

FOTOMETRIJA PROMJENJLJIVIH ZVIJEZDA

Privedili: Marija Krmelić i Nela Tomić
mentor: Miroslav Varat

Sažetak

Ovim radom pokušale smo pokazati da pomoću jednostavno napravljenog fotometra možemo uspješno proučavati promjenljive zvijezde, točnije htjele smo pokazati da mjerenjima izvršenim ovakvim fotometrom možemo dobiti krivulju sjaja neke zvijezde. Naravno prvo je trebalo izvršiti bažbaranje instrumenta, a zatim pokusna mjerenja koja su nam pokazala da li je instrument dovoljno točan i precizan da možemo nastaviti rad. Početna mjerenja pokazala su se uspješnim, pa smo nastavile s radom i zaista dobile krivulju sjaja koja se ne razlikuje znatno od kataloške vrijednosti.

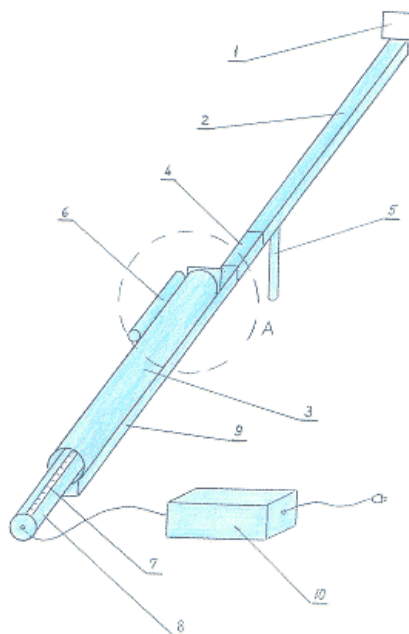
Praktični dio

Izrada instrumenta

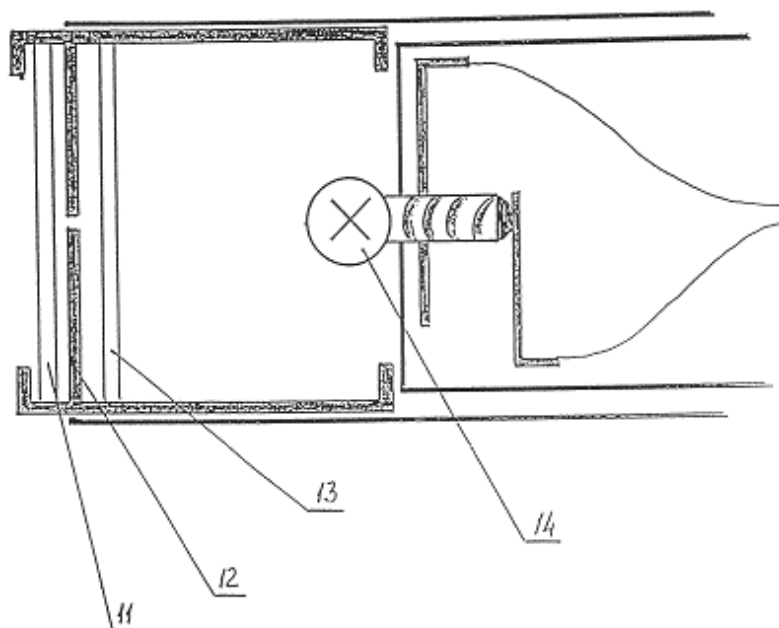
Primarni izvor svjetla je pomična baterijska žaruljica. Žaruljica obasjava zeleno staklo na kojem se nalazi prozirno sjenilo s rupicom promjera 1mm, koja prestavlja točkasi izvor svjetla; "umjetnu zvijezdu", čiji se "sjaj" uspoređuje sa "sjajem" zvijezde. Zrcalo je smješteno na fiksnoj udaljenosti od mutnog stakla stvara sliku rupice, a sjaj slike ovisi o udaljenosti od žaruljice od mutnog stakla. Ispred rupice, tj. s vanjske strane sjenila nalazi se jednostavan držač u koji se po volji mogu staviti filteri načinjeni od pause-papira. Oni nam omogućuju smanjenje sjaja "umjetne zvijezde" bez prevelikog odmicanja žaruljice od sjenila.

Da bi se izbjeglo nepoželjno i ne kontrolirano smanjenje sjaja žaruljice (zbog istrošenosti baterijskog uloška) kao izvor napajanja električne energije koristi se maleni ispravljač koji izmjeničnu struju od 220V pretvara u istosmjernu struju od 4,5V.

Detaljni tehnički podatci dani su u tablici 1.



Slika 1. Skica uređaja



Slika 2. Shematski prikaz žaruljice, neprozirnog poklopa i filtera

Tablica 1.

Svi elementi osnačeni su brojevima na slikama 1. i 2.

pozicija	NAZIV	MATERIJAL	DIMENZIJE	kom.
14	žaruljica	-	-	1
13	zeleni filter	staklo	50x2	1
12	neprozirni poklopac	plastika	50x50	1
11	filter	paus papir	20x30	3
10	ispravljač	-	220V-9V	1
9	nosač	drvo	30x20x1000	1
8	cijev	plastika	40x1000	1
7	centimetarska skala	papir	20x950	1
6	nišan	metal	30x190	1
5	držač	drvo	20x150	1
4	spojnica	metal	30x20x150	1
3	cijev	plastika	50x1000	1
2	nosač	drvo	30x20x1500	1
1	zrcalo	staklo	50x50	1

Baždarenje

Da bismo mogle mjeriti fotometrom potrebno ga je najprije baždariti. Baždarenje smo radile redovito prije svakog mjerenja (no prvo baždarenje je u biti bilo dovoljno, dok su ova ostala bila samo provjera). Odabrale smo 7 zvijezda zenitne udaljenosti do 30° . Raspon magnituda odabranih zvijezda bio je od 1,14 do 3,52 magnitude.

Budući da je sjaj "umjetne zvijezde" bio prevelik za najsjašniju odabranu zvijezdu i pri najvećoj udaljenosti žaruljice, morele smo između izvora svjetlosti (žaruljice) i zrcala postaviti filtere. Izradile smo filter s 5 paus-papira. Mjerenja smo vršile tako da smo fotometar usmjerile prema zvijezdi i postavile filter koji ima takvu propusnost da smo sjaj "umjetne zvijezde" odmicanjem i primicanjem žaruljice mogle izjednačiti sa sjajem odabrane zvijezde. Očitale smo vrijednost udaljenosti žaruljice od sjenila. Izradile smo tablicu (tablica 2.). U tablici smo zabilježile kataloške vrijednosti magnituda zvijezda (m) i vrijednost udaljenosti žaruljice od filtera (l).

Tablica 2.

zvijezda	m	l (cm)	$\log l$
Poluks	1,14	14,2	1,152288
Regul	1,25	16,4	1,214844
Dubhe	1,79	18,9	1,276462
Benetnash	1,86	19,7	1,294466
Kastor	1,98	21,2	1,326336
Denebola	2,14	23,3	1,367356
η LAVA	3,25	43,5	1,638489

Nakon izvršenih mjerenja nacrtale smo graf koji pokazuje ovisnost magnituda o udaljenosti na fotometru (graf 1.) Pošto je dobiveni graf prikazivao logaritamsku krivulju koju smo nacrtali aproksimativno, s njih u daljnjim mjerenjima ne bismo mogle precizno očitavati vrijednosti. Zato smo dobivene vrijednosti udaljenosti žaruljice morale logaritmirati i nacrtati novi graf kako bismo dobile pravac (graf 2.). Te smo podatke upisale u gore navedenu tablicu. Da bismo točno nacrtale pravac morale smo znati njegovu jednadžbu. Općenito jednadžba pravca glasi:

$$y = ax + b$$

Dakle morale smo izračunati parametre a i b . Koristile smo metodu najmanih kvadrata. Za izračunavanje potrebni su nam zbrojevi S_1 , S_2 , S_3 i S_4 .

$$S_1 = \sum xy$$

$$S_2 = \sum x^2$$

$$S_3 = \sum x$$

$$S_4 = \sum y$$

$$S = \text{zbroj}$$

x - vrijednost logaritmirane udaljenosti

y - magnituda

Vrijednosti x i y već su opisane u tablice, dok smo S_1 , S_2 , S_3 i S_4 izračunale.

Za naš filter dobikle smo sljedeće vrijednosti:

$$S_1 = 18,95$$

$$S_2 = 12,39$$

$$S_3 = 9,26$$

$$S_4 = 13,81$$

Sada smo mogle izračunati parametre a i b prema matematičkim jednakostima:

$$a = \frac{nS_1 - S_2S_4}{nS_2 - (S_3)^2} \quad b = \frac{S_4S_2 - S_1S_3}{nS_2 - (S_3)^2}$$

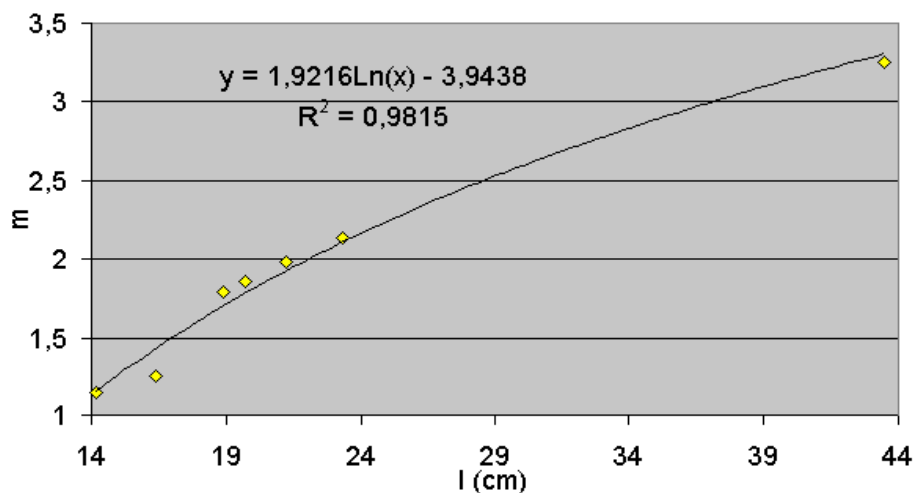
Treba napomenuti da oznaka n predstavlja broj mjerenja, a to je u našem slučaju 7. Dobile smo :

$$a = 4,6152 \quad b = -4,132$$

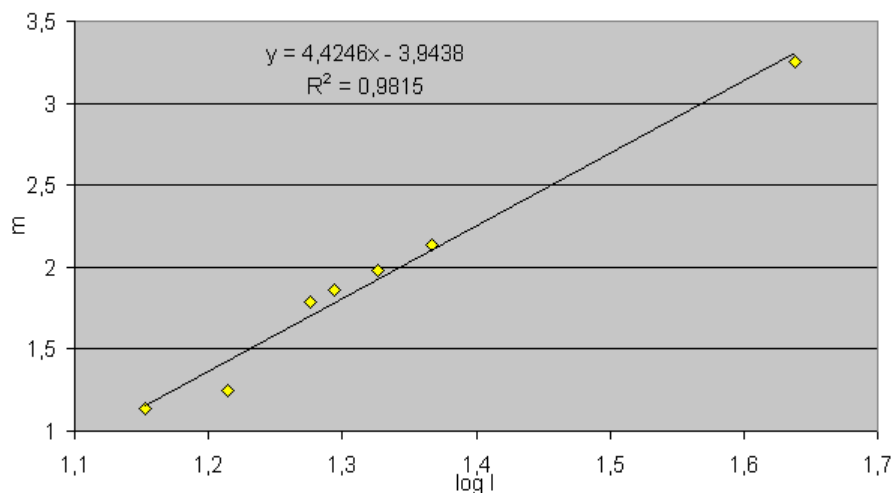
pa je jednadžba pravca sljedeća:

$$y = 4,61x - 4,13$$

Sada smo nacrtale točan pravac s kojega smo precizno mogle očitavati rezultate. Parametar b predstavlja osjetljivost filtera pa što je filter nepropusniji parametar b je nominalno veći.



Graf 1. Ovisnost magnitude o udaljenosti na fotometru



Graf 2. Ovisnost magnitude o logaritmu udaljenosti na fotometru

Početna mjerenja

Ovim mjerenjima htjele smo pokazati da je fotometar dovoljno precizan da bi s njim mogle određivati promjenu sjaja cefeida. Naravno ovdje je ulogu imalo i iskustvo tako da su zaista ona prva mjerenja bila vrlo neprecizna, ali ona kasnija pokazala su se kao vrlo dobra. Ovdje navodimo jedan od najboljih rezultata. Mjerenja su izvršena 15.12.2000. Podatke o imenu zvijezde, vremenu promatranja, izmjerenoj udaljenosti na fotometru, te kataloškoj i dobivenoj vrijednosti fotometra upisale smo u tablicu 2.

Tablica 2.

Vrijeme (UT)	Objekt	l (cm)	$\log l$	m'	m	Dm	Filter
21:00	Dubhe	19,1	1,2810334	1,7	1,79	0,09	5
21:05	Kastor	22,9	1,3598355	2,1	1,98	0,12	5
21:10	Benetnash	20,9	1,3201463	1,9	1,86	0,04	5
21:15	Megrez	43,7	1,6404814	3,4	3,31	0,09	5
21:20	Alderamin	27,5	1,4393327	2,5	2,44	0,06	5
21:25	Alphirk	43,6	1,6394865	3,4	3,23	0,17	5
21:30	ζ Cephei	45,7	1,6599162	3,5	3,35	0,15	5
21:35	Alioth	20,7	1,3159703	1,9	1,77	0,13	5
21:40	Shedir	24,5	1,3891661	2,3	2,23	0,07	5
21:45	Merak	28,2	1,4502491	2,5	2,37	0,13	5
21:50	Alhena	21,9	1,3404441	2	1,93	0,07	5
21:55	Polaris	23,1	1,363612	2,1	2,02	0,08	5

$$\overline{\Delta m} = 0,1$$

Možemo vidjeti da je dobivena pogreška mala. Sada smo mogle pristupiti određivanju promjene sjaja neke promjenljive zvijezde.

Određivanje promjene sjaja δ Cephei

Odabrale smo upravo ovu zvijezdu jer je ona svakako jedna od najpoznatijih i najpromatranijih promjenljivih zvijezda. Znači kako naše iskustvo nije veliko odabrale smo upravo poznatu zvijezdu za koju smo lako mogle pronaći kataloške vrijednosti i uspoređivati dobivene podatke, koja nema drugi period, lako ju je pronaći na nebu i relativno je sjajna. Mjerenja smo vršile tokom 1., 2., 3. i 4. mjeseca 2001 godine, koliko su nam to vremenske prilike dopuštale. Dobile smo 4 perioda promjene sjaja koja su nam bila dovoljna da nacrtamo krivulju sjaja. Podatci o izmjerenoj udaljenosti na fotometru, izmjerenoj magnitudi i kataloškim vrijednostima nalaze se u tablici 3.

** δ Cephei - je jedna od najpoznatijih promjenljivih dvojih zvijezda; pulsirajuća; najveći promjer joj je 35.4, a najmanji 31.6 Sunčevih polumjera; $r = 930$ g.s.; period oko 5.37 dana; sp. tip: F5.

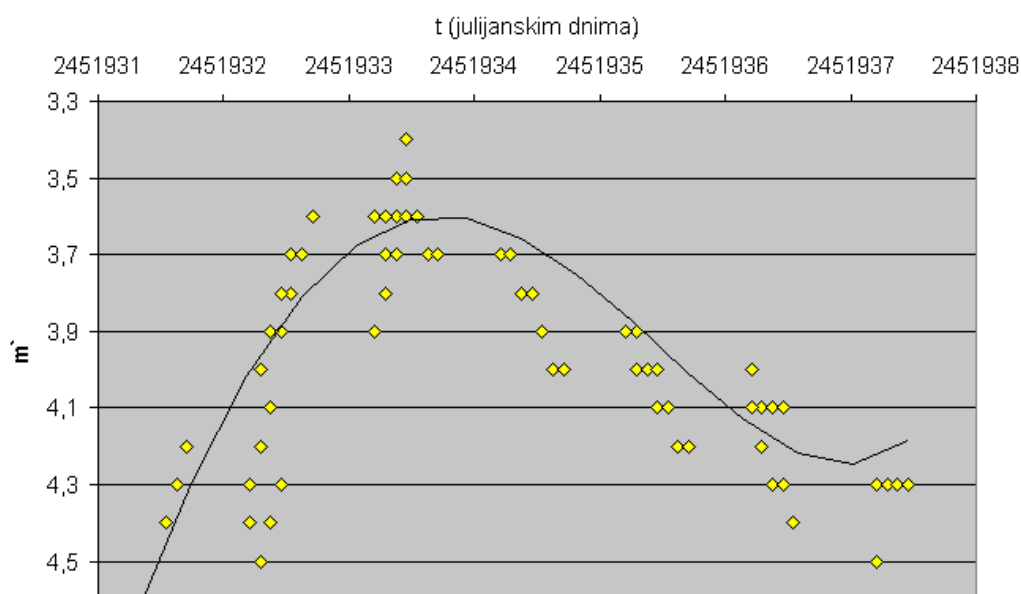
Tablica 3.

DATUM	Vrijeme (UT)	l	$\log l$	m' (izmjereno)	m (kataloški)
22.01.	19:00	58,9	1,77012	4	3,9
-	21:00	54,9	1,73957	3,9	3,8
-	23:00	52,5	1,72016	3,8	3,9
23.01.	01:00	52,4	1,71933	3,8	3,7
-	19:00	50,1	1,69984	3,7	3,6
-	21:00	47,9	1,68034	3,6	3,6
-	23:00	47,8	1,67943	3,6	3,6
24.01.	oblačno	-	-	-	-
25.01.	19:00	54,8	1,73878	3,9	4
-	21:00	58,7	1,76864	4	4
-	23:00	61,7	1,79029	4,1	4
26.01.	01:00	61,5	1,78888	4,1	4,1
-	19:00	64,6	1,81023	4,2	4,2
-	21:00	67,6	1,82995	4,3	4,2
-	23:00	67,4	1,82866	4,3	4,3
27.01.	01:00	70,8	1,85003	4,4	4,3
-	-	-	-	-	-
17.02.	19:00	70,6	1,8488	4,4	4,3
-	21:00	75,9	1,88024	4,5	4,4
-	23:00	70,7	1,84942	4,4	4,4
18.02.	01:00	67,5	1,8293	4,3	4,3
-	19:00	54,5	1,7364	3,9	3,8
-	21:00	52,3	1,7185	3,8	3,7
-	23:00	50	1,69897	3,7	3,7
19.02.	01:00	47,5	1,67669	3,6	3,6
-	oblačno	-	-	-	-
20.02.	oblačno	-	-	-	-
21.02.	19:00	58,4	1,76641	4	4
-	21:00	61,6	1,78958	4,1	4,1
-	23:00	64,9	1,81224	4,1	4,1
22.02.	01:00	64,6	1,81023	4,1	4,1

-	19:00	67,5	1,8293	4,3	4,3
-	21:00	67,7	1,83059	4,3	4,3
-	23:00	70,2	1,84634	4,3	4,3
23.02.	01:00	70,5	1,84819	4,3	4,3
-	-	-	-	-	-
27.03.	19:00	67,5	1,8293	4,3	4,2
-	21:00	64,3	1,80821	4,2	4,1
-	23:00	61,8	1,79099	4,1	4,1
28.03.	01:00	54,6	1,73719	3,9	4
-	19:00	47,4	1,67578	3,6	3,5
-	21:00	47,3	1,67486	3,6	3,5
-	23:00	44,7	1,65031	3,5	3,5
29.03.	01:00	43,7	1,64048	3,4	3,5
-	19:00	50,5	1,70329	3,7	3,7
-	21:00	50,8	1,70586	3,7	3,7
-	23:00	52,6	1,72099	3,8	3,7
30.03.	01:00	52,9	1,72346	3,8	3,8
-	19:00	54,3	1,7348	3,9	3,9
-	21:00	58,4	1,76641	4	3,9
-	23:00	58,7	1,76864	4	4
31.03.	01:00	61,1	1,78604	4,1	4
-	19:00	61,7	1,79029	4,1	4,1
-	21:00	64,3	1,80821	4,2	4,2
-	23:00	67,2	1,82737	4,3	4,2
01.04.	01:00	67,4	1,82866	4,3	4,2
-	19:00	75,8	1,87967	4,5	4,4
-	21:00	70,6	1,8488	4,4	4,3
-	23:00	67,7	1,83059	4,3	4,3
02.04.	01:00	64,9	1,81224	4,2	4,2
-	19:00	52,5	1,72016	3,8	3,7
-	21:00	50,5	1,70329	3,7	3,7
-	23:00	50,2	1,7007	3,7	3,6
03.04.	01:00	47,3	1,67486	3,6	3,6

-	19:00	45	1,65321	3,5	3,5
-	21:00	47,8	1,67943	3,6	3,6
-	23:00	50,6	1,70415	3,7	3,6
04.04.	01:00	50,9	1,70672	3,7	3,7
-	19:00	52	1,716	3,8	3,8
-	21:00	54,5	1,7364	3,9	3,9
-	23:00	58,7	1,76864	4	3,9
05.04.	01:00	59	1,77085	4	3,9
-	19:00	59,3	1,77305	4	4
-	21:00	61,2	1,78675	4,1	4,1
-	23:00	64,7	1,8109	4,2	4,1
06.04.	01:00	65	1,81291	4,2	4,1
-	oblačno	-	-	-	-
07.04.	oblačno	-	-	-	-

Ako promotrimo tablicu na prvi pogled ćemo vidjeti da razlike između dobivene vrijednosti i kataloških podataka nisu velike. Kao što smo već napomenule dobile smo 4 perioda i to prvi 22.1. (minimum je bio u 3h 23min) do 27.1. (minimum je bio u 12h 10 min), koje smo uzele za osnovni, zatim od 17.2. (min. 23h 30 min) do 23.2. (min. 8h 08min), dddod 27.3 (min. 12h 53min) do 1.4. (min. 21h 41min), te do 1.4. (treći se period samo nastavio na četvrti) do 7.4. (min. 6h 28min). Podatke za svaki od perioda prikazale smo grafički i svele na zajednički period. U tom periodu smo na temelju kataloških podataka za minimum, maksimum i duljinu perioda ucrtale krivulju sjaja za δ Cephei. Sada je preostalo da analiziramo krivulju i vidimo što smo zapravo dobile.



Graf 3. Ovisnost magnitude o vremenu

Diskusija

Promatrajući nacrtani graf i uspoređujući krivulju s dobivenim točkama primjetile smo da točke uglavnom prate krivulju. Većina točaka dobivenim mjerenjem nalaze se ispod krivulje što možemo vrlo jednostavno objasniti. Cefej je u vrijeme našeg mjerenja bio relativno nisko pa svakako treba uzeti u obzir utjecaj atmosferske ekstinkcije (apsorpcija svjetlosti nebeskih tijela u Zemljinj atmosferi). Ona je očito uzrokovala potcjenjivanje sjaja δ Cefeja. Točke koje se nalaze iznad krivulje posljedica su pogrešaka pri samom mjerenju.

Nikako ne smijemo zaboraviti napomenuti da utjecaj na pogreške pri mjerenju ima i boja zvijezde. Oko jače reagira na plavu i bijelu svjetlost, nego na crvenu. Tako npr. u slučaju izrazito crvene zvijezde dolazi najvjerojatnije do potcjenjivanja sjaja, a u slučaju plave do precjenjivanja. Kako δ Cefeja ima nešto veću površinsku temp., kao i veći promjer od Sunca njena boja vuče prema bijeloj pa je i to jedan od uzroka pogrešaka i pomaka točaka iznad krivulje.

Također iz dobivenih podataka se vidi da otripilke jednu četvrtinu perioda krivulja raste dok ostatak pada, tj. δ Cefeja sjaj jako brzo raste ali sporo pada.

Zaključak

Mi smo ovim radom htjele prikazati još jednu od metoda proučavanja promjenljivih zvijezda. Kao prvo htjele smo pokazati da li metoda uopće funkcioniira. Kako su se podatci pokazali dovoljno preciznima (pogreška se kretala oko 0,1 magnitude), možemo slobodno reći da je jednostavno izrađenim fotometrom s ravnim zrcalom moguće vrlo kvalitetno proučavati promjenjive zvijezde. Pokušale smo dobiti i krivulju sjaja δ Cefeja mjereći tokom četiri mjeseca. Iz dobivenih podataka vidi se da su naša mjerenja zadovoljavajuća, ali i da postoje određene pogreške uzrokovane atmosferskim uvjetima, prije svega ekstinkcijom.

U svakom daljnjem proučavanja promjenjivih trebalo bi za preciznije rezultate svakako uzeti u obzir utjecaj atmosferske ekstinkcije i spektralni tip zvijezde.