnih dolžin med 300 nm in 1 100 nm, z vrhuncem pri 550 nm. [11] Slika 8 prikazuje linearnost CCD detektorja. Res dobimo linearno odvisnost, dokler ne pridemo najprej do območja nelinearnosti pri približno 12 sekundah ekspozicijskega časa, in nato do saturacije pri približno 13 sekundah.

Potem smo se odločili, da preizkus ponovimo še na točki izven sredine, vendar še ne čisto na robu, saj se tam svetloba prikaže nekoliko popačeno. Tudi za nesredinsko točko smo za rezultat dobili zelo podoben graf (slika 9), na katerem prav tako opazimo območji nelinearnosti in saturacije. Pri obeh analizah ni ozadja, saj ga program avtomatično odšteje.

Nelinearnost izračunamo po enačbi 2. Maksimalno odstopanje smo določili s trendno črto na območju linearnosti na slikah 8 in 9, vidno na sliki 10, največji možni signal pa predstavlja število 65535 (ADU), ko intenziteta svetlobe ne vpliva več na CCD detektor. Tako dobimo dve vrednosti nelinearnosti, in sicer 0,79 % na sredini flata (slika 10a) in 0,76 % zunaj sredine flata (slika 10b). [11] Nelinearnost CCD kamere SBIG ST-8300, ki smo jo uporabljali, naj bi bila v okviru 1 %, torej se z našimi meritvami ujema.

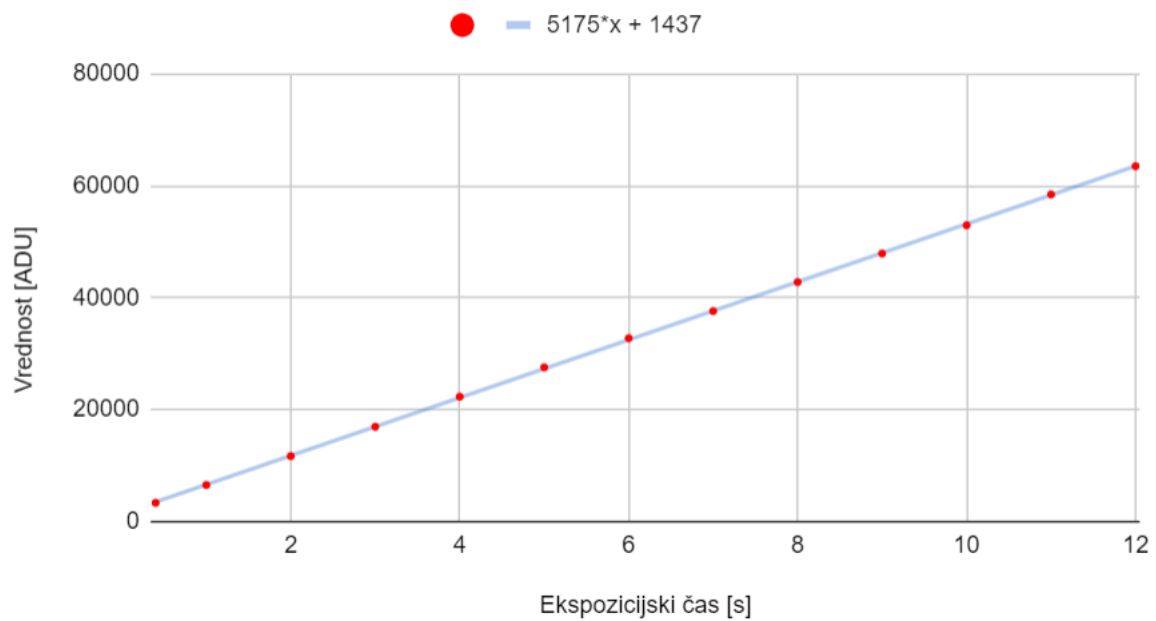


*Slika 8: Preverjanje linearnosti CCD detektorja na sredini flata.*



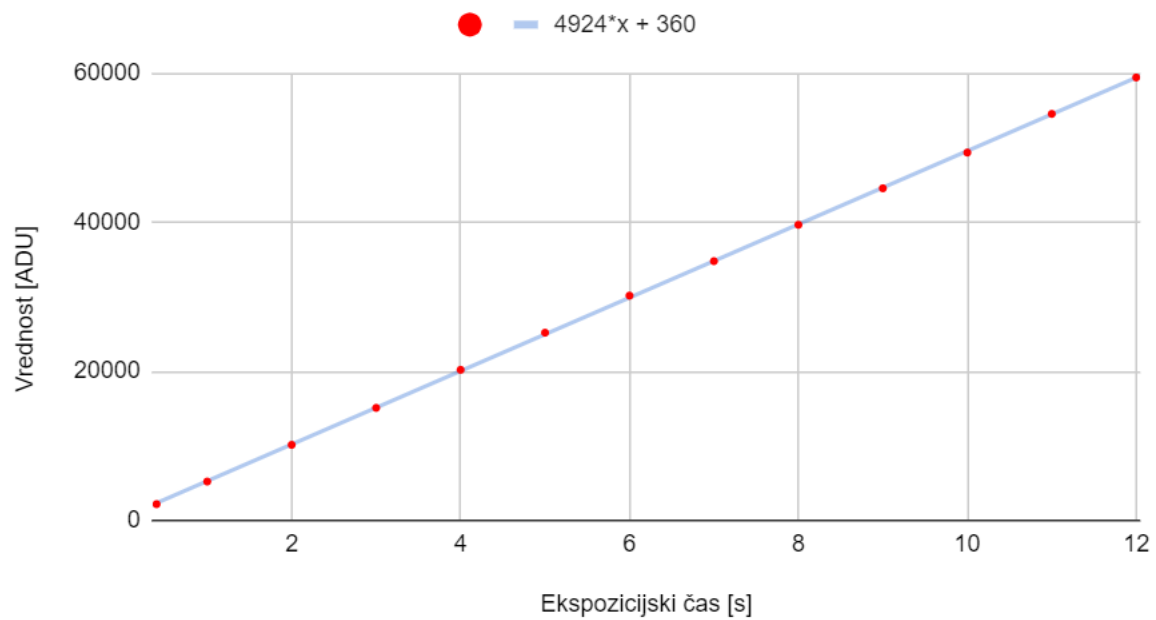
*Slika 9: Preverjanje linearnosti CCD detektorja izven sredine flata.*

## Središčna lega



(a) Fit za sliko 8

## Nesrediščna lega



(b) Fit za sliko 9

Slika 10: Linearni fit za grafa 8 in 9



## 6 Dodatek k nalogi

Proti koncu naloge smo se vprašali tudi, na kakšne načine in s katerimi dodatnimi dejavniki bi še lahko izvedli podobne meritve.

Na meritev magnitude zvezd na primer vplivajo bandi oz. filtri, ki jih uporabljamo pri fotografiranju. Poznamo več različnih filtrov, ki jih glede na svetlobo, ki jo prepuščajo, poimenujemo s črkami. V tabeli 2 je navedenih nekaj pogosto uporabljenih ter valovna dolžina svetlobe, ki je prepustijo največ.

Ime	Barva	Valovna dolžina [nm]
U	ultravijolična	365
B	modra	445
V	zelena	551
R	rdeča	658
I	infrardeča	806

*Tabela 2: Nekaj osnovnih filtrov*

Naše fotografije so posnete brez filtra, rezultati pa bi se ob uporabi le-teh nekoliko spremenili. Če bi na primer uporabili filter R, bi CCD kamera zaznala samo rdečo svetlobo, zato bi bile zvezde, ki oddajo več svetlobe valovnih dolžin okrog 600 ali 700 nm kot ostale, svetlejšje. Razmerja magnitud bi se torej spreminjala in iz tega bi lahko sklepali tudi, kako vroče so posamezne zvezde. Zvezde, ki oddajajo rdečo svetlobo, imajo namreč efektivno temperaturo okrog 4 000 K, zvezde, ki poleg rdeče oddajajo tudi modro svetlobo, pa tudi 10-krat toliko, med 30 000 in 42 000 K.

Numerično barve zvezd opišemo z barvnim indeksom. Kolikor manjši je indeks, bolj modra in bolj vroča je zvezda.

Barvni indeks dobimo kot razliko dveh magnitud iste zvezde, ki smo ju izmerili z različnima filtroma, na primer z V (visual, zeleni filter) ter B (blue, modri filter), pri čemer magnitudo pri valovni dolžini z nižjo energijo vedno odštejemo od tiste z višjo energijo. Tako npr. dobimo barvni indeks  $U-B$  (ultravijolični in modri filter) ali pa  $B-V$  (modri in zeleni filter).

Od filtrov in izračunanega barvnega indeksa  $B-V$  je le še en korak do dobljene temperature zvezde. [12] Ena od formul, ki jih lahko uporabimo za dovolj dober

približek, je Ballesterosova formula (3):

$$T = 4600K \left( \frac{1}{0,92(B - V) + 1,7} + \frac{1}{0,92(B - V) + 0,62} \right) \quad (3)$$

## 7 Zaključek

Čeprav smo imeli pri opazovanju težave s tresenjem teleskopa, ki nam je razmazal nekaj slik, smo vseeno lahko dokaj uspešno izmerili relativne gostote svetlobnih tokov nekaterih zvezd. Naše izmerjene vrednosti se precej dobro ujemajo s tistimi v katalogu Tycho 2. Glavni razlog za odstopanje je verjetno oblačnost, saj je bil vsaj del zvezdnega polja do neke mere prekrit z oblaki, kasneje pa smo opazovanje zaradi neugodnega vremena v celoti prekinili. K napaki pa je verjetno prispevala tudi rahla razmazanost nekaterih zvezd, pri katerih je bilo težje izmeriti svetlost ozadja.

Iz grafov linearnosti CCD (slika 8 in 9) se jasno vidi, da je bil naš CCD detektor res linearen vse dokler slika ni postala saturirana. Manjše napake so se tu lahko pojavile zaradi nepravilnosti flatov. Svetlost na flatih naj se v idealnem primeru ne bi spreminjala. V našem primeru je sredina slike bolj osvetljena kot robovi, do tega pa pride zaradi dveh motenj. Uporabljali smo točkasto svetilo, zato stena ni bila enakomerno osvetljena. Kot drugo pa pride do optičnega vinjetiranja, ki potemni robove slike v primerjavi s sredino. Do tega svetlobnega upada pride, ker zaradi optične zasnove objektiva svetloba, ki potuje pod kotom, upade.

Z našo nalogo smo ugotovili, da je merjenje magnitude zvezd s primerjavo svetlobnih tokov primerna metoda. Ugotovili smo tudi, da pri 16-bitni kameri tipa SBIG ST-8300 do saturacije pride pri povprečni svetlosti 62 500 pikslov, kar smo pri naših pogojih dosegli pri približno 12 sekundah ekspozicijskega časa.

Nalogo bi lahko nadgradili tako, da bi iste zvezde primerjali še s kakšno drugo referenčno zvezdo in nato preverili ujemanje rezultatov. K še bolj natančnim rezultatom pa bi pripomogla že ponovitev opazovanja in fotografiranje ob bolj jasnem vremenu.

## 8 Literatura

- [1] Tycho-2 home page. <http://www.astro.ku.dk/~erik/Tycho-2>. ogled 1.7.2020.
- [2] E. Høg and C. Fabricius and V.V. Makarov and et al. *The Tycho-2 Catalogue of the 2.5 million brightest stars*.
- [3] Dunham university, department of physics. basic photometry. [https://community.dur.ac.uk/physics.astrolab/photometry\\_theory.html](https://community.dur.ac.uk/physics.astrolab/photometry_theory.html). ogled 1.7.2020.
- [4] Ysc technologies - introduction to charge-coupled devices. <http://www.ysctech.com/digital-microscope-CCD-camera-info.html>. ogled 28.7.2020.
- [5] Prosojnice iz predavanj iz astronomskih opazovanj, prof. dr. tomaž zwitter. [http://predmeti.fmf.uni-lj.si/astro\\_op?action=AttachFile&do=get&target=pred08aa.pdf](http://predmeti.fmf.uni-lj.si/astro_op?action=AttachFile&do=get&target=pred08aa.pdf). ogled 28.7.2020.
- [6] Saturation - what does it mean for a vuv detector. <https://vuvanalytics.com/knowledge-base/saturation-and-vuv-detector/>. ogled 28.7.2020.
- [7] Hamamatsu, charge-coupled device (ccd) linearity. <https://hamamatsu.magnet.fsu.edu/articles/ccdlinearity.html>. ogled 31.7.2020.
- [8] Teledyne photometrics, linearity. <https://www.photometrics.com/learn/imaging-topics/linearity>. ogled 31.7.2020.
- [9] Astroimagej 2.4.1 user guide. [https://www.astro.louisville.edu/software/astroimagej/guide/AstroImageJ\\_User\\_Guide.pdf](https://www.astro.louisville.edu/software/astroimagej/guide/AstroImageJ_User_Guide.pdf). ogled 1.7.2020.
- [10] British astronomical association, 2018. a guide to astroimagej differential photometry. [https://britastro.org/sites/default/files/Tutorial\\_AIJ\\_Photometry\\_v2.06.pdf](https://britastro.org/sites/default/files/Tutorial_AIJ_Photometry_v2.06.pdf). ogled 1.7.2020.

- [11] Astroshop.eu, sbig st-8300. [astroshop.eu/astronomical-cameras/sbig-camera-stf-8300m/p,47233](https://astroshop.eu/astronomical-cameras/sbig-camera-stf-8300m/p,47233). ogled 28.7.2020.
- [12] F. J. Ballesteros. "new insights into black bodies". *EPL* 34008, 97(3), 2012.

## Slike

1	Shema vzbujanja elektronov pri CCD. . . . .	5
2	Prikaz saturacije. . . . .	6
3	Iskanje zvezd po Tycho 2 katalogu v programu SAOImage DS9 . . . .	8
4	Orodje Multi-Aperture Photometry v programu AstroImageJ . . . .	9
5	Postavljeni Aperture-i . . . . .	9
6	Tabela meritev . . . . .	9
7	Zvezdno polje z izbranimi zvezdami. . . . .	11
8	Preverjanje linearnosti CCD detektorja na sredini flata. . . . .	13
9	Preverjanje linearnosti CCD detektorja izven sredine flata. . . . .	14
10	Linearni fit za grafa 8 in 9 . . . . .	15

1

## Tabele

1	Tabela magnitud v primerjavi z referenčno C3. . . . .	10
2	Nekaj osnovnih filtrov . . . . .	16

---

<sup>1</sup>Slika 1: <https://www.microscopyu.com/digital-imaging/introduction-to-charge-coupled-devices-ccds>, Figure 3; zadnji dostop 1. avgust 2020,  
 Slika 2: <https://vuvanalytics.com/wp-content/uploads/2018/07/Figure-1-James-Blog-7.11.18-1024x491.png>; zadnji dostop 1. avgust 2020