

UNIVERZA V LJUBLJANI  
PEDAGOŠKA FAKULTETA  
FAKULTETA ZA MATEMATIKO IN FIZIKO

# **DIPLOMSKO DELO**

GREGOR ŽAGAR

UNIVERZA V LJUBLJANI  
PEDAGOŠKA FAKULTETA  
FAKULTETA ZA MATEMATIKO IN FIZIKO  
Študijski program: Matematika in fizika

**Določanje siderske in sinodske periode Lune s  
pomočjo astrofotografije in križne palice**

DIPLOMSKO DELO

Mentorica: dr. Andreja Gomboc

Kandidat: Gregor Žagar

Ljubljana, junij 2013

Zahvaljujem se dr. Andreji Gomboc za njeno pomoč, komentarje in strokovne nasvete pri izdelavi diplomskega dela.

Hvala tudi mojim najbližjim za podporo in razumevanje v času študija.

## **Povzetek**

Luna je drugo najsvetlejšo nebesno telo, zato je zelo zanimiva za opazovanje tako v šoli kot na splošno. Zaradi njenega gibanja okrog Zemlje se spreminjata njen videz in položaj med zvezdami. Času, v katerem naredi Luna en obhod okrog Zemlje glede na zvezde, pravimo siderski mesec. Opazovalec na Zemlji pa zaradi gibanja Zemlje okrog Sonca opazi, da se Lunine mene ponavljajo z nekoliko daljšo periodo, imenovano sinodska perioda.

V diplomski nalogi je predstavljeno, kako lahko v času vsaj enega meseca z rednim opazovanjem in fotografiranjem Lune ali z določanjem Lunine lege med zvezdami, izmerimo sinodsko in sidersko periodo Lune. Iz spreminjanja navidezne velikosti Lune lahko določimo ekscentričnost njenega tira, iz njenih premikov glede na zvezde pa Lunino navidezno hitrost.

Namen diplomske naloge je približati astronomijo širšemu krogu ljudi, tako otrokom v šoli in učiteljem kot tudi ostalim, ki jih zanima astronomija, zato so diplomi priložena tudi navodila za ponovitev meritev.

Ključne besede: Luna, sinodski mesec, siderski mesec, astrofotografija, križna palica

## **Abstract**

The Moon is the second brightest object in the sky and therefore it is very interesting for observations at school and also for general public. Due to its motion around the Earth, its appearance and position among the stars are changing. The sidereal month is the time the Moon takes to complete one full revolution around the Earth with respect to the background stars. Because the Earth is constantly moving along its orbit around the Sun, it seems for the observer on the Earth that the Moon phases repeat with somewhat longer period, which is called one synodic month.

The diploma work presents how to measure, during a period of at least one month, a synodic and sidereal period of the Moon by regular observations and photographing of the Moon or by determinations of the Moon's position among the stars. From variations of the apparent size of the Moon we can determine eccentricity of its orbit, while from the Moon's movement among the stars we can calculate its orbital velocity.

The purpose of the diploma is to bring astronomy to a wider audience; primarily to children and teachers in the school, as well as others who are interested in astronomy. To enable them to repeat observations and measurements presented here, relevant instructions are included.

**Keywords:** The Moon, synodic month, sidereal month, astrophotography, Jacob's staff

## Kazalo

1	Uvod.....	6
2	Luna.....	7
2.1	Kratek opis Lune .....	7
2.2	Gibanje Lune .....	9
2.2.1	Lunin tir.....	9
2.2.2	Lunine mene.....	12
2.2.3	Siderski in sinodski mesec .....	13
2.2.4	Izpeljava zveze med sidersko in sinodsko periodo .....	14
2.2.5	Libracija .....	16
3	Astrofotografija .....	19
3.1	Ljubiteljska astrofotografija .....	21
3.1.1	Oprema .....	21
3.1.2	Metode fotografiranja.....	23
4	Določanje sinodske in siderske periode Lune s fotografiranjem .....	25
4.1	Oprema .....	25
4.1.1	Optična cev.....	25
4.1.2	Montaža.....	26
4.1.3	Fotoaparati.....	27
4.2	Metode meritev .....	27
4.3	Opazovanja .....	28
4.3.1	Izvedba .....	28
4.4	Meritve in rezultati .....	30
4.4.1	Obdelava fotografij in merjenje količin .....	30
4.4.2	Tabela meritev.....	31
4.4.3	Graf.....	32
4.4.4	Rezultati .....	35
4.4.5	Primerjava rezultatov .....	36
4.5	Komentar .....	37
5	Določanje sinodske in siderske periode Lune ter navidezne hitrosti Lune s križno palico.. .....	38
5.1	Oprema .....	38
5.1.1	Križna palica .....	38

5.2	Metode meritev .....	39
5.3	Opazovanja .....	39
5.3.1	Izvedba .....	39
5.4	Meritve in rezultati .....	40
5.4.1	Razdalje med Luno in zvezdami .....	40
5.4.2	Določanje položaja Lune na zvezdni karti .....	42
5.4.3	Določanje mesečnega in dnevnega premika lege Lune glede na zvezde .....	44
5.4.4	Siderska in sinodska perioda .....	47
5.4.5	Orbitalna hitrost Lune .....	50
5.4.6	Primerjava rezultatov .....	51
5.5	Komentar .....	53
6	Dodatek .....	54
6.1	Določanje ekscentričnosti Luninega tira z astrofotografijo .....	54
6.1.1	Ekscentričnost .....	54
6.1.2	Primerjava rezultatov .....	56
6.2	Komentar .....	57
7	Navodila za izvedbo meritev .....	58
7.1	Navodila za določanje sinodske in siderske periode Lune ter ekscentričnosti Luninega tira s fotografiranjem Luninih men .....	59
7.2	Navodila za določanje sinodske in siderske periode Lune ter navidezne hitrosti Lune s križno palico .....	63
8	Zaključek .....	67
9	Literatura .....	69

## **Kazalo slik**

Slika 1:	Razdalje in nakloni med Luno in Zemljo .....	10
Slika 2:	Lunine perturbacije z obhodnimi dobami .....	11
Slika 3:	Lunine mene .....	13
Slika 4:	Sinodski in siderski mesec .....	14
Slika 5:	Libracija Lune v dolžini .....	17
Slika 6:	Libracija Lune v širini .....	18
Slika 7:	Dnevna libracija Lune .....	18
Slika 8:	John William Draper in njegova slika Lune .....	19

Slika 9: Henry Draper in prva fotografija globokega neba .....	20
Slika 10: Teleobjektiv Maksutov MTO-11CA.....	25
Slika 11: Leseno stojalo in držalo za optično cev .....	26
Slika 12: Oprema, uporabljena pri slikanju.....	27
Slika 13: Astrofotografije Luninih men .....	29
Slika 14: Slika iz obdelane fotografije Lune v programu Corel Designer X5 .....	31
Slika 15: Prikaz sinusne odvisnosti lege terminatorja.....	33
Slika 16: Graf, narisan s prilagoditveno funkcijo programa Logger Pro. ....	34
Slika 17: Doma izdelana križna palica .....	39
Slika 18: Križna palica in trigonometrija .....	41
Slika 19: Ekvatorska zvezdna karta s predelom neba .....	43
Slika 20: Nebesna krogla in krogelni trikotnik .....	45
Slika 21: Mesečni premik lege Lune glede na zvezde .....	46
Slika 22: Dnevni premiki lege Lune glede na zvezde .....	47

## **Kazalo tabel**

Tabela 1: Fizikalne značilnosti Lune .....	8
Tabela 2: Značilnosti Luninega tira .....	12
Tabela 3: Tabela opazovanj.....	28
Tabela 4: Tabela meritev količin iz fotografij.....	32
Tabela 5: Tabela opazovanj.....	40
Tabela 6: Tabela kotnih razdalj od Lune do izbrane zvezde.....	41
Tabela 7: Pretvorba iz kotnih stopinj v merilo zvezdne karte.....	43
Tabela 8: Ekvatorske koordinate lege Lune, določene iz zvezdne karte.....	44
Tabela 9: Dnevni premiki in časi med meritvami .....	47
Tabela 10: Siderska perioda Lune iz dnevnih premikov .....	49
Tabela 11: Tabela razdalj med Luno in Zemljo v času opazovanj.....	50
Tabela 12: Kotne hitrosti Lune.....	51
Tabela 13: Tabela orbitalnih hitrosti Lune .....	51



# 1 Uvod

V astronomijo sem se zaljubil že v mladih letih, ko sem kot otrok listal po Atlasu sveta, ki je imel na zadnjih straneh nekaj slik planetov našega osončja ter njihovih splošnih lastnosti. Ni bilo dneva, da nisem pogledal vanj in občudoval malenkosti, ki jih je ponujal. Na eni od strani je bila predstavljena tudi Luna. Spomnim se, da so bile predstavljene Lunine mene, obhodna pot Lune okoli Zemlje, slike njene vidne in nevidne strani,... Od takrat sem vedno z zanimanjem opazoval Luno, ker je bilo to edino nebesno telo, katerega sem lahko podrobneje opazoval, saj nisem imel opreme, s katero bi videl tudi ostala nebesna telesa. Spominjam se tudi dneva, ko je sosed Dejan na nagradni križanki zadel teleskop. Takrat sem prvič pogledal skozi teleskop in videl detajlno površje Lune. Luna je bila takrat v zadnjem krajcu, tako da so se lepo videli njeni kraterji in njena morja. Kasneje so se začela leta šole in pomembnejše so bile druge stvari. Astronomija je bila tako prisotna le občasno, vse do 4. letnika fakultete, ko je postala eden izmed glavnih predmetov in ljubezen do nje se je ponovno rodila.

V zadnjem stoletju je bil na področju astronomije narejen precejšen napredek. Omogočil ga je predvsem napredek v tehnologiji, zaradi česar je prišlo do hitrejših in kakovostnejših meritev. V kratkem času je prišlo do teorij o nastanku vesolja in njegovih zakonitosti. Ker v vesolju najdemo številna zanimiva nebesna telesa, o katerih s pomočjo sodobne tehnologije vsak dan izvemo kaj novega, nas astronomija spremlja skorajda povsod.

Mnogi otroci se prvič srečajo z astronomijo v šoli, kjer jo lahko izberejo kot izbirni predmet z imenom Sonce-Luna-Zemlja. Pomembno je, da jim ta predmet predstavimo na zanimiv način, in da izkusijo, kako lahko z opazovanjem tudi sami pridejo do določenih spoznanj. Ker je Luna nam najbližje nebesno telo in tudi Zemljin satelit, je še posebej zanimiva in primerna za opazovanje v šoli ter tudi za ljubiteljske opazovalce neba.

Diplomska naloga je sestavljena iz teoretičnega in praktičnega dela. V teoretičnem delu sem na kratko opisal Luno ter njene lastnosti, njeno gibanje in zvezo med sinodsko in sidersko periodo. Nadaljnje sem predstavil profesionalno in ljubiteljsko astrofotografijo.

V praktičnem delu je predstavljeno, kako s pomočjo astrofotografije določiti sinodsko in sidersko periodo Lune ter kot dodatek tudi kako izračunati ekscentričnost Luninega tira. Pokazal sem tudi, kako lahko s pomočjo križne palice določimo sinodsko in sidersko periodo Lune ter izračunamo navidezno hitrost Lune. Na koncu so dodana navodila za izvedbo.

## 2 Luna

### 2.1 Kratek opis Lune

Luna je Zemljin edini naravni satelit. Njen premer znaša 3.476 km, kar je 1/4 Zemljinega, njena masa pa je  $7,3483 \times 10^{22}$  kg, kar je 1/81 v primerjavi z maso Zemlje. V našem osončju najdemo le štiri naravne satelite, ki so večji od Lune, vendar so v primerjavi s svojim primarnim planetom več stokrat manj masivni. Zaradi takšne mase in velikosti ima Luna zelo velik vpliv na Zemljo in njeno gibanje, zato ju lahko gledamo tudi kot sistem dveh planetov, ki se gibljeta okoli Sonca [1].

Kljub takšni masi in velikosti pa Luna praktično nima atmosfere, saj je atmosfera le za 10.000 kg. Vzrok za to najdemo v zelo majhnemu gravitacijskemu polju Lune, ki znaša 1/6 gravitacijskega polja na Zemlji, zato je tudi ubežna hitrost zelo majhna in plini zlahka zbežijo v vesolje. Lunina atmosfera je sestavljena iz 29% neona, 25,8% helija, 22,6% vodika, ki jih je ujela iz Sončevega vetra, ter 20,6% argona, ki nastaja z razpadom kalija v Luninih kamninah. Na temperaturo na Luni tako ne vpliva atmosfera, posledično tudi ne vreme in viharji, pač pa le Lunina dan in noč. Spremembe temperature so zaradi razlike med dnevom in nočjo na Luni zelo velike, saj traja svetli del dneva na Luni približno 14 Zemljinih dni. Temperatura na Luni tako niha od  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  [2].

V notranjosti Lune se nahaja majhno kovinsko jedro, ki predstavlja 20% Lunine velikosti, kar je malo v primerjavi z Zemljinim jedrom, ki predstavlja 50% velikosti planeta. Takšna razlika je po vsej verjetnosti zato, ker je gostota Lune veliko manjša kot Zemljina. Plašč Lune je kamnit in je sestavljen iz silikatov. Zunanji del plašča je trden in stabilen, medtem ko je notranji del plašča staljen zaradi visoke temperature, ki se sprošča ob razpadu radioaktivnih elementov. Skorjo sestavljajo s kalcijem bogate in granitu podobne kamnine. Na površju je skorja zaradi obstreljevanja meteoritov na številnih mestih razpokana. Te razpoke lahko segajo tudi do 25 km globoko [2][3].

Luna je od Zemlje v povprečju oddaljena le okrog 384.400 km, kar je približno 30,13 Zemljinih premerov in je zato zelo primerna za opazovanje in proučevanje. Še posebej je zanimivo njeno površje, ki je sestavljeno iz različnih tvorb. Tvorbe, ki jih vidimo kot temnejša področja na Luninem površju, imenujemo morja. Ta so nastala, ko je bila Luna ognjeniško aktivna in je lava prodrla na površje ter zalila dna večjih kraterjev. Svetlejšje površine na Luni

imenujemo gorata območja, večje in manjše vdolbine, obdane s stenami pa so udarni kraterji, ki so nastali v času, ko je bilo Osončje še mlado in so Luno obstreljevali meteoridi. Kraterji se še posebej lepo vidijo, ko se Luna debeli ali ko ugaša. Ostale tvorbe na Lunini površini so še doline, razpoke, jarki ter vijugasti grebeni [4][5].

Ko opazujemo Luno, brez težav ugotovimo, da se njena podoba spreminja. Včasih sploh ni vidna, včasih je vidna v celoti, večinoma pa je vidna le delno. Časovno gledano Luna enkrat vzide zjutraj, drugič popoldan, tretjič zvečer, krajevno gledano pa se spreminja tudi njeno vzhajališče. To nam pove, da se tudi položaj Lune spreminja. Vendar pa nam Luna pri njenem gibanju vedno kaže isto stran. Iz tega lahko sklepamo, da je čas Luninega vrtenja okrog lastne osi enak obhodnemu času njenega gibanja okrog Zemlje. Z Zemlje lahko tako opazujemo samo eno stran Lune, drugo pa lahko opazujemo le preko posnetkov, ki so jih naredile razne vesoljske odprave [3].

Tabela 1: Fizikalne značilnosti Lune [6].

Fizikalne značilnosti Lune			
Povprečni polmer:	1737,10 km 0,273 Zemljinega		
Polmer na ekvatorju:	1738,14 km 0,273 Zemljinega		
Polmer na polu:	1735,97 km 0,273 Zemljinega		
Površina:	3,793 · 10 <sup>7</sup> km <sup>2</sup> 0,074 Zemljine		
Prostornina:	2,1958 · 10 <sup>10</sup> km <sup>3</sup> 0,020 Zemljine		
Masa:	7,3477 · 10 <sup>22</sup> kg 0,0123 Zemljine		
Povprečna gostota:	3346,4 kg/m <sup>3</sup>		
Težni pospešek na ekvatorju:	1,622 m/s <sup>2</sup>		
Ubežna hitrost:	2,38 km/s		
Povprečna orbitalna hitrost:	1,023 km/s		
Siderska doba:	27,321582 dni		
Vrtilna hitrost na ekvatorju:	4,627 m/s		
Nagib vrtilne osi:	1,5424° (na ekliptiko) 6,687° (na ravnino tirnice)		
Albedo:	0,12		
Površinska temp.:	min	srednja	max
ekvator	100 K	220 K	390 K
85°N	70 K	130 K	230 K
Navidezni sij:	-2,5 do -12,9 -12,74 (srednje polna Luna)		
Kotna velikost:	od 29,3' do 34,1'		

## 2.2 Gibanje Lune

### 2.2.1 Lunin tir

Luna naredi en obhod okrog Zemlje glede na zvezde v približno 27,3 dneh. Tej periodi pravimo siderski mesec. Ker pa se Zemlja giblje na svoji orbiti okoli Sonca, je potrebno nekoliko dlje, da Luna kaže enako fazo Zemlji. To v povprečju traja 29,5 dni ali en sinodski mesec. Večina naravnih satelitov drugih planetov se giblje v ekvatorialni ravnini svojega planeta, medtem ko Luna obkroža Zemljo blizu ekliptične ravnine (t.j. ravnine v kateri se Zemlja giblje okoli Sonca). Njena tirnica je nagnjena za približno  $5^\circ$  na ekliptiko in jo zato seka dvakrat v enem obhodu. Če se to zgodi med mlajem, nastopi Sončev mrk, če pa med ščipom, nastopi Lunin mrk. Lunin tir motita tako Zemlja kot tudi Sonce na več majhnih, zapletenih in vzajemnih načinov [1][7].

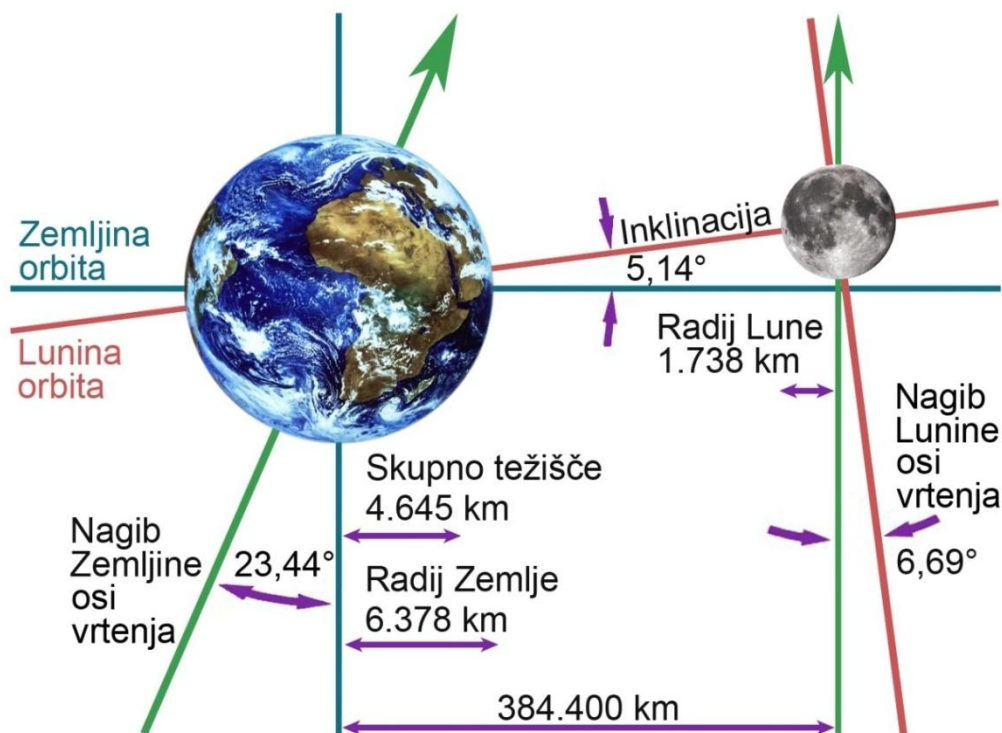
Opazovano z Zemlje se zdi, da se Luna premika po eliptični orbiti z Zemljo v enem gorišču, prav tako kot se planeti gibljejo po elipsah okrog Sonca. V bistvu bi bilo bolj primerno reči, da se Zemlja in Luna gibljeta okrog skupnega težišča, ampak ker je Zemlja precej masivnejša od Lune, leži njuno težišče znotraj Zemlje in sicer 1630 km pod Zemljinim površjem. Ekscentričnost Lunine orbite je 0,0549, oddaljenost Lune od Zemlje (gledano od središča Lune do središča Zemlje) pa je od 356 400 km v Lunini najbližji legi (v perigeju<sup>1</sup>) do njene največje oddaljenosti 406 679 km (v apogeju<sup>2</sup>). Povprečna oddaljenost Lune od Zemlje znaša tako 384 392 km. V največji oddaljenosti (v apogeju) je navidezni premer Lune le 9/10 tistega, ki ga vidimo, ko je Luna najbližje (v perigeju). Razlika je na oko neločljiva, ampak zelo lahko merljiva. Črta, ki povezuje apogej in perigej, se imenuje absidna črta [5][7].

Ravnina Luninega tira je nagnjena na ravnino ekliptike (Zemljina orbita okrog Sonca) za kot  $5^\circ$ . Prav zaradi tega Luna na svoji poti seka ekliptiko v dveh točkah. V prvi, ko se giblje od juga proti severu gledano z Zemlje (dvižni voz, angl. ascending node), in v drugi, ko se giblje od severa nazaj proti jugu (spustni voz, angl. descending node) [7].

---

<sup>1</sup> PERIGEJ je točka na eliptični tirnici, ko je telo pri gibanju okrog Zemlje najbližje Zemlji.

<sup>2</sup> APOGEJ je točka na eliptični tirnici, ko je telo pri gibanju okrog Zemlje najbolj oddaljeno od Zemlje.



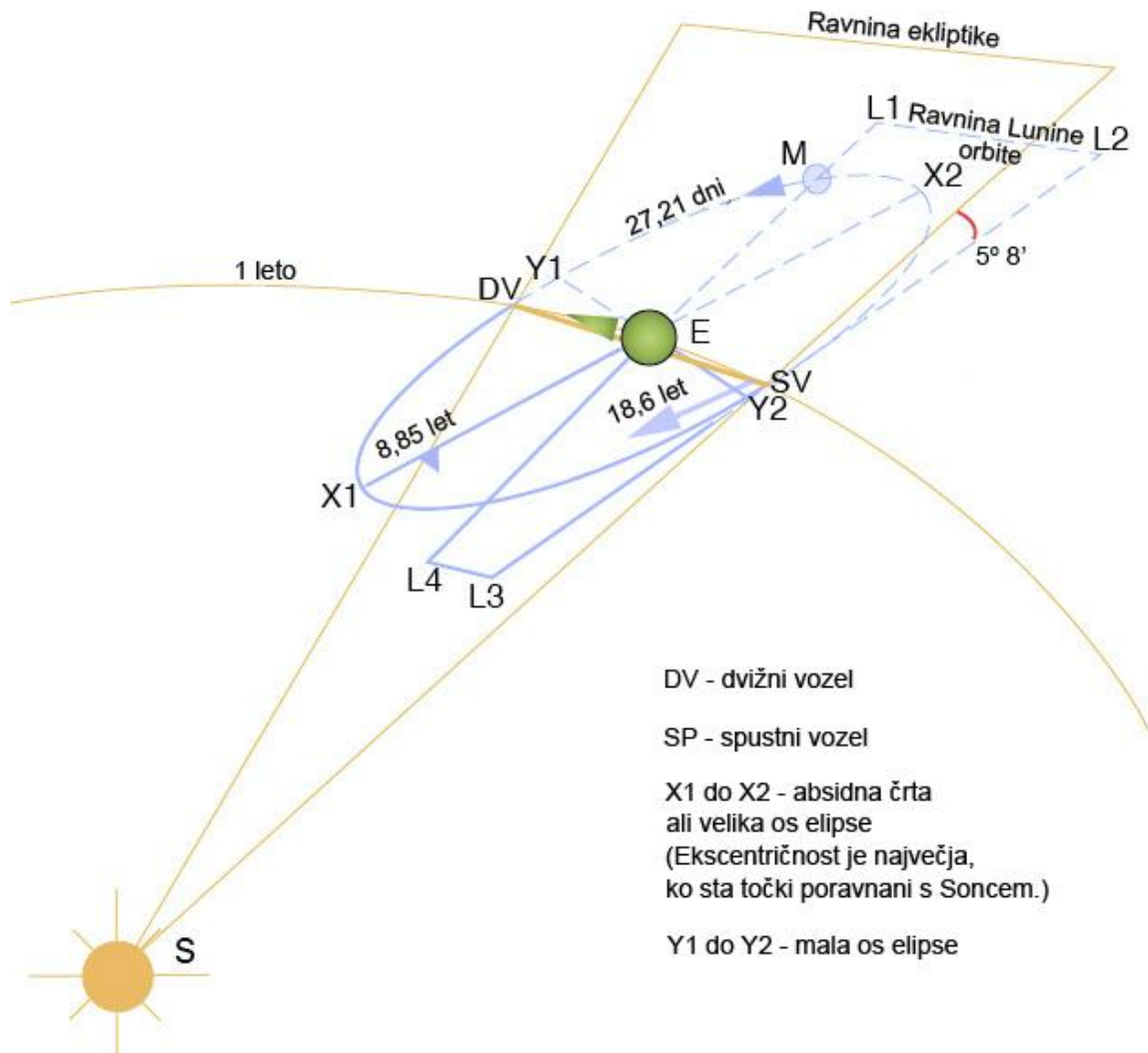
Slika 1: Razdalje in nakloni med Luno in Zemljo.

Lunino gibanje okrog Zemlje je precej bolj zapleteno kot se zdi, saj nanj vpliva tudi gravitacijska sila Sonca, ki povzroča perturbacije<sup>3</sup> v Lunini orbiti. Presenetljivo je to, da Sonce privlači Luno dvakrat močneje, kot jo privlači Zemlja. Če to pogledamo z roba Osončja, se zdi, kot da se Luna giblje okrog Sonca po orbiti, ki je vedno konkavna glede na Sonce. (Zemlja in Luna se ne bosta zaradi tega med seboj oddaljili, saj Sonce privlači obe telesi skoraj z enako silo.) [7][8]

Perturbacijske motnje Sonca je mogoče analizirati v šestih glavnih učinkih (slika 2). Prvi je, da povzročajo občasne spremembe v ekscentričnosti Lunine orbite, ki zato oscilira med 0,044 in 0,067. Ta sprememba se imenuje evekcija. Podobno se spreminja tudi inklinacija orbite in sicer med 4°58' ter 5°19'. Drugi učinek je, da se Lunin perigej premika (napreduje) v isti smeri, kakršna je smer gibanja Lune, in potrebuje 8,85 let, da zaključi en obhod. Naslednja posledica gravitacijske sile Sonca je, da se dvižni vozle giblje vzdolž ekliptike, in sicer približno 19° na leto v nasprotni smeri kot perigej s periodo 18,61 let. To povzroča nutacija.

<sup>3</sup> PERTURBACIJE so deviacije (odkloni) od normalnega, idealiziranega ali nemotenega gibanja (npr. gibanje dveh teles).

Za položaj Lune je potrebno upoštevati dejstvo, da je gravitacijska sila Sonca na Luno manjša, kadar je Luna za Zemljo in stran od Sonca, in večja, kadar je Luna med Zemljo in Soncem. Prav tako na to vpliva tudi oddaljenost Zemlje od Sonca med letom [5][7][8].



Slika 2: Lunine perturbacije z obhodnimi dobami [9].

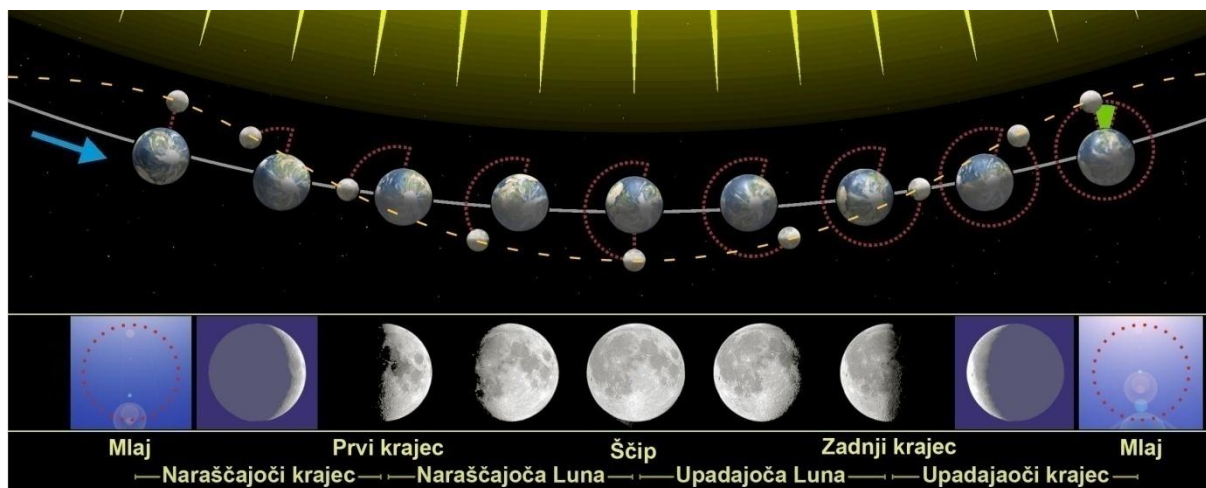
Problem popolnega matematičnega računa Lunine orbite je eden izmed najtežjih v astronomiji. Veliko bolj podroben opis, kot je bil podan do sedaj, bi moral vzeti v račun ne samo učinke Sonca, ampak tudi učinke drugih planetov ter točni obliki Zemlje in Lune. Lahko pa rečemo, da je za naš kratek vpogled v Lunino gibanje te učinke moč izpustiti, saj je njihov vpliv zelo majhen.

Tabela 2: Značilnosti Luninega tira [6].

Značilnosti Luninega tira	
Perigej:	363.104 km 0,0024 a. e.
Apogej:	405.696 km 0,0027 a. e.
Velika polos:	384.399 km 0,00257 a. e.
Ekscentričnost:	0,0549
Siderska perioda:	27,321582 d 27 d 7 h 43,1 min
Sinodska perioda:	29,530588 d 29 d 12 h 44,0 min
Povp. tirna hitrost:	1022 km/s
Naklon tira:	5,145° na ekliptiko (med 18,29° in 28,58° na Zemljin ekvator)
Dolžina dvižnega vozla:	regresivno, 1 obrat v 18,6 letih
Argument perigeja:	progresivno, 1 obrat v 8,85 letih

### 2.2.2 Lunine mene

Luna ne oddaja lastne svetlobe, ampak je svetla zaradi Sončeve svetlobe, ki se odbije od njenega površja. Vedno je tista Lunina polobla, ki gleda v smeri proti Soncu, popolnoma osvetljena, medtem ko je druga polobla takrat temna. Trenutno obliko, ki jo vidimo z Zemlje, imenujemo Lunina mena, odvisna pa je od tega, kje se Luna na svoji orbiti okrog Zemlje nahaja (slika 3). Ko je Luna ravno med Zemljo in Soncem, takrat njena osvetljena polobla ni vidna z Zemlje in vidimo le temen obris. Včasih jo v tej meni vidimo šibko osvetljeno od Sončeve svetlobe odbite od Zemlje. To Lunino meno imenujemo mlaj ali prazna luna. Kmalu po tem lahko že vidimo manjši del osvetljene strani Lune, ki ga imenujemo krajec. Ko Luna nadaljuje pot po svoji orbiti, krajec narašča in posledično je po nekem času vidna točno polovica osvetljenega dela Lune. Tej meni pravimo prvi krajec. Takrat je Luna naredila točno 1/4 poti okrog Zemlje. Pravimo, da se Luna nato še naprej debeli, dokler ne naredi 1/2 poti okrog Zemlje in takrat vidimo njeno celo osvetljeno poloblo. Pravimo, da je Luna takrat polna oziroma to meno imenujemo ščip. Takrat je magnituda Lune največja in znaša -12,9. Po ščipu začne Luna ugašati ter na 3/4 njene poti okrog Zemlje vidimo spet polovico osvetljene poloble. Tej meni rečemo zadnji krajec. Na zadnji četrtini pojema do mlaja, ko je spet med Zemljo in Soncem in je naredila ravno en obhod okrog Zemlje glede na Sonce. En Lunin cikel merimo od mlaja do mlaja [5][6].



Slika 3: Lunina mena je odvisna od kota med Soncem, Luno in Zemljo. En Lunin cikel ali lunacija je zaključen, ko pride do enake poravnave teh treh teles. Drugi del slike pa prikazuje videz Lune z Zemlje, ko Luna potuje po svoji orbiti okrog Zemlje [10].

### 2.2.3 Siderski in sinodski mesec

Luna potrebuje 27,32166 dni ali 27 dni 7 h 43 min 11,5 s, da zaključi en obhod okoli Zemlje. Tej periodi pravimo siderski mesec ali zvezdni mesec, saj je to čas, v katerem naredi Luna polni obhod okrog Zemlje glede na oddaljene zvezde [11].

Ker pa mi opazujemo Luno z Zemlje in ne z zvezd, je potrebno upoštevati, da se Zemlja giblje okrog Sonca in se v tem času premakne malce naprej po svoji tirnici. Luna mora zato, ko že opravi en obhod glede na zvezde, narediti še del poti, da pride za opazovalca z Zemlje v isti položaj glede na Sonce. Zato je za opazovalca z Zemlje lunacija nekoliko daljša kot siderski mesec. Povprečni čas med dvema konjunkcijama<sup>4</sup> Lune in Sonca ali čas med dvema zaporednima mlajema ali dvema zaporednima enakima fazama Lune imenujemo sinodski mesec. V povprečju je dolg 29,53059 dni ali 29 dni 12 h 44 m 2,9 s, sicer pa zaradi motenj niha med 29,27 in 29,83 dni. Sinodski mesec je znan tudi kot Lunin mesec ali lunacija [12][13].

Ker se Luna giblje okoli Zemlje, se za opazovalca na Zemlji Luna premika proti vzhodu glede na zvezde za približno  $13^\circ$  na dan in zato vzhaja vsak dan kasneje. Čas, koliko kasneje je Lunin vzhod, poimenujemo zaostanek (angl. retardation). Povprečno Luna vsak dan vzhaja

<sup>4</sup> KONJUNKCIJA ali sovpad je poravnava teles, ko imata dva ali več nebesnih teles enako lego gledano npr. iz Zemlje.

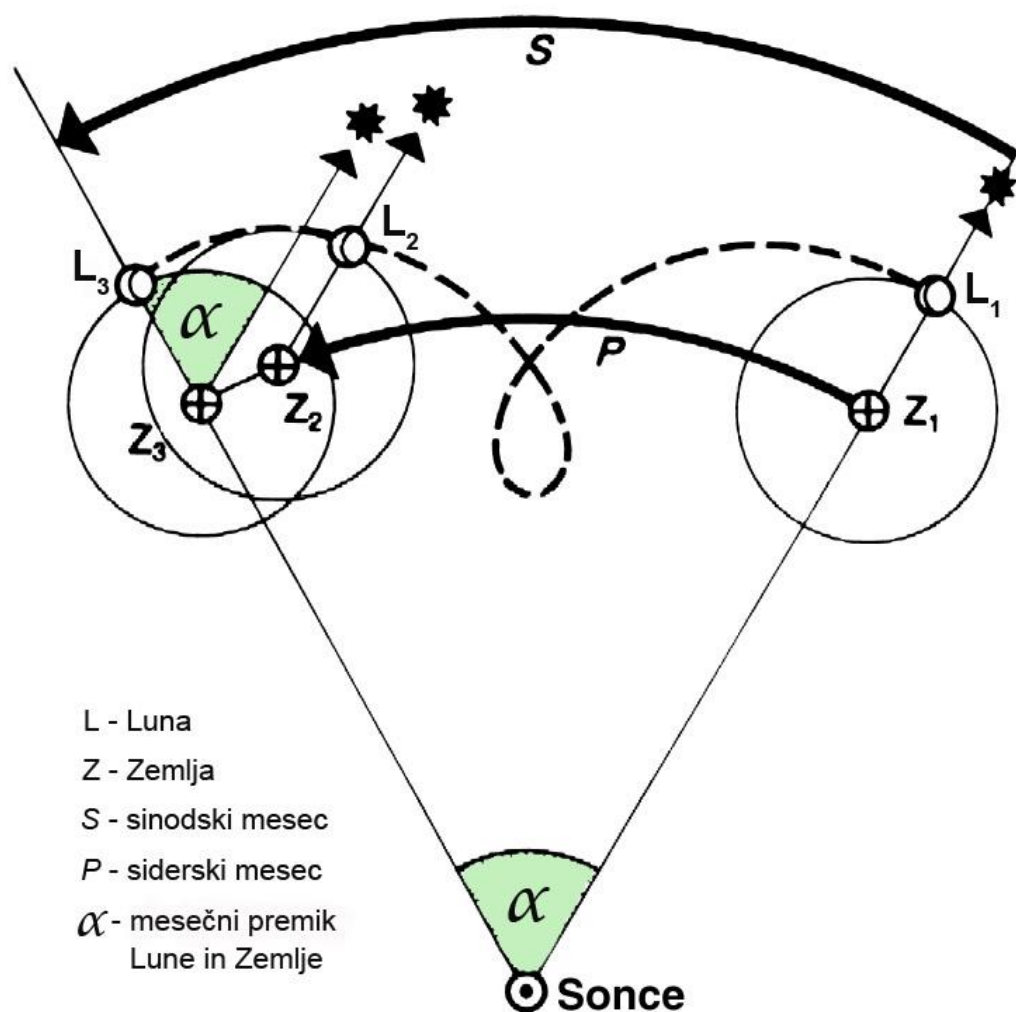


50 minut kasneje, a ker se Zemlja in Luna ne gibljeta vedno z enako hitrostjo in ker sta njuni orbiti nagnjeni glede na ekvator, se ta čas spreminja skozi vse leto [7].

Polno Luno, ki se pojavi najbližje v času jesenskega enakonočja (21. september), v angleškem jeziku imenujejo »Harvest Moon«. Posebno ime je dobila, ker se v tej lunaciji lahko zaostanek zmanjša na 15 min. Polna Luna, ki sledi »Harvest Moon«, pa je znana kot »Hunters Moon«, ki prav tako vzhaja z zaostankom manjšim od povprečnega [7].

#### 2.2.4 Izpeljava zveze med sidersko in sinodsko periodo

Med sidersko in sinodsko periodo Lune velja zveza, ki jo lahko izpeljemo na naslednji način. Za začetek naj bosta Zemlja in Luna na premici s Soncem, kot kaže slika 4. Zemlja in Luna bosta zopet na premici s Soncem po času  $t$  oz. natanko po eni sinodski periodi  $S$ . Do takrat pa Zemlja in Luna opravita različna kota.



Slika 4: Sinodski in siderski mesec.

Za Zemljo lahko zapišemo

$$\varphi_Z = \omega_Z \cdot t, \quad (2.1)$$

za Luno pa

$$\varphi_L = \omega_L \cdot t. \quad (2.2)$$

Tako Zemlja kot tudi Luna naredita en obhod glede na zvezde v svoji siderski periodi  $P$ , zato velja za Zemljo

$$\omega_Z = \frac{2\pi}{P_Z}, \quad (2.3)$$

za Luno pa

$$\omega_L = \frac{2\pi}{P_L}. \quad (2.4)$$

Če vstavimo enačbo (2.3) v enačbo (2.1), dobimo za Zemljo

$$\varphi_Z = \frac{2\pi}{P_Z} \cdot t, \quad (2.5)$$

pri čemer se Zemlja premakne okoli Sonca za kot  $\varphi_Z$  v času  $t$ .

Če vstavimo enačbo (2.4) v enačbo (2.2), dobimo za Luno

$$\varphi_L = \frac{2\pi}{P_L} \cdot t. \quad (2.6)$$

(Kadar je  $t = 1$  dan, je  $\varphi_L$  enak dnevnemu premiku Lune, ki ga označimo z grško črko  $\beta$ .)

V času  $t$  se Luna glede na Zemljo premakne za

$$\varphi_L - \varphi_Z = \frac{2\pi}{S_L} \cdot t. \quad (2.7)$$

V enačbo (2.7) vstavimo enačbi (2.5) in (2.6). Dobimo

$$\frac{2\pi}{P_L} \cdot t - \frac{2\pi}{P_Z} \cdot t = \frac{2\pi}{S_L} \cdot t. \quad (2.8)$$

Sedaj lahko enačbo (2.8) delimo z  $2\pi$  in  $t$  ter tako dobimo zvezo med sidersko in sinodsko periodo:

$$\frac{1}{P_L} = \frac{1}{P_Z} + \frac{1}{S_L}, \quad (2.9)$$

kjer je  $P_L$  siderska perioda Lune,  $P_Z$  siderska perioda Zemlje ter  $S_L$  sinodska perioda Lune.

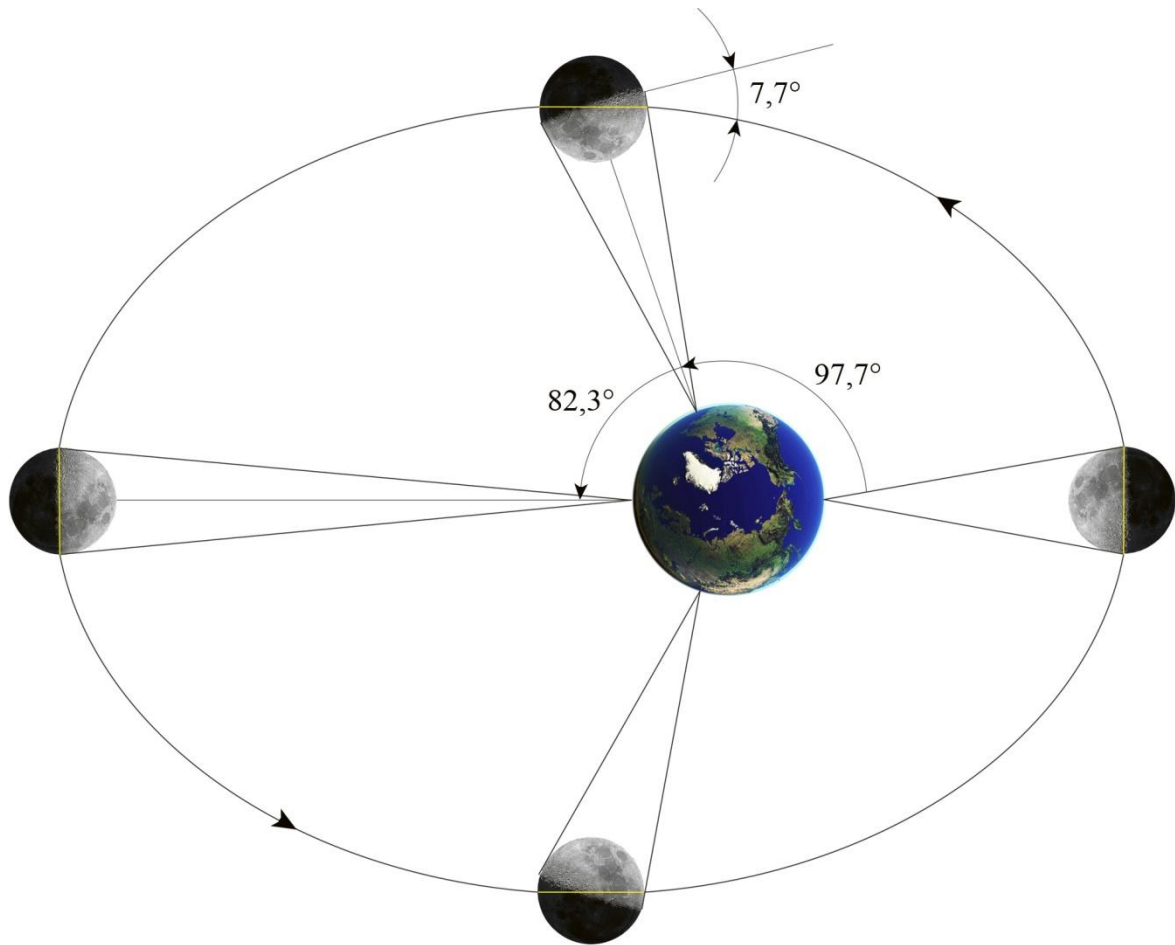
### 2.2.5 Libracija<sup>5</sup>

Marsikje lahko preberemo, da je čas, v katerem se Luna zavrti za en obrat okoli svoje osi, enak času enega obhoda Lune okrog Zemlje, zato nam Luna kaže vedno isto stran. A to ni povsem res.

Ker Lunina orbita ni krožnica, ampak je elipsa, velja za njeno gibanje 2. Keplerjev zakon. Luna ima tako največjo hitrost v perigeju in najmanjšo v apogeju, medtem ko je hitrost vrtenja Lune okrog lastne osi konstantna. To je vzrok, da v bližini perigeja vrtenje Lune nekoliko zaostaja za njenim gibanjem okoli Zemlje, v bližini apogeja pa prehiteva. Posledično lahko vidimo malce več kot le pol Lunine oble, seveda pa ne naenkrat. Tej nestabilnosti pravimo libracija v dolžini (slika 5). Za lažjo predstavo recimo, da je bila Luna na začetku v perigeju. Ko se Luna zavrti za  $90^\circ$ , se glede na Zemljo premakne na svojem tiru za večji kot, in sicer za približno  $97,7^\circ$ . Opazovalec na Zemlji takrat vidi čez zahodni Lunin rob približno  $7,7^\circ$  [7][13].

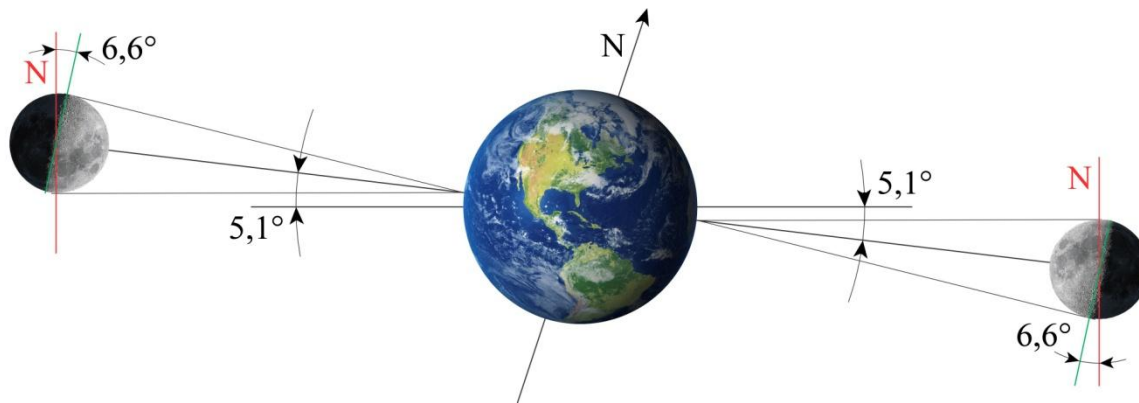
---

<sup>5</sup> LIBRACIJA izvira iz latinske besede librare, ki pomeni - izenačevati, zibati, gugati ali nihati.



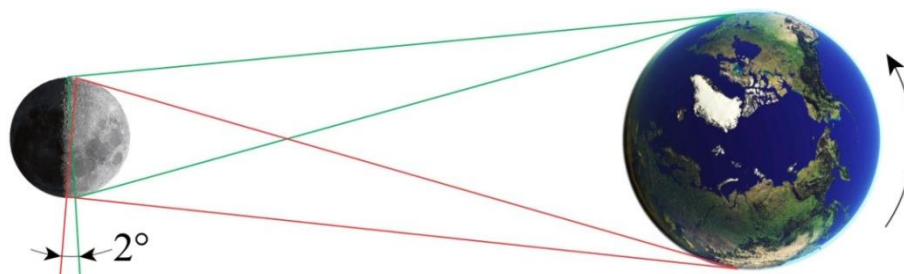
Slika 5: Libracija Lune v dolžini.

Obstaja pa tudi libracija v širini, katere vzrok najdemo v nagnjenosti Lunine orbite glede na ekliptiko, tako da lahko opazovalec z Zemlje vidi tudi malce večji del pri Luninih polih. Libracija v širini je posledica  $5,145^\circ$  inklinacije Lune na ekliptiko in  $1,54245^\circ$  nagnjenosti Lunine vrtilne osi glede na ravnino njene orbite. Pri Zemljinem gibanju okrog Sonca so posledica tega letni časi. Tako sta severni in južni pol Lune nagnjena proti Zemlji za približno  $6,6^\circ$ , kar omogoča opazovalcu z Zemlje, da enkrat vidi malce čez severni tečaj, drugič pa malce čez južni tečaj Lune (slika 6) [7][13].



Slika 6: Libracija Lune v širini.

Ker pa se tudi sama Zemlja vrti okrog svoje osi, zaradi tega obstaja tudi dnevna ali paralaktična libracija (slika 7). Tako lahko pri vzhodu Lune opazovalec vidi malenkost pod zahodni del Lune, pri zahodu Lune pa malenkost nad vzhodni del. Opazovalec na Zemlji tako vidi Luno z dveh rahlo različnih kotov, saj je enkrat na eni strani zveznice med Luninim in Zemljinim središčem, drugič na drugi. Ker se lega opazovališča čez dan spremeni za velikost premera Zemlje, to omogoča, da opazovalec vidi približno  $1^\circ$  čez zahodni oziroma vzhodni Lunin rob [7][13].

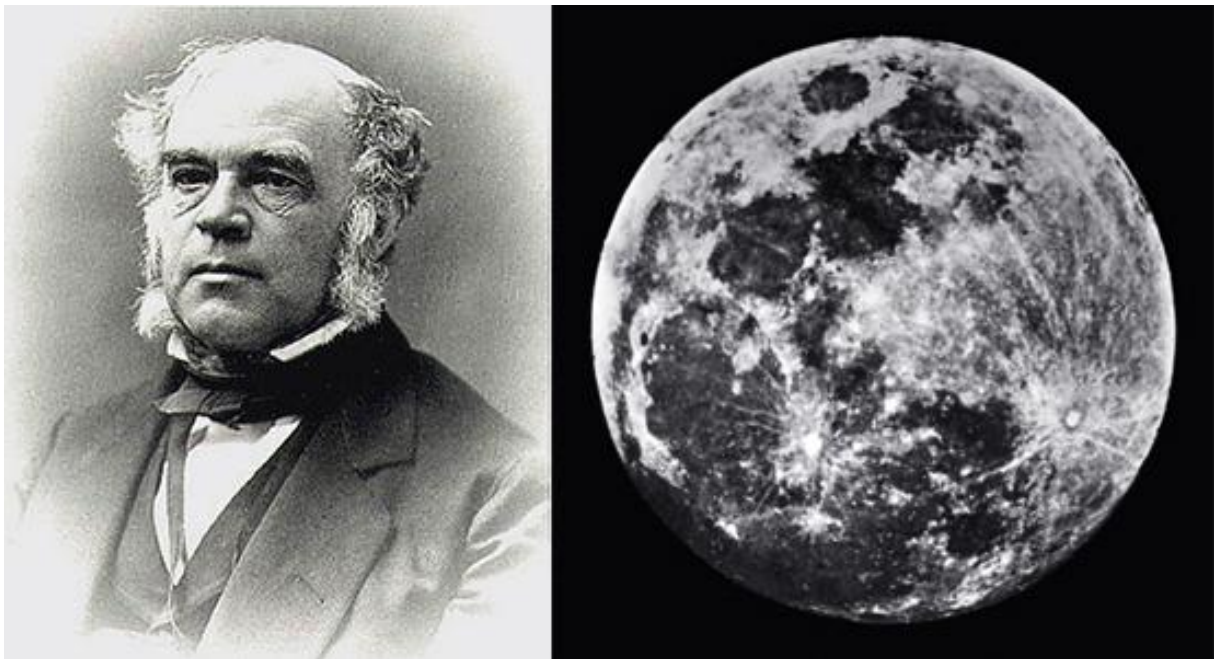


Slika 7: Dnevna libracija Lune.

Skupni delež za opazovalca z Zemlje vidne Lunine površine, če upoštevamo vse tri libracije, znaša 59% [14].

### 3 Astrofotografija

Astrofotografija zajema fotografiranje vseh vrst astronomskih objektov: od zelo svetlih objektov ter detajlov na njih, do objektov, ki so preveč šibki, da bi jih opazovali s prostim očesom in je zato namenjena tudi odkrivanju in raziskovanju le-teh. Preprosto bi lahko rekli, da je astrofotografija fotografiranje nočnega neba in nebesnih teles, kot so planeti, lune, kometi, zvezde, meglice in galaksije. Astrofotografija pa ne zajema samo fotografije v vidni svetlobi, temveč tudi fotografije v drugih delih spektra, npr. v infrardeči, ultravijolični, radijski, rentgenski ali gama svetlobi. Te posnetke ustrezno 'prenesejo' v vidno svetlobo, da jih lahko vidimo z našimi očmi [15].



Slika 8: John William Draper [16] in njegova slika Lune [17].

Prvo astrofotografijo pripisujejo Johnu Williamu Draperju, ki je naredil posnetek Lune leta 1840 (slika 8). Leta 1880 je bil njegov sin Henry Draper (slika 9) prvi, ki je fotografiral Orionovo meglico (Orion Nebula). Ta fotografija velja tudi za prvo astrofotografijo globokega neba (deep sky) [15].

Danes pa bi lahko rekli, da je astrofotografija postala že hobi, saj je priljubljena tako med fotografi, amaterskimi astronomi in ljudmi vseh starosti. Vzrok za to je v nizki ceni in dostopnosti opreme, zlasti sodobnih digitalnih fotoaparatom, in njeni enostavni uporabi. Vseeno pa je za astrofotografijo potrebno imeti nekaj fotografskega in astronomskega znanja.

Ko ga osvojimo, pa nas lahko astrofotografija hitro zasvoji in postane naša kratkotrajna ali življenjska strast [15].



Slika 9: Henry Draper [17] in prva fotografija globokega neba [18].

Astrofotografijo razdelimo na profesionalno in ljubiteljsko. Profesionalna astrofotografija se je razvila tako z uporabo profesionalnih astronomskih teleskopov kot z razvojem profesionalnih fotoaparátov in kamer. Danes profesionalne teleskope ne uporabljamo za vizualna opazovanja, temveč izključno za snemanje z astronomskimi kamerami, ki nam omogočajo nova odkritja in astronomska merjenja. Veliki teleskopi so tako ogromni objektivni, ki naj zbirajo čim več svetlobe in dosegajo najboljše ločljivosti. Ker je za kakovostno astrofotografijo potrebno temno nebo brez svetlobnega onesnaženja, ki je prisotno v naseljenih območjih, so astronomski observatoriji odmaknjeni od mest. Pozabiti pa ne smemo na to, da na kakovost posnetka vpliva tudi vreme in Zemljina atmosfera, ki ni čisto prosojna, zato se veliki astronomski teleskopi nahajajo na visokih predelih, kjer je atmosfera že redkejša in kjer je vreme stabilno. Vse bolj pogosto pa v namene novih astronomskih odkritij, pri katerih je pomembna natančnost, astronomske teleskope pošiljajo v vesolje, kjer ni motenj okolice. Tak primer je Vesoljski teleskop Hubble. Nas pa bo zanimala predvsem ljubiteljska astrofotografija in njene značilnosti [15].

## 3.1 Ljubiteljska astrofotografija

Že samo ime nam pove, da je ta astrofotografija priljubljena pri amaterskih astronomih in je uporabna za snemanje nočnega neba in nebesnih objektov, katerih detajlov ne vidimo s prostim očesom. S pomočjo modernih digitalnih fotoaparatorov in astronomskih CCD<sup>6</sup> kamer je moč iz leta v leto posneti vse bolj in bolj kakovostne fotografije, ki pa nam lahko služijo ne zgolj za estetske razloge ampak tudi za opazovanje ter preučevanje ali celo za nova odkritja [15][19].

Za snemanje Sonca in Lune je dovolj kratek čas osvetlitve oziroma ekspozicije, saj sta gledano z Zemlje za nas to najsvetlejši nebesni telesi in zato ni večjih tehnoloških problemov, ki pa se hitro pojavijo pri snemanju temnejših nebesnih teles. Za temnejša telesa so potrebni dolgi časi osvetlitve, zato so v preteklosti ti povzročali astronomom precej težav, kot je npr. navidezno gibanje neba, ki je povzročilo, da objekt na fotografiji ni bil oster, saj se je med časom osvetlitve premaknil. To danes odpravljajo motorizirane montaže, ki preko vgrajenega računalnika sledijo navideznemu gibanju neba in skupaj z astronomskimi programi za obdelavo slik tako dobimo ostre fotografije [15][19].

### 3.1.1 Oprema

Lahko bi rekli, da je za fotografiranje nebesnih nebes uporabna vsa oprema, ki se uporablja pri navadnem fotografiranju, vendar se je potrebno zavedati, da ima vsak fotoaparat ali kamera svoje značilnosti, zato se v astrofotografiji najpogosteje uporabljajo: klasični in digitalni fotoaparati, CCD kamere za astronomijo, planetarne in web kamere [15][19].

#### Klasični fotoaparati

Klasične fotoaparate danes v prosti uporabi zamenjujejo digitalni, saj CCD detektor zazna okrog 95% svetlobe, medtem ko jo klasični film le 3%. To pomeni, da je pri klasičnem fotoaparatu potreben daljši čas osvetlitve. Kljub temu pa klasične fotoaparate uporabljajo pri snemanju zelo dolgih osvetlitev za sledenje zvezd in širokokotnih astrofotografij srednjega formata. Prednost, ki jo je potrebno izpostaviti, je ta, da pri klasičnih fotoaparatih ni digitalnega šuma, zato so fotografije barvno bogatejše [15][20][21].

---

<sup>6</sup> Charge Coupled Device - CCD detektor je čip, ki pri digitalnih fotoaparatih zaznava in zapisuje svetlobo podobno, kot je to počel film pri klasičnem fotoaparatu.



## **Digitalni fotoaparati**

Pri digitalnih fotoaparatih se svetloba zbira na CCD detektorju, ki linearno sprejema svetlobo in je nanjo bolj občutljiv kot fotografski film, kar omogoča krajše čase osvetlitve. Poznamo kompaktne digitalne in zrcalno refleksne fotoaparate. Za astrofotografijo so primernejši zrcalno refleksni fotoaparati, zaradi večje površine detektorja in možnosti dolgih osvetlitev. Problem daljšega časa osvetlitve in večje ISO občutljivosti se kaže kot količina digitalnega šuma, ki pa je večji, če je temperatura okolice višja. Ta problem rešujemo tako, da naredimo veliko posnetkov istega objekta in z nadaljnjo obdelavo zmanjšamo šum vključno z odštevanjem t.i. 'temnega posnetka' in nato posnetke sestavimo skupaj. Na spletu lahko najdemo več brezplačnih programov, ki so namenjeni za obdelavo astrofotografij [15][19].

## **CCD kamere za astronomijo**

Prednost uporabe CCD kamer za astronomijo je v tem, da imajo možnost hlajenja čipa, kar pripomore k zmanjšanju šuma. V primeru, da sama CCD kamera nima lastnega spomina, jo je potrebno priključiti na računalnik, kamor se shranjujejo posnetki. Poznamo več vrst CCD kamer. Monokromatske, ki so brez filtra na CCD čipu, so namenjene sprejemanju čim večje količine svetlobe. Če želimo barvni posnetek, potrebujemo RGB filtre. Uporabljajo pa se tudi ozkopasovni filtri, ki prepuščajo zelo majhno področje vidnega spektra, npr. H-alpha, in so namenjeni za boljše posnetke meglic. Potrebno je še povedati, da so CCD kamere koristne tudi za astronomska merjenja – astrometrijo, fotometrijo in spektrofotografijo, ne le za dobivanje lepih posnetkov nočnega neba [15][21].

## **Planetarne in web kamere**

Uporabljamo jih za snemanje planetov našega Osončja. Gre za digitalne kamere, katerih glavna prednost je, da omogočajo snemanje video izsekov in s tem trenutke stabilne atmosfere, ko je slika čim bolj ostra. Te kamere ne potrebujejo čipa velikih dimenzij, saj planeti zavzamejo v najboljšem primeru le nekaj sto slikovnih elementov. Predvsem je važno, da imamo čim večji prenos slik na sekundo in to brez izgube podatkov med njihovo kompresijo. Slaba lastnost web kamer, da so manj občutljive na svetlobo, zato se amaterji raje poslužujejo planetarnih kamer, ki so malenkost prirejene web kamere. Iz video posnetkov nato računalnik s pomočjo specializiranega programa za obdelavo izbere najostrejše slike, ki se sestavijo tako, da nastane ostra in podrobna slika planeta [15][19][21].

### **3.1.2 Metode fotografiranja**

#### **Posnetki s fotografskim stativom**

Ta metoda je najenostavnejša in za njo ne potrebujemo teleskopa temveč objektiv fotoaparata, najpogosteje širokokotnega. Dolžina ekspozicije, ki se uporablja pri tej metodi, je največ do 3 sekunde, da ostanejo zvezde točkaste. Za posebne efekte, kot so na primer zvezdni sledovi, pa moramo imeti daljšo ekspozicijo. Nprekinjene nekajurne ekspozicije navadno delamo s klasičnim fotoaparatom. Z digitalnim fotoaparatom je boljše posneti več zaporednih krajših ekspozicij, ki jih kasneje sestavimo v programu za obdelavo fotografij [15][19][21].

#### **Montaže, ki vključujejo rotacijo nočnega neba**

Na fotografski stativ je možno montirati tudi tako imenovano montažo za kompenzacijo rotacije nočnega neba, ki jo lahko naredimo sami ali pa kupimo že narejene sledilnike. S takšnimi montažami ponavadi delamo posnetke z ekspozicijami daljšimi od 10 min in s teleobjektivi do približno 200 mm goriščne razdalje [21].

#### **"Piggyback" metoda**

Ta metoda je pogosta pri amaterskih astronomih, ki imajo teleskop z ekvatorijalno montažo in lahko fotoaparata pričvrstijo vzporedno s teleskopom ter tako koristijo kompenzacijo rotacije nočnega neba. Seveda fotoaparata še vedno uporablja le svoj objektiv, medtem ko lahko s pomočjo teleskopa delamo korekcije. Prednost te metode je, da lahko zelo natančno sledimo vrtenju nočnega neba in uporabljamo fotoaparata z njegovimi teleobjektivi [21].

#### **Snemanje skozi teleskop**

Za podrobne posnetke nebesnih objektov je seveda najboljšo uporabiti teleskop. Tu obstaja več metod snemanja skozi teleskop:

- **Snemanje v primarnem gorišču teleskopa** – ta metoda uporablja izključno refleksne fotoaparata ali astronomske CCD kamere. S fotoaparata snamemo objektiv in fotoaparata pritrdimo na mesto okularja teleskopa s pomočjo adapterja. Tako teleskop deluje kot velik teleobjektiv. To metodo lahko uporabimo na vseh vrstah teleskopov, čeprav je ponavadi potreben kakšen vmesni del med fotoaparatom in teleskopom, ki zagotovi, da je slika brez optičnih napak. Pri alt-azimutalni montaži teleskopa je

ponavadi potreben še derotator vidnega polja. Pri ekvatorialni montaži teleskopa ta ni potreben [15][21].

- **Okularna projekcija** – uporablja se za snemanje planetov. Okular projicira povečano sliko na senzor fotoaparata/kamere, iz katerega smo odstranili objektiv. Tako dobimo povečano sliko planeta, da lahko vidimo njegove detajle na površini. Namesto okularja lahko uporabimo barlow lečo ali telekonverterje, ki s svojim optičnim sestavom povečujejo goriščno razdaljo teleskopa in tako omogočijo, da dobimo povečano sliko planeta [15][21].
- **Afokalna metoda** – s fotoaparati, ki jim ne moremo sneti objektiv, pa lahko snemamo skozi teleskop tako, da objektiv prislonimo na okular teleskopa. Za kvalitetno sliko je potrebno fotoaparat fiksirati, da se ne trese. Na ta način je možno dobiti lepe slike planetov ter meglic ali zvezdnih kopic [15][21].

## 4 Določanje sinodske in siderske periode Lune s fotografiranjem

Periodo, s katero se ponavljajo Lunine faze, sem izmeril tako, da sem mesec in pol vsako noč, ko so dopuščale vremenske razmere, fotografiral Luno. Na slikah sem nato izmeril, kolikšen je z Zemlje viden delež osvetljenega dela Lune, in določil sinodsko periodo s pomočjo grafa, ki sem ga dobil iz meritev.

### 4.1 Oprema

Večino opreme za izvedbo diplomske naloge mi je posodil Astronomsko geofizikalni observatorij Golovec, kjer so mi pokazali tudi uporabo le-te. Oprema, ki sem jo uporabljal za fotografiranje Lune, je optična cev Maksutov MTO-11CA, leseno stojalo ter fotoaparati Canon EOS 300D.

#### 4.1.1 Optična cev

Optična cev, ki sem jo uporabljal za izvajanje meritev oziroma posnetkov, je MTO-11CA 10/1000, ki temelji na zasnovi znanega sovjetskega inženirja Maksutova. Gre za teleobjektiv z goriščno razdaljo 1000 mm, največjo odprtino f10 ter zornim kotom  $2,5^\circ$ . Ima tudi lastno fokusirno območje, ki deluje od 8 m do neskončno. Za pritrditev fotoaparata na optično cev sem uporabil adapter za Canon.



Slika 10: Teleobjektiv Maksutov MTO-11CA.

#### 4.1.2 Montaža

Za montažo sem uporabil čvrsto leseno stojalo in doma izdelano držalo za optično cev, saj je optična cev starejša in so se zaradi uporabe obrabili navoji za pritrditev na originalno stojalo ali motorizirano montažo. Zaradi navideznega gibanja neba sem moral ročno loviti Luno v center skoraj za vsak posnetek, za kar je bila potrebna natančnost in potrpežljivost.



Slika 11: Leseno stojalo in držalo za optično cev.

### 4.1.3 Fotoaparati

Uporabil sem zrcalno refleksi fotoaparati Canon EOS 300D. Fotoaparati ima optično iskalo, ISO občutljivost od 100 do 1600 in ločljivosti 6,7 milijonov slikovnih točk (3072 x 2048). Kljub starejšemu modelu pa fotoaparati ponuja kvalitetne slike in, kar je najpomembnejše zame, ima nizek šum.



Slika 12: Oprema, uporabljena pri slikanju.

## 4.2 Metode meritev

Za zajem fotografij Lune sem uporabil metodo fotografiranja v primarnem gorišču, ki nam omogoča zajem fotografij direktno skozi teleskop.

## 4.3 Opazovanja

### 4.3.1 Izvedba

Za izvedbo meritev in kasnejšo obdelavo le teh sem najprej fotografiral Luno v različnih fazah. To je potekalo tako, da sem vsako jasno noč od 24.8.2012 do 1.10.2012 v času, ko je bila Luna na obzorju, naredil nekaj fotografij Lune s pomočjo prej omenjene opreme. Opazovanja sem opravljal v Krškem, točneje na Sremiču pri zapuščenem gostišču Tri lučke.

Tabela 3: Tabela opazovanj.

Datum	Ura
23.8.2012	20:23
25.8.2012	21:22
27.8.2012	23:59
28.8.2012	21:30
29.8.2012	22:34
30.8.2012	21:21
5.9.2012	1:36
8.9.2012	1:26
9.9.2012	2:04
10.9.2012	2:51
11.9.2012	5:39
12.9.2012	4:59
20.9.2012	20:35
21.9.2012	20:26
22.9.2012	19:54
23.9.2012	20:05
24.9.2012	21:08
25.9.2012	20:09
27.9.2012	0:16
30.9.2012	0:07
1.10.2012	22:29

Najprej sem postavil leseno stojalo in ga fiksiral, nanj pritrdil doma izdelano držalo za teleskop, nato pa še vanj pritrdil teleobjektiv. Na teleobjektiv sem nato s pomočjo adapterja pritrdil fotoaparatus v primarno gorišče, ki omogoča zajem fotografij direktno skozi teleskop. Nato sem skozi optično iskalo poiskal Luno in jo poskušal postaviti čim bolj v center. Ostrenje na teleobjektivu sem imel ves čas na neskončno, kar mi je omogočilo ostro sliko. Na fotoaparatu sem nato nastavljal nastavitve ISO in nastavitve zaklopke. ISO sem imel nastavljen na 200, zaklopko pa sem spreminjal glede na osvetljenost Lune in sicer od 1/30 sekunde, ko je šla Luna proti prvemu oz. proti koncu zadnjega krajca, pa do 1/400 sekunde, ko je bila Luna polna. S pomočjo sprožilca, ki mi je omogočil, da se vse skupaj ni zamajalo, sem nato naredil nekaj posnetkov in sproti še popravil zaklopko, kadar je bilo to potrebno.

Ker moje stojalo ni imelo motoriziranega sledenja, sem moral zaradi navideznega gibanja neba skoraj za vsak posnetek ponovno poiskati Luno in jo postaviti v center. Tako sem dobil vedno precej fotografij Lune, med katerimi sem v nadaljnjem koraku uporabil le eno, na kateri sem izvedel meritve.

Na sliki 13 so prikazane vse astrofotografije Luninih men, ki sem jih uporabil v nadaljnjih meritvah in izračunih.



Slika 13: Astrofotografije Luninih men.



## 4.4 Meritve in rezultati

### 4.4.1 Obdelava fotografij in merjenje količin

Za nadaljnje pridobivanje podatkov sem fotografije obdelal v programu Corel Designer X5. V program sem uvozil fotografijo in s pomočjo orodja za risanje krožnice skozi tri točke očrtal Luni krožnico. To sem naredil tako, da sem na svetlem robu Lune določil tri točke, ki so določale krožnico, ki se je najbolje prilegala Luni. Nato sem z orodjem za risanje daljic narisal pravokotna si premera, ki sta mi predstavljala koordinatni sistem  $x,y$  s središčem v središču krožnice. Označil sem ga s točko 0.

Potrebno je bilo še poiskati mejo med osvetljenim in temnim delom Lune. Ker je Luna 3D objekt, bi morala biti meja določena s krožnico, vendar ker gre za fotografijo, se ta krožnica projicira na ravnino fotografije in jo vidimo v vseh primerih kot elipso, razen ko je Luna polna ali prazna, takrat jo vidimo kot krog. Elipso sem narisal z orodjem za risanje elipse skozi dve točki in središče, tako da se je najbolj prilegala med osvetljeni in temni del Lune. Tako sem pridobil tudi vse meje za nadaljnje merjenje razdalj na fotografiji.

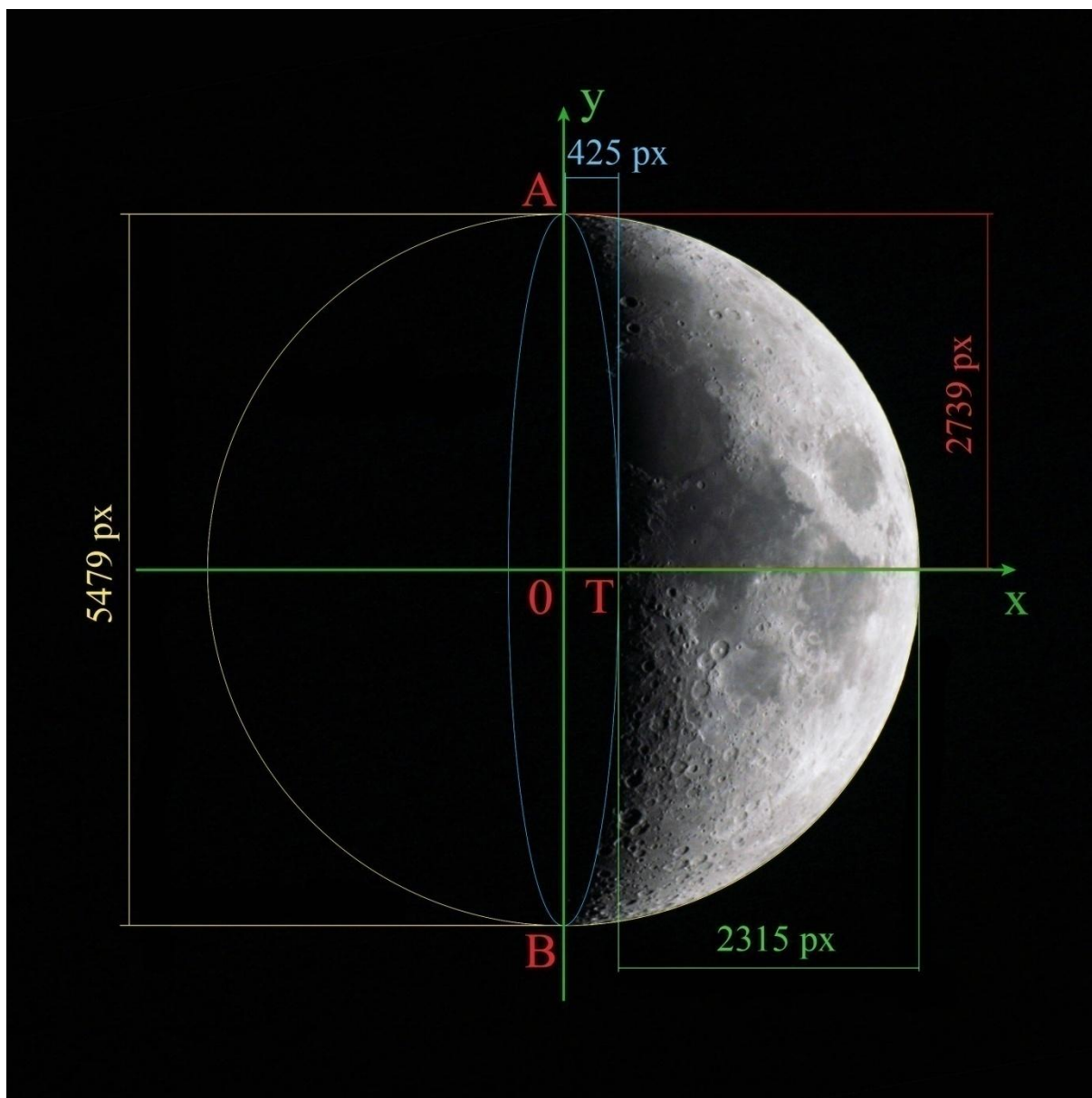
Razdalje sem izmeril z orodjem za merjenje razdalj, enoto za razdalje pa sem izbral sam, in sicer v enotah slikovnih elementov (angl. pixel), saj so to najmanjše enote na fotografiji in nimajo decimalnih mest. Razdalje, ki so me zanimale, so naslednje: premer, polmer in mala polos elipse, ki je razdalja od središča do terminatorja<sup>7</sup>.

Premer  $d$  je podan kot razdalja med točkama A in B. Polmer  $R$  je razdalja od središča Lune do severnega pola Lune, oziroma na fotografiji od točke 0 do točke A. Mala polos elipse  $b$  je na fotografiji razdalja od središča Lune do terminatorja, oziroma od točke 0 do točke T na terminatorju. Te podatke sem potreboval za vsako zajeto fotografijo, da sem lahko kasneje izračunal razmerje  $b/R$ .

S tem je bila fotografija obdelana in pridobil sem potrebne podatke, zato je sledilo le še to, da shranim nastalo sliko. To sem storil z ukazom »Save as Web«, ki shrani obdelano sliko v formatu .jpg (slika 14).

---

<sup>7</sup> TERMINATOR je meja med osvetljeno in neosvetljeno poloblo Lune.



Slika 14: Slika iz obdelane fotografije Lune v programu Corel Designer X5.

#### 4.4.2 Tabela meritev

Izmerjene količine s programom Corel Designer X5 sem vnašal v tabelo v Excelu, saj je z njim preprosto obdelati podatke.

Ko sem imel v tabeli vnesene izmerjene količine, sem za vsako posneto fotografijo izračunal razmerje  $b/R$ . Ker je koordinatno središče postavljeno v središče Lune, je razdalja  $R$  vedno pozitivna, medtem ko je razdalja  $b$  v primeru, da je terminator na pozitivnem delu osi  $x$ , pozitivna, v primeru, ko je terminator na negativnem delu osi  $x$ , pa je razdalja  $b$  negativna.

Izračunal pa sem tudi čas, ki je minil od prvega posnetka fotografije do vsakega nadaljnjega posnetka. Čas sem zapisal v urah in ga zaokrožil na 3 decimalna mesta. Tako sem pridobil ustrezne podatke, da sem lahko narisal graf odvisnosti razmerja  $b/R$  od časa.

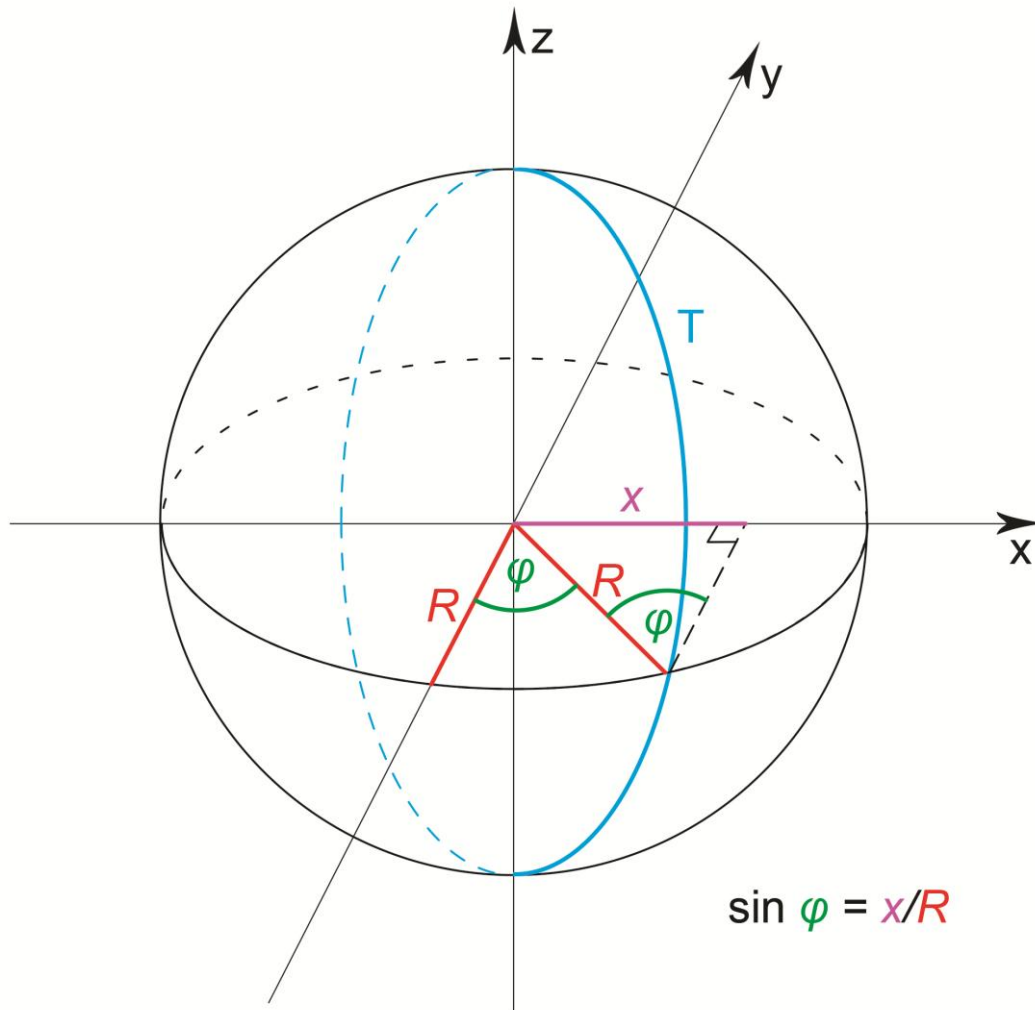
Absolutna napaka meritve razdalje  $b$  je  $\pm 10$  px, saj je terminator težje določiti zaradi razgibanega površja Lune, ki povzroča, da je terminator, ki ga določim, le približna meja. Absolutna napaka meritve polmera  $R$  je natančnejša in znaša  $\pm 5$  px, saj je napaka pri očitranju krožnice Luni manjša. Napako razmerja  $b/R$  dobim po pravilu seštevanja napak v primeru množenja/deljenja, zato relativni napaki razdalje  $b$  in polmera  $R$  seštejemo. Ko izračunam absolutno napako razmerja  $b/R$ , se napaka pojavi na 3 decimalnem mestu, vendar ker je v večini primerov na tretjem decimalnem mestu število 2, je potrebno zapisati še eno decimalno mesto, zato je absolutna napaka razmerja  $b/R$  zaokrožena na 4 decimalna mesta.

Tabela 4: Tabela meritev količin iz fotografij.

$N$	Slika	Datum	Ura	$\Delta t$ [h]	$AB = d$ [px]	$OA = R$ [px]	$OT = b$ [px]	Razmerje $b/R$
1	IMG_0973	23.8.2012	20:23	0,000	5479	2739	425	0,1552
2	IMG_1044	25.8.2012	21:22	48,983	5500	2750	-835	-0,3036
3	IMG_1197	27.8.2012	23:59	99,600	5451	2725	-1940	-0,7119
4	IMG_1215	28.8.2012	21:30	121,117	5413	2706	-2235	-0,8259
5	IMG_1267	29.8.2012	22:34	146,183	5375	2688	-2537	-0,9438
6	IMG_1304	30.8.2012	21:21	168,967	5323	2662	-2628	-0,9872
7	IMG_1353	5.9.2012	1:36	293,217	5095	2547	-1644	-0,6455
8	IMG_1364	8.9.2012	1:26	365,050	5035	2518	-351	-0,1394
9	IMG_1433	9.9.2012	2:04	389,683	4876	2438	103	0,0422
10	IMG_1505	10.9.2012	2:51	414,467	4902	2451	679	0,2770
11	IMG_1546	11.9.2012	5:39	441,267	5185	2593	1232	0,4751
12	IMG_1593	12.9.2012	4:59	464,600	5213	2607	1638	0,6283
13	IMG_1723	20.9.2012	20:35	672,200	5444	2722	1166	0,4284
14	IMG_1758	21.9.2012	20:26	696,050	5479	2739	556	0,2030
15	IMG_1780	22.9.2012	19:54	719,517	5464	2732	0	0,0000
16	IMG_1815	23.9.2012	20:05	743,700	5432	2716	-631	-0,2323
17	IMG_1941	24.9.2012	21:08	768,750	5397	2698	-1215	-0,4503
18	IMG_2008	25.9.2012	20:09	791,767	5345	2673	-1686	-0,6308
19	IMG_2090	27.9.2012	0:16	819,883	5296	2648	-2086	-0,7878
20	IMG_2178	30.9.2012	0:07	891,733	5195	2597	-2582	-0,9942
21	IMG_2270	1.10.2012	22:29	938,100	5094	2547	-2439	-0,9576

#### 4.4.3 Graf

Pri opazovanju Lune smo pozorni predvsem na lego terminatorja, ki se sinusno spreminja s časom. Za lažjo predstavitev si pogledjmo sliko 15.



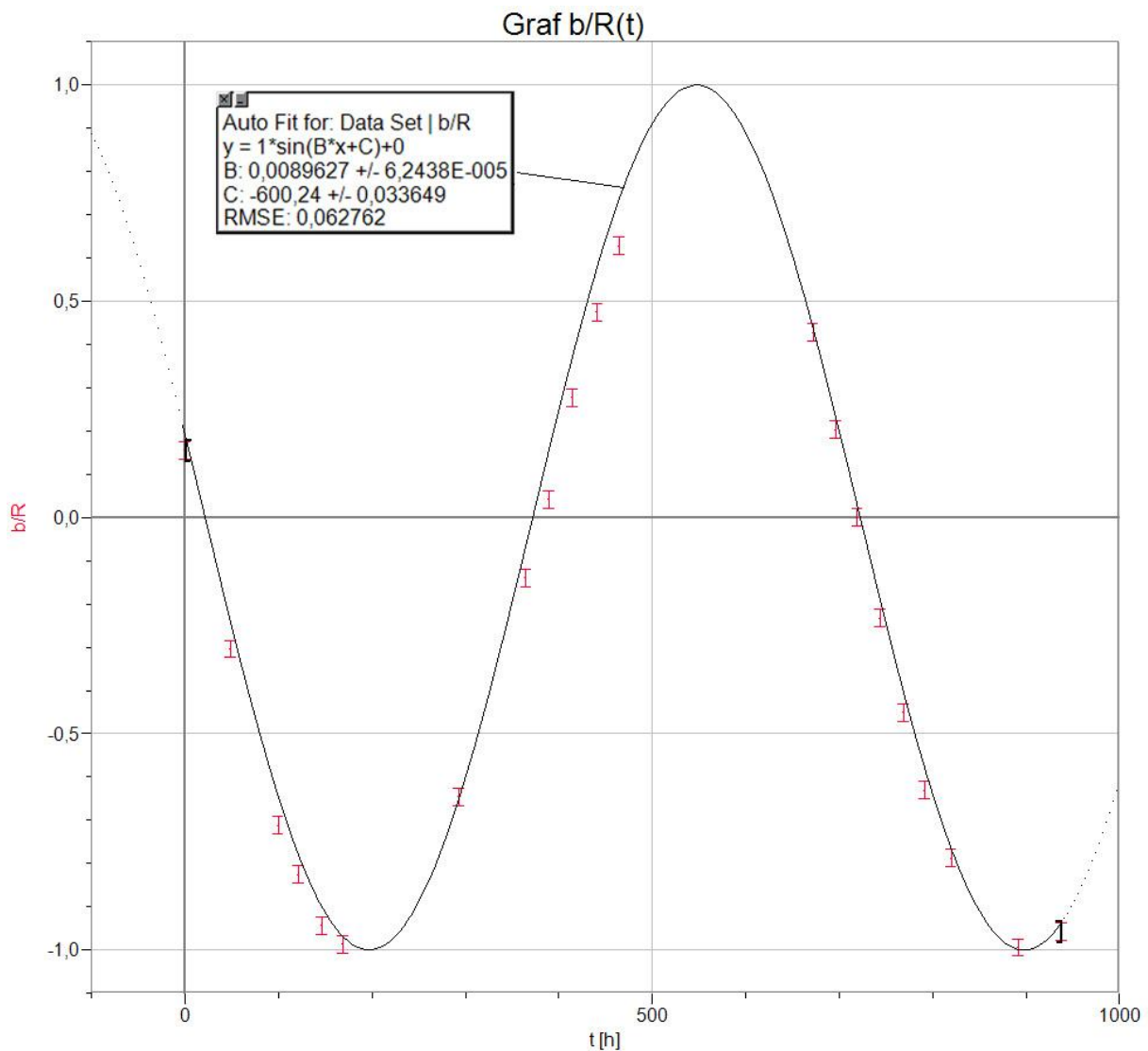
Slika 15: Prikaz sinusne odvisnosti lege terminatorja.  $R$  je polmer Lune,  $T$  je terminator,  $\varphi$  je kot med osjo  $y$  in terminatorjem ter  $x$  je projekcija lege terminatorja na os  $x$  v smeri osi  $y$ .

Luno gledamo v smeri  $y$  in vidimo lego terminatorja pod kotom  $\varphi$  kot projekcijo kroga na ravnino slike Lune. V sredi slike Lune je dolžina te projekcije (oddaljenost terminatorja od sredine Lune na sliki) razdalja  $x$ . Kot vidimo na sliki 15, je  $\varphi$  kot med smerjo od središča Lune do terminatorja in našo smerjo pogleda. Ker terminator projiciramo na os  $x$  v smeri  $y$ , tako dobimo pravokotni trikotnik s kateto  $x$  in hipotenuzo  $R$  ter kotom  $\varphi$ . Sedaj lahko zapišemo eno od enačb kotnih funkcij, ki velja v pravokotnem trikotniku:

$$\sin \varphi = \frac{x}{R}. \quad (4.1)$$

Graf sem narisal s pomočjo programskega orodja Logger Pro. V program sem vnesel podatke iz tabele, in sicer razmerje  $b/R$  in čas z upoštevanima napakama obeh. Program sam omogoča risanje prilagoditvene funkcije. Ker gre za projekcijo krožnice pod različnim kotom  $\varphi$ , ki se (v prvem približku) spreminja enakomerno s časom, je očitno, da gre za projekcijo kroga na ravnino slike Lune, ki nam prinese sinus, zato izberemo funkcijo, ki ima enačbo  $y = A \cdot \sin(B \cdot t + C) + D$ . Primerjava z enačbo (4.1) pove, da lahko izberem  $A = 1$  (amplituda sinusa) in  $D = 0$  (premik v smeri osi  $y$ ).

Program je tako narisal prilagoditveno funkcijo in podal še ostala dva parametra, ki sta bila neznan, ter njuni napaki (slika 16).



Slika 16: Graf, narisan s prilagoditveno funkcijo programa Logger Pro.

#### 4.4.4 Rezultati

Parametri funkcije  $y = A \cdot \sin(B \cdot t + C) + D$ , ki se najboljše prilega meritvam, so naslednji:

- $A = 1$ ,
- $B = 0,0089627 \text{ h}^{-1} \pm 0,0000624 \text{ h}^{-1}$ ,
- $C = 750,65 \pm 0,03$ ,
- $D = 0$ .

Parameter  $A$  predstavlja amplitudo sinusa, parameter  $B$  določa sinodsko periodo, ki je določena kot  $2\pi/B$ , parameter  $C$  določa premik v smeri osi  $x$  in parameter  $D$  premik v smeri osi  $y$ .

Zanimal me je predvsem parameter  $B$ , ki določa periodo, saj iz njega po enačbi (4.2) takoj dobim sinodski obhodni čas Lune iz mojih meritev.

Vrednost parametra  $B$  lahko zapišem kot:

$$B = 0,0089627 \text{ h}^{-1} \pm 0,0000624 \text{ h}^{-1} = 0,0089627 \text{ h}^{-1} \cdot (1 \pm 0,70 \%).$$

Izračunam še sinodsko periodo  $S$ :

$$S_L = \frac{2\pi}{B} \tag{4.2}$$

$$S_L = 701,04 \text{ h} (1 \pm 0,7 \%) = 29,21 \text{ dni} (1 \pm 0,7 \%) = 29,21 \text{ dni} \pm 0,20 \text{ dni}.$$

Za izračun siderske periode uporabimo zvezo med sidersko in sinodsko periodo, enačba (2.9) in iz nje izpostavimo  $P_L$ :

$$P_L = \frac{P_Z \cdot S_L}{P_Z + S_L} \tag{4.3}$$

in vanjo vstavimo ostale podatke ( $P_Z = 365,26 \text{ dni}$  [22]).

Siderska perioda Lune znaša

$$P_L = 27,05 \text{ dni } (1 \pm 0,8 \%) = 27,05 \text{ dni } \pm 0,20 \text{ dni.}$$

Na ta način sem iz meritev določil sinodsko periodo Lune, iz zveze med sinodsko in sidersko periodo po enačbi (4.3) pa še sidersko periodo.

#### 4.4.5 Primerjava rezultatov

Svoje rezultate sem primerjal s podatki mednarodnih observatorijev, vesoljskih agencij ter spletnih strani. Povprečna sinodska perioda Lune je 29,53 dni ter niha med 29,27 dni in 29,83 dni. Povprečna siderska perioda Lune je 27,32 dni.

Med mojimi opazovanji je Luna 1,5-krat obkrožila Zemljo, zato sta bili dve malce različni sinodski periodi. Prva je znašala 29,43 dni, kar je 29 dni 10 h 16 min, druga pa je znašala 29,41 dni, kar je 29 dni 9 h 52 min [23]. Ker moje meritve in rezultati predstavljajo povprečje med mojimi opazovanji, izračunam tudi povprečje obeh sinodskih period, ki tako znaša 29,42 dni oziroma 29 dni 10 h 4 min. Tako lahko izračunam po enačbi (4.3) še sidersko periodo Lune. Ta znaša 27,23 dni.

Sinodska perioda Lune, ki sem jo določil s pomočjo meritev in grafa, je 29,21 dni  $\pm$  0,20 dni. Relativna napaka meritve tako znaša 0,7%.

Siderska perioda Lune, ki jo dobim iz zveze med sinodsko in sidersko periodo, je 27,05 dni  $\pm$  0,20 dni. Relativna napaka te meritve je 0,8%.

Sinodska perioda in posledično siderska se v okviru napake dobro ujemata z vrednostmi iz literature. Sta pa morda res malo daljši, kot pravi najboljši fit na grafu na sliki 16. Če namreč dobro pogledamo prilagoditveno krivuljo na delu, kjer gre  $b/R$  proti -1, se zdi, da bi daljša perioda bolj ustrezala meritvam. Tu verjetno ponagaja libracija, saj zaradi nje ne dobimo čistega sinusa ( $Bt + C$ ), ker  $B$  ni čisto konstanten. S tem ko fitamo sinus, pa na tistem delu grafa, ko  $b/R$  narašča od 0 navzgor, sili fit h krajši periodi.

## 4.5 Komentar

Napake pri končnih rezultatih so nastale zaradi več različnih faktorjev, ki so bili prisotni med samim procesom, tako pridobivanja fotografij kot tudi pri obdelavi podatkov.

Prvi faktor, ki je močno vplival na to, ali bo astrofotografija dovolj kakovostna, je bilo vreme. Moralo je biti povsem jasno, da bi bila fotografija Lune čim bolj ostra. Vendar pa vreme vpliva tako na vlažnost kot tudi na temperaturo. Ker imamo opravka z optičnimi instrumenti, je slednja še kako pomembna. Pametno je bilo počakati kakšnih deset minut, da se je temperatura optičnih instrumentov prilagodila temperaturi okolice.

Na kakovost astrofotografije je vplivala tudi ostrina, saj boljša kot je ostrina, lažje je določiti terminator Lune in posledično je potem tudi napaka manjša. Z določanjem ostrine posnetka sem imel težave predvsem na začetku, vendar teh meritev nisem vključil.

Kljub dobri ostrini astrofotografije pa je vseeno težko določiti točen potek terminatorja, saj Luna ni gladka krogla. Ker ima Luna na nekaterih delih gorovja, le-ta zasenčijo stran, ki je obrnjena stran od Sonca in tako pride do napake pri določitvi terminatorja, to pa posledično privede do napake končnih rezultatov.

Če pokomentiram končne rezultate, ki sem jih dobil, lahko rečem, da se v okviru napake končni rezultati meritev ujemajo s spletnimi podatki. Napaka v mojih rezultatih je precej majhna, manjša od 1%. Vzrok za tako majhno napako je predvsem ta, da sem posnel veliko število astrofotografij ter da so le-te visoke resolucije, ki je bila ključnega pomena za določanje terminatorja Lune. Lahko rečem, da sem s svojimi meritvami in izračuni podkrepil že znana dejstva o Luni in njenem siderskem oziroma sinodskem mesecu.

Tako sem pokazal, da lahko s pomočjo astrofotografije pridemo do zelo zanimivih dognanj o Vesolju, ki nas obdaja. Predvsem pa je bistveno to, da so rezultati, ki jih dobimo iz takšnih meritev, primerljivi z dejanskimi vrednostmi in podatki, ki jih merijo veliko bolj natančni instrumenti, ki jih uporabljajo observatoriji in vesoljske agencije.



## **5 Določanje sinodske in siderske periode Lune ter navidezne hitrosti Lune s križno palico**

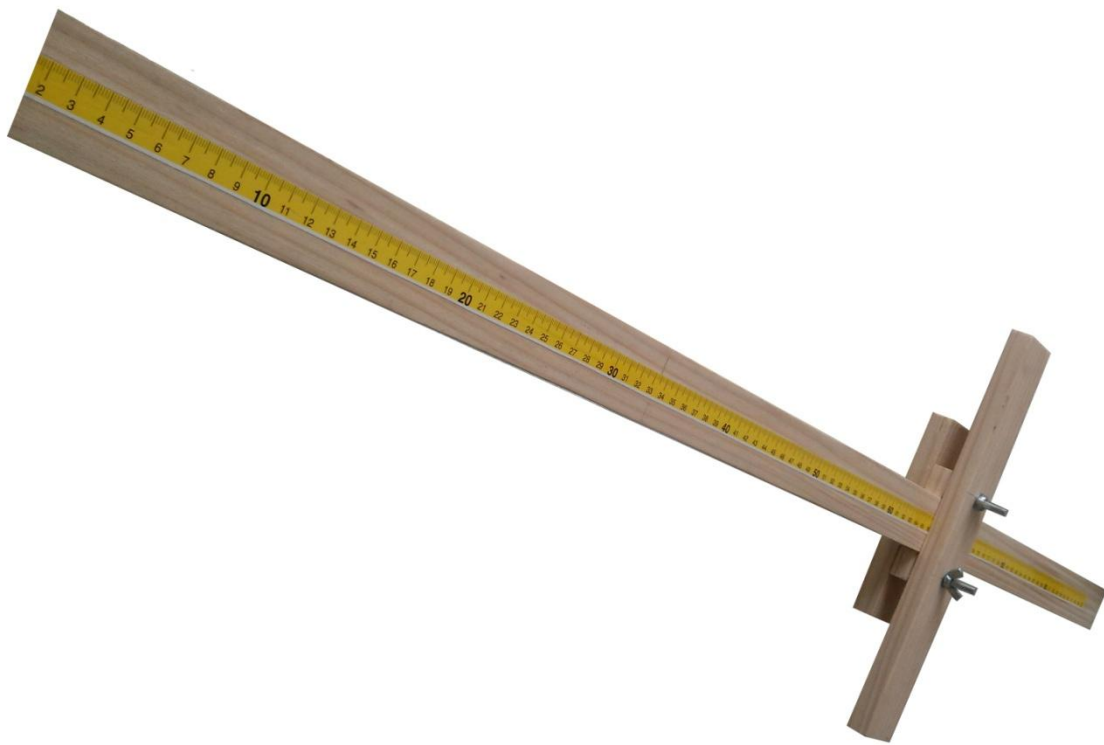
S križno palico sem v nekaj zaporednih nočeh določil položaj Lune med zvezdami ter iz spreminjanja njenega položaja izračunal Lunin dnevni in mesečni premik. Nato sem iz premikov in znanega časa opazovanj izračunal sinodsko in sidersko periodo Lune. S pomočjo spleta sem pogledal, kakšna je bila oddaljenost Lune do Zemlje na dan opazovanja in tako izmeril Lunino orbitalno hitrost.

### **5.1 Oprema**

Za merjenje kotov med Luno in zvezdami sem izdelal križno palico po navodilih iz Spike [24].

#### **5.1.1 Križna palica**

Križna palica je enostaven astronomski inštrument, ki ga uporabljamo za določanje kotov med nebesnimi telesi. Sestavljena je iz daljšega vodila, ki sem mu na obe strani nalepil merilo, in dveh krajših drsnih prečk. Uporabljali so jo že aleksandrijski astronomi, kasneje pa tudi pomorščaki in ribiči. Danes je ta inštrument uporaben predvsem v astronomiji za hitro določanje kotov med nebesnimi telesi. Ker je precej preprost, lahko z njim delajo tudi otroci pri opazovanju nočnega neba.



Slika 17: Doma izdelana križna palica.

## 5.2 Metode meritev

Za merjenje kotov med Luno in zvezdami za kasnejše vrisovanje v zvezdno karto sem uporabil križno palico.

## 5.3 Opazovanja

### 5.3.1 Izvedba

Merjenje kotov med Luno in zvezdami za določitev lege Lune na zvezdni karti sem izvajal od 21.9.2012 do 30.9.2012 (za določitev dnevnega premika glede na zvezde) ter še 22.10.2012 (za določitev mesečnega premika Lune glede na zvezde). Meritve so izvedene okoli prvega krajca, saj je takrat enostavnejše določiti sredino Lune in so meritve tako natančnejše.

Tabela 5: Tabela opazovanj.

Datum	Ura
20.9.2012	20:45
21.9.2012	20:15
22.9.2012	19:50
23.9.2012	20:25
25.9.2012	20:20
27.9.2012	0:25
30.9.2012	0:15
22.10.2012	19:50

Pri tej metodi je pomembno poznavanje predela neba, kjer se nahaja Luna med merjenjem, saj je potrebno vedeti, od katere zvezde merimo kot. Zato sem si prej s pomočjo programa Stellarium pripravil zvezdno karto s predelom neba, kjer se je Luna nahajala tisti dan, ko sem meril kote, ali pa sem si na list prerisal najsvetlejše zvezde v tem predelu neba. Uporabna je tudi Googlova aplikacija za pametne mobilne telefone Google Sky, s katero si lahko pomagamo tako, da pogledamo ime zvezde, od katere smo merili kot do Lune.

Kote med Luno in zvezdami sem meril s pomočjo križne palice. Za natančnejše meritve sem si izbral zvezde, ki niso bile oddaljene od Lune za več kot 30 kotnih stopinj. V jasni noči sem tako poiskal izbrano svetlo zvezdo, ki je bila blizu Lune [25]. Vodilo križne palice sem prislonil na ličnico tik pod očesom, prečko pa premaknil v takšno lego, da je bil prvi konec prečke poravnani z izbrano zvezdo, drugi konec prečke pa s sredino Lune. Nato sem na merilu odčital, za koliko je prečka oddaljena od očesa. Te meritve sem nato za lažjo obdelavo podatkov pretvoril v kotne stopinje. Ker sem meril v času okoli prvega krajca, je bila sredina Lune ravno na terminatorju. Nato sem odčital vrednost na merilu in jo zapisal na prej pripravljeno zvezdno karto ali list ter zraven zapisal čas meritve. Naredil sem vsaj tri takšne meritve do drugih svetlih zvezd. Meritve sem poskušal opraviti v čim krajšem času.

## 5.4 Meritve in rezultati

### 5.4.1 Razdalje med Luno in zvezdami

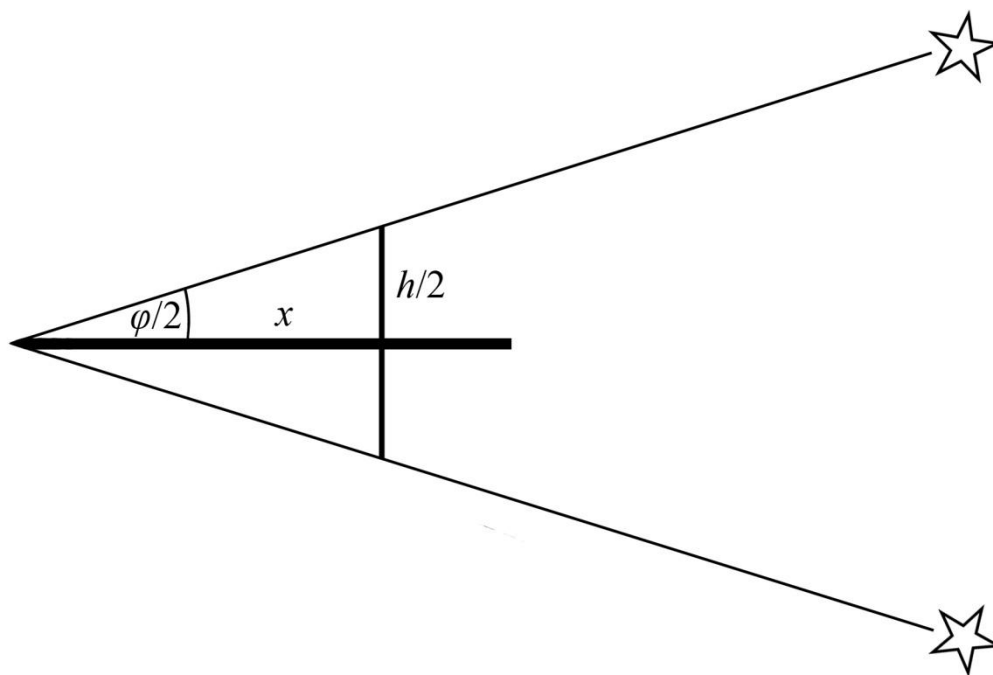
Meritve, ki sem jih dobil s križno palico, je bilo potrebno pretvoriti v kotne stopinje. To naredimo z uporabo kotne funkcije tangens po enačbi

$$\tan(\varphi/2) = \frac{h/2}{x}, \quad (5.1)$$

iz katere izpostavimo kot  $\varphi$  in dobimo

$$\varphi = 2 \cdot \arctan \frac{h}{2 \cdot x}, \quad (5.2)$$

kjer je  $\varphi$  iskani kot med Luno in izbrano zvezdo,  $h$  je dolžina prečke in  $x$  je oddaljenost od očesa (slika 18).



Slika 18: Križna palica in trigonometrija.

Meritve za posamezen dan opazovanja so prikazane v tabeli 6.

Tabela 6: Tabela kotnih razdalj od Lune do izbrane zvezde.

Dan	Ura	Izbrana zvezda	$\varphi$ [°]
20.9.2012	20:45	Antares	9,78
20.9.2012	20:45	Oph	14,94
20.9.2012	20:45	Sabik	18,64
21.9.2012	20:15	Acrab	11,81
21.9.2012	20:15	Dschubba	12,59
21.9.2012	20:15	Kaus Australis	23,10
21.9.2012	20:15	Nunki	28,67
21.9.2012	20:15	Oph	12,16
21.9.2012	20:15	Yed Prior	21,19
22.9.2012	19:50	Antares	20,23
22.9.2012	19:50	Kaus Australis	14,79
22.9.2012	19:50	Nunki	15,10

23.9.2012	20:25	Altair	32,09
23.9.2012	20:25	Cebalrai	30,78
23.9.2012	20:25	Dabih	21,24
23.9.2012	20:25	Sabik	25,69
25.9.2012	20:20	Altair	26,58
25.9.2012	20:20	Deneb	14,75
25.9.2012	20:20	Nunki	29,34
25.9.2012	20:20	Sadachbia	26,66
25.9.2012	20:20	Sadalmelik	23,65
25.9.2012	20:20	Sadalsuud	13,65
25.9.2012	20:20	Situla	29,24
27.9.2012	0:25	Enif	18,70
27.9.2012	0:25	Homan	24,25
27.9.2012	0:25	Markab	31,30
27.9.2012	0:25	Skat	18,50
30.9.2012	0:15	Algenib	10,36
30.9.2012	0:15	Hamal	34,34
30.9.2012	0:15	Homan	22,58
30.9.2012	0:15	Markab	19,17
22.10.2012	19:50	Altair	25,77
22.10.2012	19:50	Ascela	25,77
22.10.2012	19:50	$\Theta$ Aql	14,93
22.10.2012	19:50	$\pi$ Sgr	20,47

#### 5.4.2 Določanje položaja Lune na zvezdni karti

Sledilo je določanje položaja Lune na zvezdni karti. Na prej pripravljeno ekvatorsko zvezdno karto s programom Stellarium sem s šestilom odmeril izmerjene kotne razdalje od izbranih (referenčnih) zvezd. Pred risanjem je bilo potrebno določiti merilo zvezdne karte, da sem lahko kotne razdalje pretvoril v to merilo.

Primer za dan 22.9.2012:

Na zvezdni karti je razdalja  $15^\circ = 9,3$  cm. Kotno razdaljo od Lune do izbrane zvezde sem označil s črko  $d$ . S pomočjo enačbe

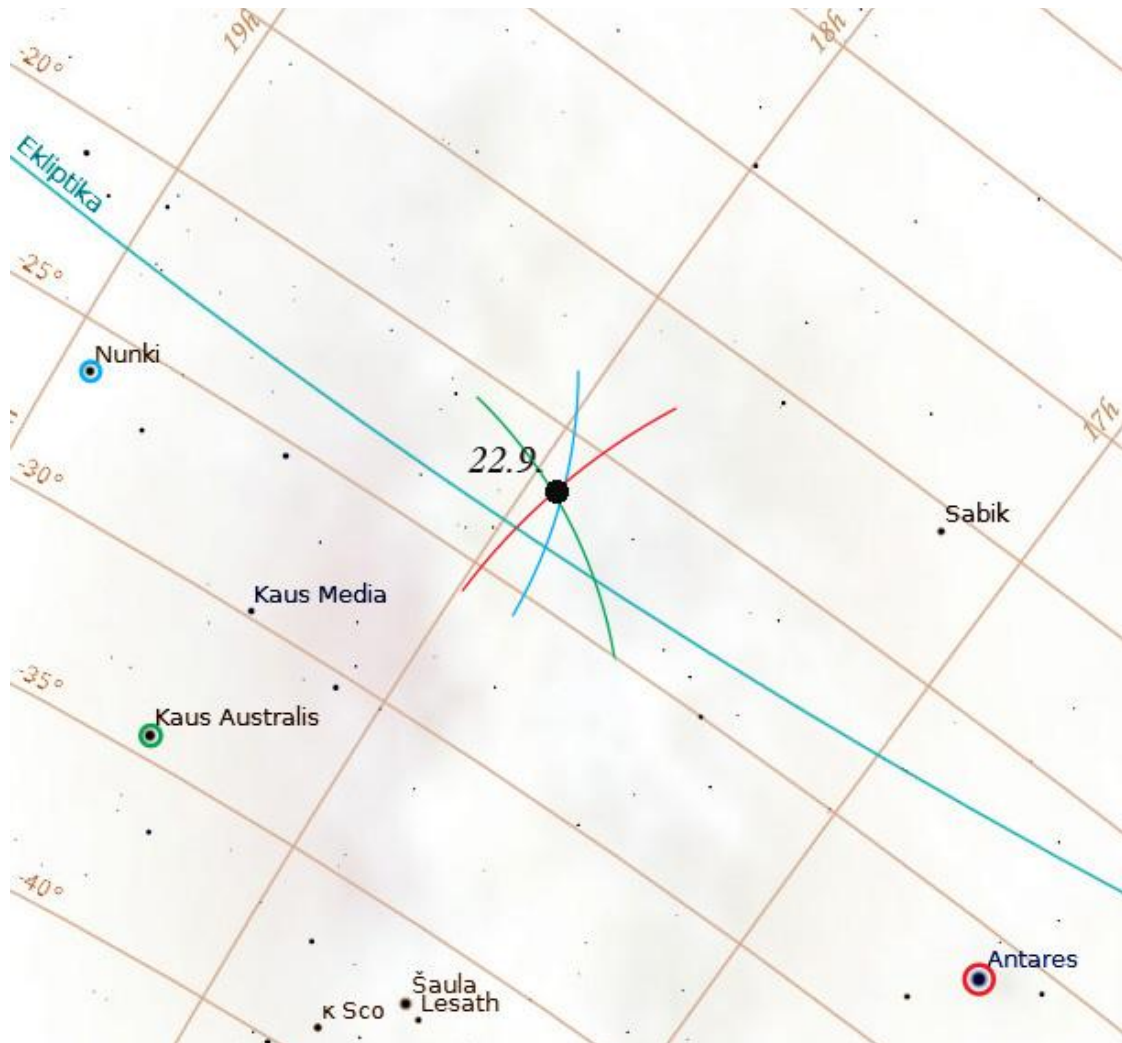
$$\frac{\varphi}{d} = \frac{15^\circ}{9,3 \text{ cm}} \quad (5.3)$$

sem lahko preprosto dobil razdalje na zvezdni karti za vsako izbrano zvezdo.

Tabela 7: Pretvorba iz kotnih stopinj v merilo zvezdne karte.

Datum	Ura	Izbrana zvezda	$\varphi$ [°]	Razdalja na zvezdni karti [cm]
22.9.2012	19:50	Antares	20,23	12,54
22.9.2012	19:50	Kaus Australis	14,79	9,17
22.9.2012	19:50	Nunki	15,10	9,36

Nato sem šestilo zapičil v središče izbrane zvezde na karti in narisal krajše loke. V presečišču lokov sem nato označil lego Lune (slika 19).



Slika 19: Ekvatorska zvezdna karta s predelom neba, kjer se je 22.9.2012 nahajala Luna. Lok, ki pripada izbrani zvezdi, je enake barve kot krogec, s katerim je obkrožena izbrana zvezda.

S pomočjo ekvatorialne zvezdne karte sem nato odčital nebesne koordinate lege Lune.

$$Ra = 17 \text{ h } 55 \text{ min } \pm 2 \text{ min}$$

$$\delta = -21,5^\circ \pm 0,5^\circ$$

$Ra$  je rektascenzija, ki je dolžina loka nebesnega ekvatorja, merjena v nasprotni smeri urinega kazalca od točke pomladišča do časovnega kroga nebesnega telesa.  $\delta$  je deklinacija, ki je razdalja od nebesnega ekvatorja do nebesnega telesa, merjena vzdolž časovnega kroga nebesnega telesa.

Za vsak dan opazovanj sem po istem postopku določil lego Lune in njene ekvatorske koordinate za nadaljnje izračune.

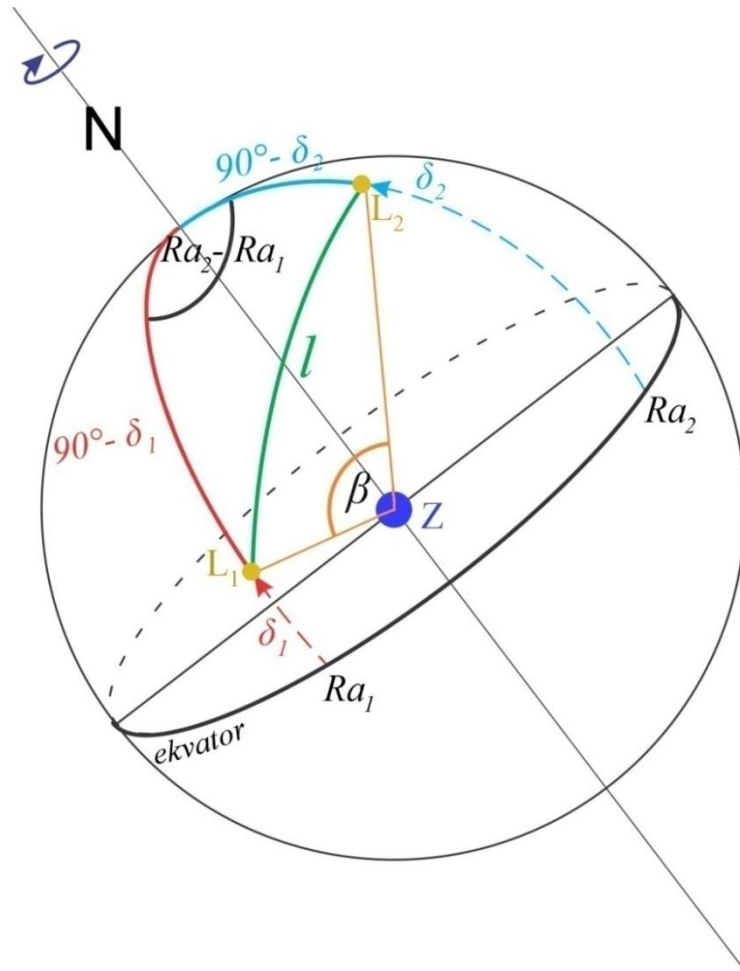
Tabela 8: Ekvatorske koordinate lege Lune, določene iz zvezdne karte.

Datum	Ura	$Ra$	Abs. napaka	$\delta$	Abs. napaka
20.9.2012	20:45	15 h 55 min	$\pm 2$ min	$-21,0^\circ$	$\pm 0,5^\circ$
21.9.2012	20:15	16 h 55 min	$\pm 2$ min	$-22,0^\circ$	$\pm 0,5^\circ$
22.9.2012	19:50	17 h 55 min	$\pm 2$ min	$-21,5^\circ$	$\pm 0,5^\circ$
23.9.2012	20:25	18 h 56 min	$\pm 2$ min	$-20,0^\circ$	$\pm 0,5^\circ$
25.9.2012	20:20	20 h 47 min	$\pm 2$ min	$-13,5^\circ$	$\pm 0,5^\circ$
27.9.2012	0:25	21 h 45 min	$\pm 2$ min	$-8,5^\circ$	$\pm 0,5^\circ$
30.9.2012	0:15	17 h 55 min	$\pm 2$ min	$-21,5^\circ$	$\pm 0,5^\circ$
22.10.2012	19:50	20 h 33 min	$\pm 2$ min	$-14,5^\circ$	$\pm 0,5^\circ$

### 5.4.3 Določanje mesečnega in dnevnega premika lege Lune glede na zvezde

Ker so me zanimali dnevni premiki in mesečni premik lege Lune glede na zvezde, sem te določil s pomočjo sferne trigonometrije. Za orientacijo na nebu si predstavljamo nebesno kroglo, ki ima v središču Zemljo, kot kaže slika 20. Ker poznamo deklinacijo in rektascenzijo Lune za vsak dan opazovanj, lahko s pomočjo krogelnega trikotnika izračunamo premik Lune.

Smer vrtenja nebesne krogle je od zahoda proti vzhodu, ravno obratno kot je vrtenje Zemlje. Dolžine stranic krogelnega trikotnika izražamo s pripadajočimi središčnimi koti, t.j. v kotnih enotah, po navadi v kotnih stopinjah.



Slika 20: Nebesna krogla in krogelni trikotnik. N – severni nebesni pol, Z – Zemlja, L – Luna,  $\delta$  – deklinacija,  $Ra$  – rektascenzija,  $l$  – premik Lune

Ker pri krogelnem trikotniku velja kosinusni izrek, lahko zapišemo

$$\cos l = \cos(90^\circ - \delta_2) \cdot \cos(90^\circ - \delta_1) + \sin(90^\circ - \delta_2) \cdot \sin(90^\circ - \delta_1) \cdot \cos(Ra_2 - Ra_1). \quad (5.4)$$

Po matematičnih pravilih sledi

$$\cos l = \sin(\delta_2) \cdot \sin(\delta_1) + \cos(\delta_2) \cdot \cos(\delta_1) \cdot \cos(Ra_2 - Ra_1), \quad (5.5)$$

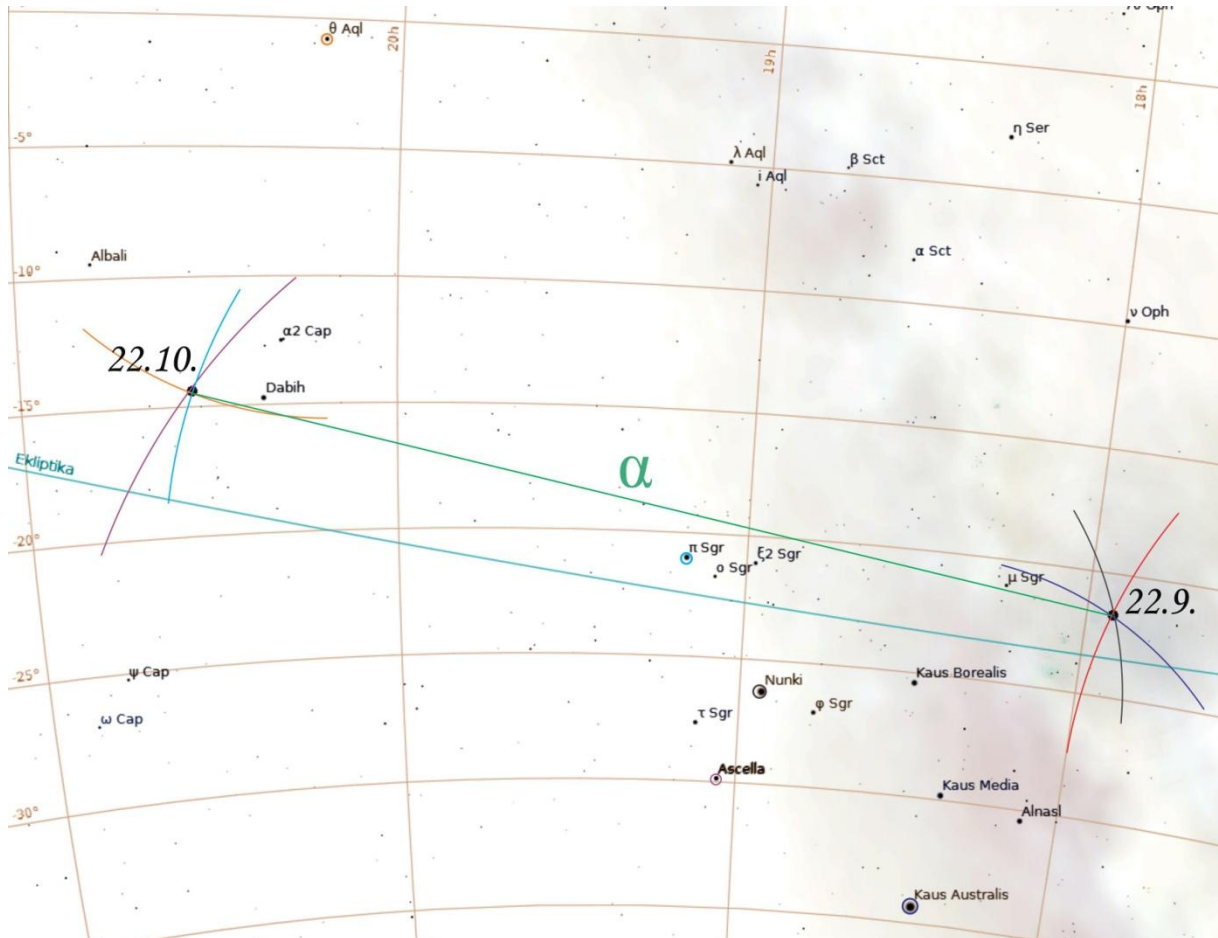
kjer je  $l$  premik lege Lune glede na zvezde,  $Ra$  koordinata rektascenzije v kotnih stopinjah in  $\delta$  deklinacija.



## $\alpha$ - mesečni premik

V mesečni premik Lune na sliki 21 sta vključeni meritvi iz dne 22.9.2012 in dne 22.10.2012, saj je za mesečni premik Lune glede na zvezde (siderski mesec) ponagajalo vreme. Mesečni premik Lune sem izračunal po enačbi (5.5), kjer je  $l = \alpha$ :

$$\alpha = 38,1^\circ \pm 2,1^\circ = 38,1^\circ \cdot (1 \pm 5,4\%).$$



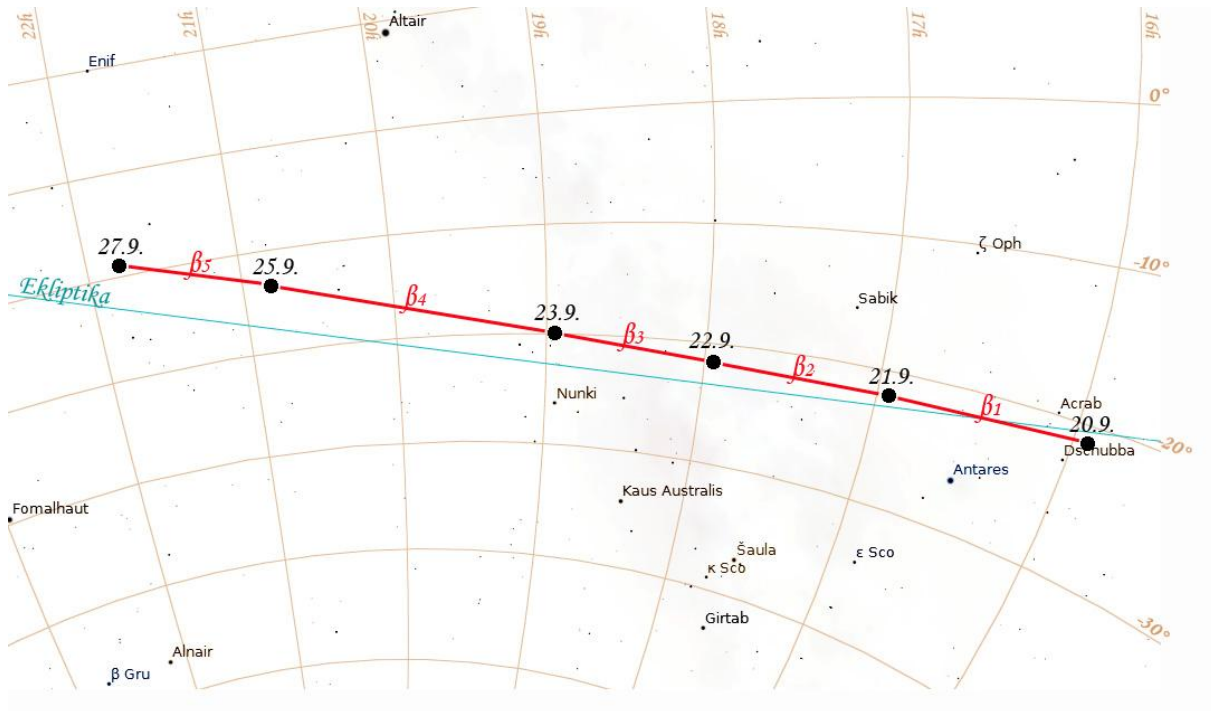
Slika 21: Mesečni premik lege Lune glede na zvezde.

## $\beta$ - dnevni premiki

Dnevne premike lege Lune glede na zvezde sem meril med 20.9.2012 in 30.9.2012. Vrival sem jih v ekvatorsko zvezdno karto na sliki 22. Kotne razdalje dnevnih premikov lege Lune sem izračunal po enačbi (5.5), kjer je  $l = \beta$ . Prikazane so v tabeli 9, kjer je prikazan tudi čas, ki je minil med meritvama. Čas med meritvama sem izračunal s programom Excel.

Tabela 9: Dnevni premiki in časi med meritvami.

N	Datum in ura				$\beta$ [°]	Abs. Napaka [°]	$\Delta t$ [h]	Abs. Napaka [h]
	od		do					
1	20.9.2012	20:45	21.9.2012	20:15	14,0	$\pm 0,2$	24,50	$\pm 0,17$
2	21.9.2012	20:15	22.9.2012	19:50	13,9	$\pm 0,2$	23,58	$\pm 0,17$
3	22.9.2012	19:50	23.9.2012	20:25	14,3	$\pm 0,2$	24,58	$\pm 0,17$
4	23.9.2012	20:25	25.9.2012	20:20	27,3	$\pm 0,9$	47,92	$\pm 0,17$
5	25.9.2012	20:20	27.9.2012	0:25	15,0	$\pm 0,3$	28,08	$\pm 0,17$
6	27.9.2012	0:25	30.9.2012	0:15	38,9	$\pm 2,1$	71,83	$\pm 0,17$



Slika 22: Dnevni premiki lege Lune glede na zvezde.

#### 5.4.4 Siderska in sinodska perioda

Uporabimo enačbo (2.6), saj opazujemo premik Lune glede na zvezde za kot  $\varphi_L$  v času  $t$ , in jo zapišimo v naslednji obliki

$$\frac{\varphi_L}{2\pi} = \frac{t}{P_L}, \quad (5.6)$$

kjer je  $P_L$  siderska perioda Lune,  $\varphi_L$  premik Lune glede na zvezde ter  $t$  čas, ki je minil med dvema meritvama.

Če je  $t < P_L$ , potem je  $\varphi_L = \beta$  in iz enačbe (5.6) sledi

$$P_L = \frac{2\pi \cdot t}{\beta}. \quad (5.7)$$

$t$  je čas med meritvama,  $\beta$  je dnevni premik Lune glede na zvezde.

Kadar je  $t = 1$  dan, sledi, da je  $\varphi_L = \varphi_D$  in iz enačbe (5.6) dobimo

$$P_L = \frac{2\pi}{\varphi_D}, \quad (5.8)$$

kjer je  $\varphi_D$  premik Lune glede na zvezde v točno enem dnevu,  $P_L$  pa siderska perioda Lune zapisana v enotah dni.

Če je  $t > P_L$ , potem je  $\varphi_L = 2\pi + \alpha$ , kjer je  $\alpha$  izmerjen premik Lune glede na zvezde, iz enačbe (5.6) pa sledi

$$1 + \frac{\alpha}{2\pi} = \frac{t}{P_L} \quad (5.9)$$

ter

$$P_L = \frac{t}{1 + \alpha/2\pi}, \quad (5.10)$$

$P_L$  je siderska perioda Lune in  $\alpha$  je premik lege Lune glede na zvezde v času  $t$ .

### **Mesečni premik**

Do mesečnega premika Lune pride zaradi tega, ker Luna v enem sinodskem mesecu naredi en obhod okrog Zemlje ter se skupaj z Zemljo premakne še za isti kot glede na zvezde kakor Zemlja.

Ker je znan čas med meritvama mesečnega premika ter mesečni premik, lahko iz spodnjih podatkov izračunam sidersko periodo po enačbi (5.10).

Podatki:

$$t = 720,00 \text{ h} \pm 0,17 \text{ h}$$

$$\alpha = 38,1^\circ \pm 2,1^\circ$$

Dobim, da je siderska perioda iz mesečnega premika

$$P_L = 651,08 \text{ h} \pm 35,19 \text{ h} = 27,13 \text{ dni} \pm 1,47 \text{ dni} = 27,13 \text{ dni} \cdot (1 \pm 5,4\%).$$

Sedaj lahko po enačbi (2.9) izračunam še sinodsko periodo.

$$S_L = 29,30 \text{ dni} \pm 1,75 \text{ dni} = 29,30 \text{ dni} \cdot (1 \pm 6,0\%)$$

### Dnevni premiki

Do dnevnega premika Lune pride, ker se Luna giblje okrog Zemlje in se zato v enem dnevu premakne za določen kot glede na zvezde.

V tabeli 10 izračunamo sidersko periodo Lune iz dnevnik premikov Lune po enačbi (5.7), saj smo v tabeli 9 izmerili premik Lune po času  $t$ , ki je minil med meritvama.

Tabela 10: Siderska perioda Lune iz dnevnik premikov.

N	$P_L$ [h]	$P$ [dni]	Abs. napaka [dni]	Rel. napaka [%]
1	630,18	26,26	0,61	2,34
2	609,07	25,38	0,60	2,36
3	617,35	25,72	0,61	2,38
4	631,52	26,31	1,00	3,82
5	673,43	28,06	0,66	2,35
6	665,00	27,71	1,53	5,51

Naredil sem še povprečje siderskih period iz dnevnik premikov in tako dobil, da je

$$\bar{P}_L = 26,57 \text{ dni} \pm 0,84 \text{ dni} = 26,57 \text{ dni} \cdot (1 \pm 3,1\%).$$

Po enačbi (2.9) izračunam še sinodsko periodo iz podatkov za dnevne premike.

$$S_L = 28,66 \text{ dni} \pm 0,97 \text{ dni} = 28,66 \text{ dni} \cdot (1 \pm 3,4\%)$$

### 5.4.5 Orbitalna hitrost Lune

Če poznamo oddaljenost Lune, lahko iz njenih dnevnik premikov izračunamo tudi njeno orbitalno hitrost. Zaradi eliptičnosti Luninega tira se oddaljenost Lune od Zemlje spreminja, prav tako pa se zaradi tega spreminja tudi hitrost Lune okrog Zemlje, ki je največja v perigeju in najmanjša v apogeju. Večinoma je podana povprečna hitrost Lune okrog Zemlje, ki ji pravimo povprečna orbitalna hitrost Lune.

Za izračun orbitalne hitrosti Lune sem iz svojih meritev uporabil dnevne premike  $\beta$  in čas, ki je minil med njimi ( $\Delta t$ ) ter oddaljenost Lune od Zemlje v času poteka meritve, ki sem jo označil z  $D$ . Razdalja je merjena od središča Zemlje do središča Lune.

Oddaljenost Lune od Zemlje za določen dan opazovanja sem pridobil s spletne strani [26]. Zanimala me je predvsem povprečna oddaljenost med dnevi opazovanj. V primeru, ko sta bili meritvi izvedeni v dveh zaporednih dnevih, sem uporabil povprečno razdaljo teh dveh dni, v primeru, ko pa je bilo vmes kakšen dan premora, sem naredil povprečje med oddaljenostmi Lune od Zemlje v vseh teh dneh.

Tabela 11: Tabela razdalj med Luno in Zemljo v času opazovanj.

Datum	Ura	$D$ [km]	$\bar{D}$ [km]
20.9.2012	20:44	367202	368149
21.9.2012	20:15	369095	
22.9.2012	19:50	371625	370360
			373075
23.9.2012	20:25	374525	377711
24.9.2012	20:00	377647	
25.9.2012	20:20	380897	382840
26.9.2012	0:00	384502	
27.9.2012	0:25	384782	389803
28.9.2012	0:00	388155	
29.9.2012	0:00	391525	
30.9.2012	0:15	394823	

Najprej sem izračunal kotno hitrost Lune po enačbi

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \quad (5.11)$$

kjer je  $\omega$  kotna hitrost, podana z odvodom zasuka po času. Pri meni je  $d\varphi = \beta$  in  $dt = \Delta t$ , iz česar sledi, da je povprečna kotna hitrost v času  $\Delta t$ :

$$\omega = \frac{\beta}{\Delta t}. \quad (5.12)$$

Tabela 12: Kotne hitrosti Lune.

N	$\omega$ [ $s^{-1}$ ]	Abs. napaka [ $s^{-1}$ ]	Rel. napaka [%]
1	$2,770 \times 10^{-6}$	$0,065 \times 10^{-6}$	2,34
2	$2,866 \times 10^{-6}$	$0,068 \times 10^{-6}$	2,36
3	$2,827 \times 10^{-6}$	$0,067 \times 10^{-6}$	2,38
4	$2,764 \times 10^{-6}$	$0,105 \times 10^{-6}$	3,82
5	$2,592 \times 10^{-6}$	$0,061 \times 10^{-6}$	2,35
6	$2,625 \times 10^{-6}$	$0,145 \times 10^{-6}$	5,51

Iz kotnih hitrosti pa sem nato izračunal hitrost Lune po enačbi

$$v_n = \omega \cdot \bar{D}. \quad (5.13)$$

Tabela 13: Tabela orbitalnih hitrosti Lune.

N	$v_n$ [km/s]	Abs. napaka [km/s]	Rel. napaka [%]
1	1,019	0,024	2,39
2	1,061	0,026	2,41
3	1,055	0,026	2,43
4	1,044	0,040	3,87
5	0,992	0,024	2,41
6	1,023	0,057	5,56

Izračunam še povprečno orbitalno hitrost.

$$\bar{v} = 1,032 \text{ km/s} \pm 0,033 \text{ km/s} = 1,032 \text{ km/s} \cdot (1 \pm 3,18\%)$$

#### 5.4.6 Primerjava rezultatov

##### Sinodska in siderska perioda

Enako kot pri astrofotografiji sem primerjal tudi te rezultate s podatki mednarodnih observatorijev, vesoljskih agencij ter spletnih strani.

Med mojimi opazovanji je minil en obhod Lune okrog Zemlje, tako da je znašala sinodska perioda 29 dni 9 h 52 min, kar je 29,41 dni [23]. Tudi tu po enačbi (4.3) izračunam še sidersko periodo Lune, ki znaša 27,22 dni .

### **$\alpha$ - mesečni premik**

Siderska perioda, ki sem jo izračunal iz mesečnega premika, znaša 27,13 dni  $\pm$  1,47 dni. Relativna napaka meritve znaša 5,4%. Z upoštevanom napako se moje meritve ujemajo s podatki s spleta.

Sinodska perioda, ki sem jo izračunal iz siderske periode mesečnega premika, je 29,30 dni  $\pm$  1,57 dni. Tu je relativna napaka enaka 6,0%. Tudi tu se moje meritve z upoštevanom napako ujemajo s podatki s spleta.

### **$\beta$ - dnevni premiki**

Povprečna siderska perioda, ki sem jo izračunal iz dnevnih premikov, je 26,57 dni  $\pm$  0,84 dni. Relativna napaka meritve znaša 3,1%. Tu se moje meritve z upoštevanom napako ujemajo s podatki s spleta.

Sinodska perioda, ki sem jo izračunal iz siderske periode dnevnih premikov, je 28,66 dni  $\pm$  0,97 dni. Tu je relativna napaka enaka 3,4%. Tudi tu se moje meritve z upoštevanom napako ujemajo s podatki s spleta.

### **Orbitalna hitrost**

Orbitalna hitrost Lune se spreminja, ker ima Luna eliptični tir. To pomeni, da je orbitalna hitrost v perigeju največja, medtem ko je v apogeju najmanjša. Zaradi tega se srečujemo v splošnem s povprečno orbitalno hitrostjo. Povprečna orbitalna hitrost Lune je 1,023 km/s, medtem ko je njena maksimalna orbitalna hitrost enaka 1,076 km/s in njena minimalna orbitalna hitrost enaka 0,964 km/s [27].

Povprečna orbitalna hitrost Lune, ki sem jo izračunal, je 1,032 km/s  $\pm$  0,033 km/s. Njena relativna napaka je 3,18%. Z upoštevanom napako se moj izračun ujema z realnimi podatki.

## 5.5 Komentar

Sinodska in siderska perioda Lune, ki sem ju izračunal iz mesečnega premika, se zelo dobro ujemata s spletnimi podatki. Za tak rezultat je vzrok predvsem to, da je premik lege Lune glede na zvezde v enem mesecu veliko večji, kot pa je napaka, ki jo dobim z določanjem lege Lune s križno palico.

Do malenkost večjih odstopanj pride pri računanju sinodske in siderske periode Lune iz dnevnih premikov. To je razumljivo, saj pride do odstopanj zaradi nenatančnosti merjenja kotnih razdalj in določanja lege Lune, pa tudi zaradi prekratkega obdobja in premajhnega števila opazovanj. Konkretno je na odstopanje vplivalo tudi to, da je bila Luna v času mojih opazovanj blizu perigeja, kar pomeni, da je imela v tej legi največjo hitrost, zato so tudi dnevni premiki Lune glede na zvezde večji kot povprečno. Ker računam sidersko periodo Lune z dnevnimi premiki, je razumljivo, da po enačbi (5.8) zaradi večjih dnevnih premikov dobim manjšo sidersko periodo in posledično tudi sinodsko.

Povprečna orbitalna hitrost Lune, ki jo dobim iz meritev, se v okviru napake ujema s spletnimi podatki. Če upoštevam, da se je Luna v času mojih opazovanj nahajala bližje perigeja kot apogeja, se moji izračuni še boljše ujemajo, saj je bila v tem obdobju orbitalna hitrost Lune večja kot je povprečna, moji izračuni pa so prav tako malenkost večji od povprečne orbitalne hitrosti Lune.

Za vse te meritve lahko rečem, da izračuni ustrezajo dejanskim vrednostim v času opazovanja. Če upoštevam dejstvo, da je bila Luna bližje perigeju, so rezultati zelo lepi. Za pridobitev povprečnih vrednosti, kakršne najdemo na spletu, pa bi bilo dobro opazovati Luno takrat, ko je nekje med perigejem in apogejem ter istočasno tudi v prvem ali zadnjem kraju, ko lažje določimo sredino Lune.



## 6 Dodatek

### 6.1 Določanje ekscentričnosti Luninega tira z astrofotografijo

Ekscentričnost ali izsrednost tira nebesnega telesa označimo z grško črko  $\varepsilon$  in je število med 0 in 1, ki nam pove, kako sploščen je eliptični tir nebesnega telesa. V primeru, da je ekscentričnost enaka 0, je tir krožnica, ko pa vrednost ekscentričnosti narašča proti 1, postaja elipsa vedno bolj sploščena.

Ekscentričnost ima lahko vrednosti tudi 1 ali več. V primeru, ko je vrednost enaka 1, je tir nebesnega telesa paraboličen, kadar pa je vrednost večja kot 1, je tir hiperboličen. Take tire imajo nebesna telesa, ki pridejo v bližino zvezd, vendar se nikoli več ne vrnejo. To so večinoma kometi.

#### 6.1.1 Ekscentričnost

Ko sem meril premer Lune na astrofotografiji s pomočjo programa Corel Designer X5 za kasnejšo določitev sinodske periode Lune, se je le-ta spreminjal, čeprav vemo, da se Luna ne krči in ne razteza. Premer Lune je na astrofotografiji nekaj časa naraščal, nekaj časa pa se manjšal, ker Luna ni vedno na isti oddaljenosti od Zemlje zaradi eliptičnosti svojega tira. Kadar je Luna v perigeju, se nahaja bližje Zemlji in je zato navidezno večja, kakor pa takrat, ko je v apogeju in je najbolj oddaljena od Zemlje.

Teleobjektiv sem imel vedno nastavljen na neskončno. To mi je omogočalo, da se goriščna razdalja ni spreminjala in tako se tudi velikost Lune na astrofotografiji ni spreminjala, razen zaradi prej omenjenih razlogov.

Ekscentričnost eliptičnega tira je podana kot

$$\varepsilon = \frac{r_a - r_p}{r_a + r_p}, \quad (6.1)$$

kjer je  $r_a$  oddaljenost v apogeju,  $r_p$  oddaljenost v perigeju [28].

Ker mi opazujemo Luno z Zemlje, lahko razdaljo  $d$  od Zemlje do Lune izračunamo s kotnimi funkcijami, če poznamo zorni kot Lune  $\varphi$  in njen polmer  $R$ , po enačbi

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{R}{d}. \quad (6.2)$$

Ker je  $\varphi \ll 1$ , velja:

$$\frac{\varphi}{2} = \frac{R}{d}. \quad (6.3)$$

V mojem primeru je bila razdalja  $d$  enaka  $r_a - R$ , kar je približno  $r_a$ , ko je bila Luna v apogeju, in  $r_p - R$ , kar je približno  $r_p$ , ko je bila Luna v perigeju. Zapišemo lahko

$$r_a = \frac{2R}{\varphi_a} \quad (6.4)$$

in

$$r_p = \frac{2R}{\varphi_p}. \quad (6.5)$$

Enačbi (6.4) in (6.5) vstavimo v enačbo (6.3) ter pokrajšamo  $2R$ .

Sledi

$$\varepsilon = \frac{\varphi_p - \varphi_a}{\varphi_p + \varphi_a}, \quad (6.6)$$

kjer je  $\varphi_a$  kotna velikost Lune v apogeju in  $\varphi_p$  kotna velikost Lune v perigeju.

Velikost slike, ki nastane v goriščni ravnini teleskopa, je

$$s = \varphi \cdot f, \quad (6.7)$$

kjer je  $s$  velikost slike,  $\varphi$  kotna velikost objekta na sliki ter  $f$  goriščna razdalja objektiv. Preoblikujemo enačbo v obliko

$$\varphi = \frac{s}{f}. \quad (6.8)$$

Vstavimo v enačbo (6.6) ter okrajšamo  $f$ , saj sem imel teleobjektiv vedno nastavljen na neskončno in je bila goriščna razdalja vedno enaka. Sledi

$$\varepsilon = \frac{s_p - s_a}{s_p + s_a}. \quad (6.9)$$

Ker je velikost slike Lune v digitalni obliki sorazmerna z velikostjo slike v slikovnih elementih, so razdalje v slikovnih elementih  $p$  sorazmerne z razdaljami na sliki Lune, zato velja  $s \propto p$ . Sledi

$$\varepsilon = \frac{p_p - p_a}{p_p + p_a}, \quad (6.10)$$

kjer je  $p_a$  premer Lune na sliki, podan v slikovnih elementih, ko je Luna v apogeju, in  $p_p$  premer Lune na sliki, podan v slikovnih elementih, ko je Luna v perigeju.

Iz svojih opazovanj med 23.8.2012 in 1.10.2012 sem iz astrofotografij in nadaljnje obdelave podatkov v 4. poglavju, natančneje iz tabele 4, izbral podatka, kjer je bil navidezni premer Lune najmanjši  $p_a$  in največji  $p_p$ .

Podatki iz tabele 4:

$$p_a = 4902 \text{ px} \pm 10 \text{ px}$$

$$p_p = 5500 \text{ px} \pm 10 \text{ px}$$

Po enačbi (6.10) tako dobim, da je ekscentričnost Luninega tira enaka:

$$\varepsilon = 0,057 \pm 0,002 = 0,057 \cdot (1 \pm 3,54\%).$$

### 6.1.2 Primerjava rezultatov

Ekscentričnost Lunine orbite je v povprečju 0,0549. Kot je omenjeno v prvem poglavju, ekscentričnost Lunine orbite zaradi perturbacijskih motenj niha med 0,044 in 0,067.

Ekscentričnost Lunine orbite, ki sem jo izračunal iz svojih podatkov, je  $0,057 \pm 0,002$ . Relativna napaka znaša 3,54%. Izračunana ekscentričnost se zelo dobro ujema z dejansko vrednostjo.

## 6.2 Komentar

Ker so bile astrofotografije Lune izostrene in lepe, je bilo pri obdelavi fotografij mogoče tudi natančno določiti navidezni premer Lune in tako zagotoviti natančne podatke. Ti so nato dali zelo dobro primerljivost med izračunano in dejansko ekscentričnostjo Lunine orbite.

Manjše odstopanje od dejanske vrednosti, ki se vseeno pojavi, je predvsem posledica tega, da astrofotografija Lune ni posneta točno takrat, ko je Luna v perigeju oz. apogeju. Vzrok, da astrofotografija ni bila posneta ob teh dveh ekstremih je ta, da je bila Luna v perigeju ali apogeju točno takrat, ko ni bila vidna iz naše lokacije ali pa je bila na nebu podnevi, ko jo je težje slikati. Že nekaj ur lahko tako prinese manjšo napako, ki vpliva na končne izračune in odstopanja.

Prav tako na odstopanje vpliva tudi določanje navideznega premera Lune, katerega napaka je v mojem primeru 10 px. Ker je navidezni premer edini parameter, s katerim računam ekscentričnost, je tudi končna napaka odvisna od njegove natančnosti.

Zaključim lahko, da se z upoštevanjo napako meritve ujemajo z dejansko vrednostjo, kar pa je več kot zadovoljivo.

## 7 Navodila za izvedbo meritev

Astronomija dandanes ni samo znanost ampak tudi priljubljen konjiček. V zadnjem stoletju je tehnologija pripomogla k temu, da lahko vsak posameznik sam opazuje nebesna telesa s pomočjo kvalitetnega teleskopa, ki ga je mogoče kupiti že za nekaj sto evrov. To pa lahko pri posamezniku zbudi še dodatno zanimanje za astronomijo.

Leto 2009 je bilo mednarodno leto astronomije, zato se je v tem letu veliko šol in posameznikov odločilo kupiti astronomsko opremo. Namen je bil predvsem ta, da bi otroke navdušili za astronomijo in jim jo tako približali. Govorim predvsem iz lastnih izkušenj, ki sem jih dobil med pedagoško prakso v času svojega študija. Opazil sem, da je po letu astronomije oprema v mnogih šolah obtičala v kotu. Ali je za to kriva nezainteresiranost otrok ali nevešč učitelj, ne vem, sumim pa, da je obojega malo.

Na praksi sem opazil, da otroke sicer zelo veseli astronomija, vendar jih to veselje tudi hitro mine. Ko se v lepi jasni noči odpravite, da boste otrokom pokazali kakšen planet, meglico ali zvezdno kopico, so vsi navdušeni nad tem, kaj bodo videli, saj imajo v spominu lepe obdelane fotografije, ki ste jim jih pokazali pri pouku ali pa so jih videli v knjigah, revijah, na televiziji. Ko pogledajo skozi teleskop, pa jih večina doživi šok. Interes za astronomijo v trenutku izgine in glavne besede, ki so jih sposobni izgovoriti, so: »Skorajda nič se ne vidi.«, »Tako majhen je planet?«, ... Zdi se mi, da po tem večino otrok zanimanje za astronomijo tudi mine, saj ne dobijo tistega, kar so pričakovali. Mislim, da je bolj pomembno od samega opazovanja nočnega neba in gledanja skozi teleskop to, da otroci sami pridejo do spoznanj, ki jih drugače le slišijo ali preberejo.

Pomembno je, da otrokom poskušamo pokazati, da lahko s pomočjo opazovanj pridejo do rezultatov, ki so primerljivi s splošno znanimi, kljub temu, da so stvari skozi teleskop majhne ali ne čisto kristalne. V ta namen sem pripravil navodila, s katerimi se lahko ponovijo moje meritve, ki sem jih predstavil v diplomski nalogi. Navodila so namenjena tako učiteljem kot tudi otrokom v šoli in upam, da jih bodo spodbudila, da obrišejo prah z astronomske opreme in z njo preučijo nekatera splošno znana dejstva. Seveda ne bo nič narobe, če se bo kakšen posameznik po prebiranju te diplomske naloge odločil, da tudi sam izvede meritve.

## **7.1 Navodila za določanje sinodske in siderske periode Lune ter ekscentričnosti Luninega tira s fotografiranjem Luninih men**

### **Uvod**

Astronomska opazovanja nam omogočajo, da lahko določamo fizikalne lastnosti nebesnih teles (objektov). Luna je Zemljin edini naravni satelit, zato je še posebej zanimiva. En obhod okrog Zemlje glede na zvezde naredi v približno 27,3 dneh. Tej periodi pravimo siderski mesec. Ker pa se Zemlja giblje na svoji orbiti okoli Sonca, je potrebno nekoliko dlje, da Luna kaže enako fazo Zemlji. Temu času pravimo lunacija ali sinodski mesec in v povprečju traja 29,5 dni. Ekscentričnost Lunine orbite je v povprečju 0,0549.

S pomočjo astrofotografije lahko tudi sami določimo sinodsko periodo Lune in tudi ekscentričnost njenega tira. Potrebno je samo v obdobju enega meseca opazovati Luno in jo fotografirati skozi teleskop. Nato lahko s pomočjo računalniških programov iz astrofotografij določimo sinodsko periodo in ekscentričnost Luninega tira.

### **Pripomočki:**

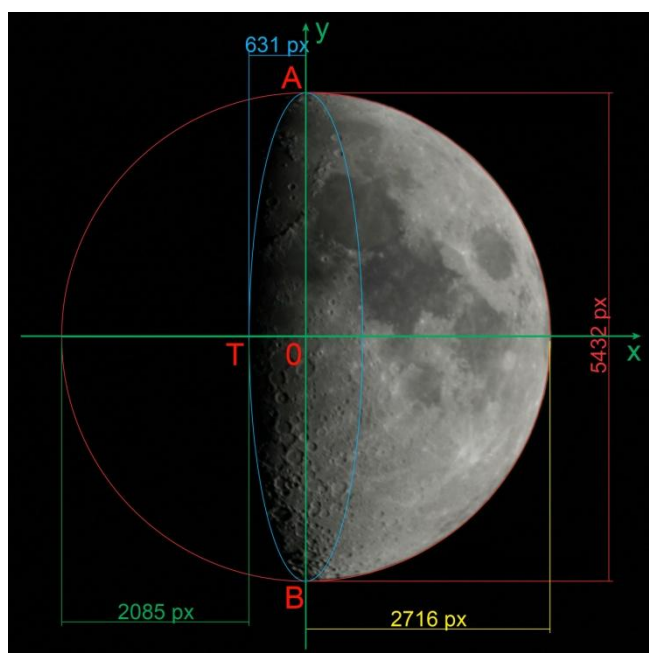
- Beležka
- Svinčnik
- Teleskop ali teleobjektiv
- Montaža
- Digitalni fotoaparatus
- Adapter za pritrditev fotoaparata na teleskop
- Računalniški programi: CorelDraw, Excel, Logger Pro

### **Navodilo**

#### **1. Fotografiranje Lune**

Luno fotografiramo skozi teleskop v jasnih nočeh. Če je možno, jo fotografiramo takrat, kadar je najvišje na obzorju, saj se tako izognemo večjemu popačenju zaradi atmosfere. Če smo imeli opremo prej na drugačni temperaturi, kot je zunanja temperatura v času opazovanj, je priporočljivo počakati nekaj časa, da se temperatura opreme izenači s temperaturo okolice. Poskušamo narediti čim bolj ostre slike, saj bomo tako kasneje lažje določili mejo med osvetljenim in temnim delom Lune. To mejo imenujemo terminator. Pazimo tudi, da slike niso ne presvetle ne pretemne, kar nam omogoča spremenljiv čas osvetlitve na fotoaparatu. Pri vsakem opazovanju potrebujemo eno dobro fotografijo Lune za nadaljnjo obdelavo. Zapišemo si tudi datum in čas slikanja, ali pa ga kasneje prepisemo iz lastnosti slike, vendar je potrebno paziti, da smo pred slikanjem nastavili datum in uro na fotoaparatu.

## 2. Obdelava astrofotografij



Sliko Lune odpremo v programu CorelDraw ali Slikar. Na vsaki sliki moramo izmeriti premer oz. polmer Lune, ter na kakšni razdalji od središča Lune se nahaja terminator. To storimo najlažje tako, da najprej Luni očrtamo krožnico, ki se ji najbolj prilega. Tako dobimo središče Lune, v katerega postavimo koordinatni sistem. V smeri  $y$  bomo določili polmer Lune, v smeri  $x$  pa kje na osi  $x$  se nahaja terminator. Terminator lažje določimo, če si pomagamo tako, da prej narišemo elipso, ki se najbolj prilega meji med osvetljenim in temnim delom Lune. Sedaj lahko s pomočjo orodja za merjenje razdalj v programu izmerimo premer oz. polmer ter na kakšni razdalji

se nahaja terminator na osi  $x$ . Razdalje, ki jih merimo, naj bodo v enotah slikovnih elementov (angl. pixel) ali pa slikovnih točk (angl. points), saj so le-te najmanjši delci, ki sestavljajo digitalno sliko. Podatke si sproti zapisujemo v tabelo, najbolje kar v Excelu.

Primer tabele:

Datum Ura	Minuli čas [h]	Slika	$AB = d$ [px]	$OA = R$ [px]	$OT = b$ [px]	$b/R$
23.9.2012 20:11		IMG_0098	5432	2716	-631	

## 3. Excel

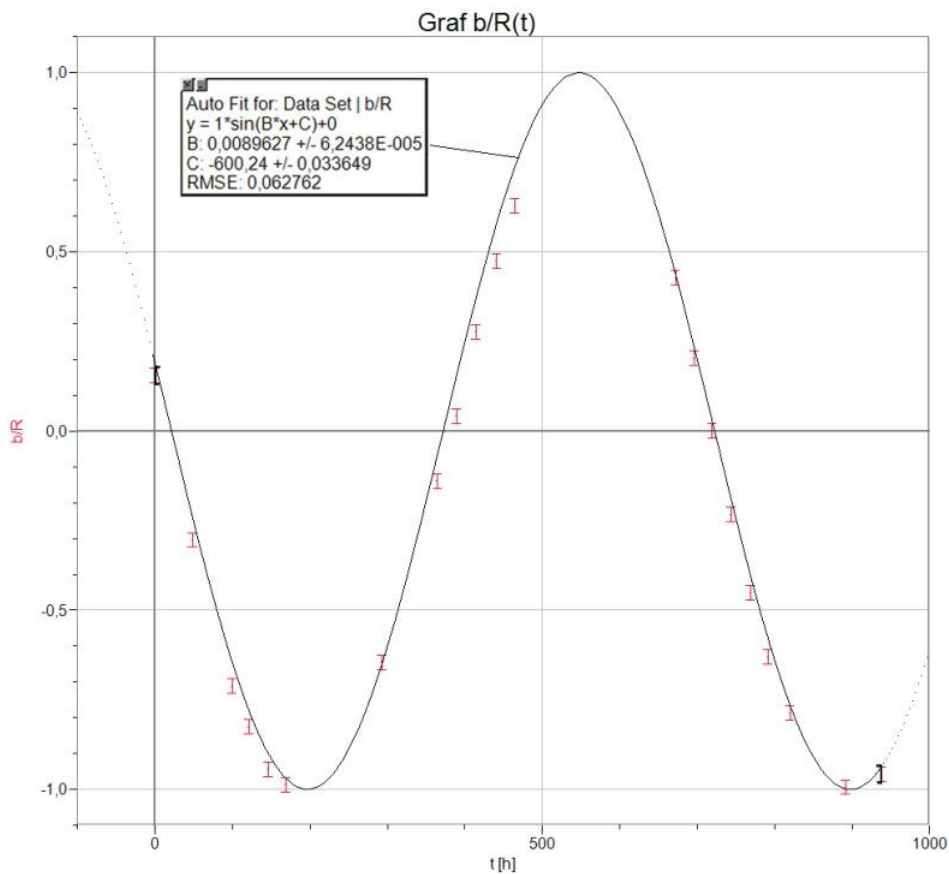
V Excelu nato izračunamo še čas, ki je minil od prvega posnetka, in razmerje  $b/R$ .

Primer tabele:

Datum Ura	Minuli čas [h]	Slika	$AB = d$ [px]	$OA = R$ [px]	$OT = b$ [px]	$b/R$
23.8.2012 20:23	0	IMG_0973	5479	2739	425	0,1551
25.8.2012 21:22	48,983	IMG_1044	5500	2750	-835	-0,3036

#### 4. Logger pro

Ko imamo dovolj astrofotografij Lune, lahko s pomočjo programa Logger Pro ali programa Gnuplot določimo prilagoditveno funkcijo za izmerjene podatke. Na os  $x$  vnesemo čas, ki je minil od prve astrofotografije naprej, na  $y$  os pa vnesemo razmerje  $b/R$ . Ker gre pri določanju terminatorja za projekcijo krožnice pod različnim kotom, ki se spreminja enakomerno s časom, na ravnino slike Lune, nam ta prinese sinus, zato za prilagoditveno funkcijo izberemo funkcijo z enačbo  $y = A \cdot \sin(B \cdot t + C) + D$ . Parameter  $A$  predstavlja amplitudo sinusa, parameter  $B$  določa sinodsko periodo, ki je določena kot  $2\pi/B$ , parameter  $C$  določa premik v smeri osi  $x$  in parameter  $D$  premik v smeri osi  $y$ . Izberemo parametra  $A = 1$  in  $D = 0$ . Program nam nariše prilagoditveno funkcijo in določi še parametra  $B$  in  $C$ .



#### 5. Sinodska perioda Lune

Za nas je predvsem zanimiv parameter  $B$ , ki nam določa periodo. Enota parametra  $B$  je  $\text{h}^{-1}$ . Sinodsko periodo izračunamo po enačbi  $S_L = \frac{2\pi}{B}$ .

#### 6. Siderska perioda Lune

Za izračun siderske periode uporabimo znano zvezo med sidersko in sinodsko periodo  $\frac{1}{P_L} = \frac{1}{P_Z} + \frac{1}{S_L}$ .  $P_Z$  je siderska perioda Zemlje in znaša 365,26 dni. Iz enačbe izpostavimo  $P_L$  in izračunamo še sidersko periodo.



## 7\*. Ekscentričnost

V primeru, če uporabljamo vedno enako opremo.

Iz izmerjenega polmera  $R$  lahko izračunamo tudi ekscentričnost Luninega tira, saj je navidezna velikost Lune največja, kadar je Luna v perigeju, in najmanjša, kadar je Luna v apogeju. Iz naših podatkov za  $R$  izberemo podatka, kjer je  $R$  maksimalen in ga označimo s  $p_p$  in  $R$  minimalen, ki ga označimo s  $p_a$ . S pomočjo malce prirejene enačbe za ekscentričnost lahko sedaj izračunamo ekscentričnost Luninega tira :  $\varepsilon = \frac{p_p - p_a}{p_p + p_a}$ .

## Vprašanja

1. Izmerjeni vrednosti sinodske in siderske periode Lune primerjaj s pravo vrednostjo, ki jo pridobiš na spletu.  
<http://www.timeanddate.com/calendar/moonphases.html>
2. Primerjaj tudi ekscentričnost Luninega tira s pravo vrednostjo.
3. Poskusi ugotoviti, zakaj se pojavijo razlike tako pri 1. kot pri 2. vprašanju.
4. Kolikšen je kot med Soncem in Luno gledano z Zemlje ob prvem in kolikšen ob zadnjem krajcu?
5. Kako bi določili kot med Soncem in Luno, če je Sonce pod obzorjem?

## **7.2 Navodila za določanje sinodske in siderske periode Lune ter navidezne hitrosti Lune s križno palico**

### **Uvod**

Astronomska opazovanja nam omogočajo, da lahko določamo fizikalne lastnosti nebesnih teles (objektov). Luna je Zemljin edini naravni satelit, zato je še posebej zanimiva. En obhod okrog Zemlje glede na zvezde naredi v približno 27,3 dneh. Tej periodi pravimo siderski mesec. Ker pa se Zemlja giblje na svoji orbiti okoli Sonca, je potrebno nekoliko dlje, da Luna kaže enako fazo Zemlji. Temu času pravimo lunacija ali sinodski mesec in v povprečju traja 29,5 dni.

Križna palica je enostaven astronomski inštrument, ki ga uporabljamo za določanje kotov med nebesnimi telesi. Uporabljali so jo že aleksandrijski astronomi, kasneje pa tudi pomorščaki in ribiči. Danes je ta inštrument uporaben predvsem za hitro določanje kotov med nebesnimi telesi.

S pomočjo križne palice lahko v nekaj zaporednih večerih določimo sidersko periodo Lune, iz katere dobimo tudi sinodsko. Iz dobljenih meritev s križno palico pa lahko tudi določimo navidezno hitrost Lune. Navidezna hitrost Lune je orbitalna hitrost Lune okoli Zemlje.

### **Pripomočki:**

- Beležka
- Svinčnik
- Križna palica
- Ekvatorialna zvezdna karta
- Računalniški programi: Stellarium, Excel, Word

### **Navodilo**

#### **1. Priprava**

Najbolje je, da meritve potekajo okoli prvega ali zadnjega krajca, saj je tako lažje določiti sredino Lune, kar nam zagotavlja manjšo napako pri končnih izračunih. Preden se lotimo merjenja kotnih razdalj med Luno in zvezdami, s pomočjo efemerid za ta dan odčitamo lego Lune. V zvezdnem atlasu ali na zvezdni karti poiščemo predel neba, kjer se bo nahajala Luna v času naših meritev. Ta predel neba si prerišemo na list papirja ali pa si ga s pomočjo programa Stellarium natisnemo. Pomembno je, da vsebuje najsvetlejše zvezde, ki nam služijo za orientacijo.

## 2. Meritve lege Lune

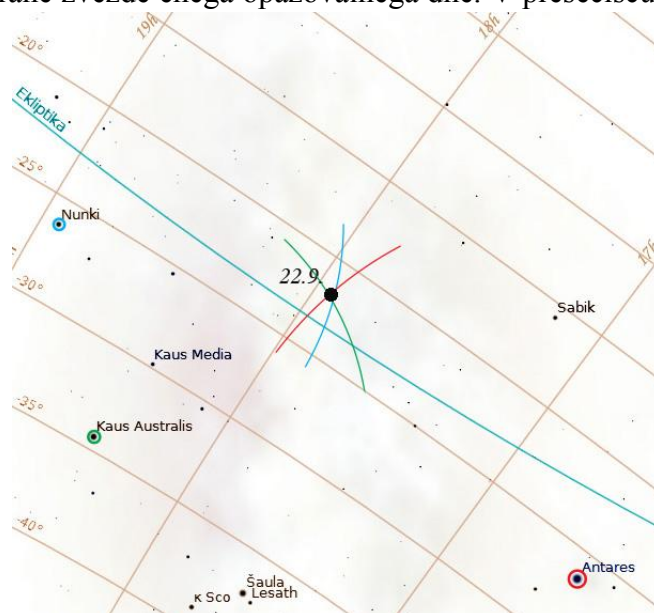
Za določitev lege Lune je potrebno izmeriti kotne razdalje od Lune do zvezd. Za to uporabimo križno palico (za izdelavo in princip merjenja glej Spiko, januar 2002). Vsakokrat ko opazujemo, si izberemo vsaj tri svetle referenčne zvezde, ki naj ne bodo od Lune oddaljene več kot  $30^\circ$ . Kotne razdalje med Luno in zvezdami merimo od sredine Lune, če pa opazujemo ob prvem ali ob zadnjem kraju pa nam je v pomoč terminator, zato merimo od sredine terminatorja do izbrane zvezde. Pomembno je, da meritve opravimo v čim krajšem času in jih vsakokrat zapišemo v beležko. Zapišemo si točen čas opazovanj in kotne oddaljenosti od izbranih zvezd.

Primer tabele:

Dan	Ura	Izbrana zvezda	$\varphi [^\circ]$
20.9.2012	20:45	Antares	9,78
20.9.2012	20:45	Oph	14,94
20.9.2012	20:45	Sabik	18,64
21.9.2012	20:15	Acrab	11,81
21.9.2012	20:15	Dschubba	12,59
21.9.2012	20:15	Kaus Australis	23,10
21.9.2012	20:15	Nunki	28,67

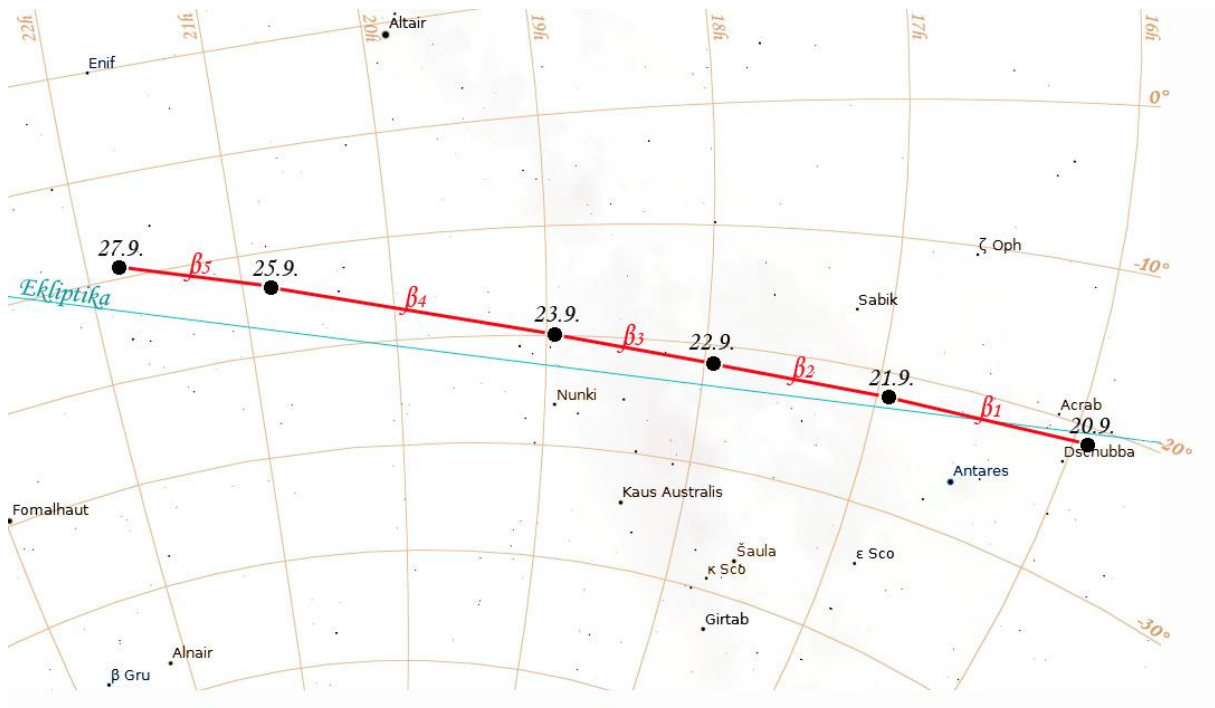
## 3. Določanje položaja Lune na zvezdni karti

Na prej pripravljeno ekvatorialno zvezdno karto vrišemo lege Lune za dneve našega opazovanja. Če je opazovanj več kot tri, si pomagamo tako, da za ostale meritve vrišemo Luno v novo zvezdno karto, da so meritve natančnejše. Luno vrišemo s pomočjo šestila tako, da na ustreznem merilu s šestilom odmerimo izmerjeno kotno razdaljo od izbrane zvezde, nato pa zapičimo šestilo v izbrano zvezdo na zvezdni karti in narišemo krajše loke. To ponovimo za ostale izbrane zvezde enega opazovalnega dne. V presečišču lokov dobimo lego Lune.



#### 4. Premik Lune glede na zvezde - $\beta$

Premik Lune glede na zvezde med dvema opazovalnima dneva lahko določimo na dva načina.



Prvi je ta, da preprosto izmerimo razdaljo med legama Lune za prvi in drugi opazovalni dan ter razdaljo preračunamo v kotne stopinje. Ta način je najenostavnejši, vendar je tudi napaka malenkost večja.

Drugi način je ta, da odčitamo nebesni koordinati lege Lune na zvezdni karti. Koordinati se imenujeta rektascenzija ( $\alpha$ ) in deklinacija ( $\delta$ ). S pomočjo enačbe izračunamo premik Lune.

$$\cos \beta = \sin(\delta_2) \cdot \sin(\delta_1) + \cos(\delta_2) \cdot \cos(\delta_1) \cdot \cos(\alpha_2 - \alpha_1)$$

#### 5. Siderska perioda

Preden se lotimo računanja siderske periode, je potrebno izračunati še čas, ki je minil med meritvama. Tega lahko izračunamo po enačbi

$$t_0 = 24 \text{ ur} - (t_1 - t_2).$$

$t_1$  je čas meritve prvega dne,  $t_2$  pa čas meritve drugega dne. Recimo, da smo prvi dan položaj Lune izmerili ob 22:45, drugi dan pa ob 22:30, potem je  $t_0 = 24 \text{ ur} - (22:45 - 22:30) = 23 \text{ ur in } 45 \text{ minut}$ .

Lahko pa si pomagamo z Excelom ali kakorkoli drugače.

Sedaj imamo vse potrebne podatke za izračun siderske periode Lune. Sidersko periodo izračunamo po enačbi

$$P_L = \frac{2\pi \cdot t}{\beta} .$$

V primeru, da imamo več kot dve meritvi, dobimo več siderskih period Lune. Iz njih lahko potem izračunamo povprečno vrednost, da dobimo povprečno sidersko periodo Lune.

## 6. Sinodska perioda

Sinodsko periodo Lune izračunamo iz siderske periode s pomočjo zveze med sinodsko in sidersko periodo.  $P_Z$  je siderska perioda Zemlje in znaša 365,26 dni.

$$S = \frac{P_Z \cdot P_L}{P_Z - P_L}$$

## 7. Navidezna ali orbitalna hitrost Lune

Da bi izračunali navidezno hitrost Lune, potrebujemo še razdaljo  $D$ , na kateri se je nahajala Luna med našimi opazovanji. To pridobimo s pomočjo spleta, kjer pogledamo, na kakšni oddaljenosti je bila Luna od Zemlje v času naših opazovanj.

<http://www.jgiesen.de/moondistance/index.htm>

Najprej izračunamo kotno hitrost Lune po enačbi  $\omega = \frac{\beta}{\Delta t}$ .

Iz kotne hitrosti pa lahko izračunamo navidezno hitrost Lune po enačbi  $v_n = \omega \cdot D$ .

Spet velja da, če imamo več meritev, na koncu izračunamo povprečno navidezno hitrost.

## Vprašanja

1. Izmerjeni vrednosti sinodske in siderske periode Lune primerjaj s pravo vrednostjo, ki jo pridobiš na spletu.  
<http://www.timeanddate.com/calendar/moonphases.html>
2. Primerjaj tudi navidezno hitrost Lune s pravo vrednostjo.  
<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html>
3. Poskusi ugotoviti, zakaj se pojavijo razlike tako pri 1. kot pri 2. vprašanju.
4. Ali je Luna ob isti fazi tudi v isti legi glede na zvezde?
5. Kolikšen je kot med Soncem in Luno, gledano z Zemlje ob prvem in kolikšen ob zadnjem krajcu?
6. Kako bi določili kot med Soncem in Luno, če je Sonce pod obzorjem?

## 8 Zaključek

V diplomski nalogi sem pisal o določevanju sinodske in siderske periode Lune s pomočjo astrofotografije in križne palice. V teoretičnem delu sem na kratko predstavil Luno ter njene lastnosti, njeno gibanje in zvezo med sinodsko in sidersko periodo. Predstavljena je tudi profesionalna in ljubiteljska astrofotografija. Glavni del pa predstavlja moje meritve in izračune sinodske in siderske periode Lune ter kot dodatek tudi izračun ekscentričnosti Luninega tira s pomočjo astrofotografije. Pokazal sem tudi, kako lahko s pomočjo križne palice določimo sinodsko in sidersko periodo Lune ter izračunamo navidezno hitrost Lune. Na koncu so dodana tudi navodila za izvedbo praktičnega dela.

Skozi raziskovanje za diplomsko nalogo sem se seznanil z uporabo astronomske opreme in spoznal kar precejšen del nočnega neba. Na začetku sem pred opazovanji s pomočjo programa Stellarium pogledal, kje se bo nahajala Luna, vendar sem se hitro navadil, zato sem v nadaljnje znal že sam oceniti, kdaj in kje se bo Luna pojavila na nočnem nebu. Ker pa opazovanja potekajo na prostem, se mi je mnogokrat zgodilo, da mi jo je zagodlo vreme. Ker je bilo potrebno čim večkrat fotografirati Luno, sem si svoj majceni observatorij prilagodil tako, da je bil ves čas mobilan. Teleskop, stojalo, fotoaparat in križno palico sem ves čas vozil kar s seboj v avtu, tako da sem lahko izvedel meritve, kjerkoli sem bil, če je bilo lepo vreme. Vse, kar je bilo potrebno, je bilo, da najdem kraj, kjer ni prevelikega vpliva javne razsvetljave, ki moti opazovanja.

Po opazovanjih in meritvah so sledili izračuni. Ugotovil sem, da lahko dobimo zelo točne izračune sinodske in siderske periode Lune tako z astrofotografijo kot s križno palico. Moji rezultati, pridobljeni z astrofotografijo, so: 27,05 dni ( $1 \pm 0,8\%$ ) za siderski in 29,21 dni ( $1 \pm 0,7\%$ ) za sinodski mesec ter 0,057 ( $1 \pm 3,54\%$ ) za ekscentričnost Luninega tira. Podatki, pridobljeni s križno palico, so: 27,13 dni ( $1 \pm 5,4\%$ ) za siderski in 29,30 dni ( $1 \pm 6,0\%$ ) za sinodski mesec iz mesečnega premika Lune, 26,57 dni ( $1 \pm 3,1\%$ ) za siderski in 28,66 ( $1 \pm 3,4\%$ ) za sinodski mesec iz dnevnik premikov ter 1,032 km/s ( $1 \pm 3,18\%$ ) za orbitalno hitrost. Vsi moji podatki se znotraj napake meritev ujemajo s podatki profesionalnih observatorijev. Potrebna je natančnost in potrpežljivost, predvsem takrat, ko nam ponagajajo zunanji vplivi.

Navodila za izvedbo meritev sem k diplomski nalogi dodal zato, ker mislim, da bi bila uporabna za pedagoške delavce osnovnih in srednjih šol, ki bi lahko posamezne odseke

mojega diplomskega dela uporabili tudi pri poučevanju fizike, seveda v prilagojenih oblikah glede na predznanje učencev in dijakov. To se mi zdi zelo pomembno, saj tako moje diplomsko delo pridobi na svoji uporabni vrednosti. Navodila so napisana preprosto, a hkrati dovolj natančno, tako da bi lahko vsak bralec, ki mu je astronomija hobi, ponovil meritve in prišel do lastnih rezultatov.

Glede na to, kako zanimivo in lepo je jasno nočno nebo, ni presenetljivo, da je že od pradavnine privlačno tako za laične opazovalce kot tudi za strokovnjake. Naš naravni satelit pa s svojim gibanjem buri domišljijo in zaposluje možgane raznih strokovnjakov ves čas obstoja človeštva. Zato ne preseneča, da je mnogo strokovnih publikacij namenjeno prav Luni. Luna pa je za opazovanje zanimiva tudi šolarjem, zato je prav, da omogočamo spoznavanje njenih lastnosti tudi njim.

*»I'll see you on the dark side of the Moon.«* Lyric from 'Brain Damage' by Pink Floyd.

## 9 Literatura

- [1] P. Moore, Atlas Vesolja, Mladinska knjiga, Ljubljana, 1999; str. 40,41
- [2] Vesolje, Velika ilustrirana enciklopedija, urednik L. Wheeler, Mladinska knjiga, Ljubljana, 2008; str 148 – 151
- [3] S. in J. Mitton, Astronomija, Didakta, Ljubljana, 1999; str. 58, 59
- [4] M. Brglez, Luna skozi telekop, Didakta, Radovljica, 2011; str. 13 – 15
- [5] <http://en.wikipedia.org/wiki/Moon> (11.1.2013)
- [6] <http://sl.wikipedia.org/wiki/Luna> (11.1.2013)
- [7] P. Moore in G. Hunt, The Atlas of Solar System, Chancellor Press, London, 1997; str. 143 – 147
- [8] [http://en.wikipedia.org/wiki/Perturbation\\_\(astronomy\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Perturbation_(astronomy)) (21.11.2012)
- [9] [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Lunar\\_perturbation.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Lunar_perturbation.jpg) (21.11.2012)
- [10] [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Moon\\_phases\\_en.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Moon_phases_en.jpg) (22.11.2012)
- [11] [http://sl.wikipedia.org/wiki/Siderski\\_mesec](http://sl.wikipedia.org/wiki/Siderski_mesec) (22.11.2012)
- [12] [http://sl.wikipedia.org/wiki/Sinodski\\_mesec](http://sl.wikipedia.org/wiki/Sinodski_mesec) (22.11.2012)
- [13] Oxfordova enciklopedija astronomije, urednik A. Roy, DZS, Ljubljana, 1999
- [14] <http://sl.wikipedia.org/wiki/Libracija> (1.12.2012)
- [15] <http://en.wikipedia.org/wiki/Astrophotography> (10.12.2012)
- [16] [http://en.wikipedia.org/wiki/John\\_William\\_Draper](http://en.wikipedia.org/wiki/John_William_Draper) (10.12.2012)
- [17] <http://emworden.blogspot.com/2011/02/john-william-draper.html> (10.12.2012)
- [18] <http://www.saburchill.com/HOS/astronomy/033.html> (10.12.2012)
- [19] J.E.Westfall, Atlas of the Lunar terminator, Cambridge University Press, 2000
- [20] [http://predmeti.fmf.uni-lj.si/astro\\_op?action=AttachFile&do=get&target=skripta.pdf](http://predmeti.fmf.uni-lj.si/astro_op?action=AttachFile&do=get&target=skripta.pdf) (10.12.2012)
- [21] <http://hr.wikipedia.org/wiki/Astrofotografija> (10.12.2012)
- [22] [http://en.wikipedia.org/wiki/Sidereal\\_year](http://en.wikipedia.org/wiki/Sidereal_year) (20.1.2013)
- [23] <http://www.timeanddate.com/calendar/moonphases.html?year=2012&n=0> (27.12.2012)
- [24] A. Guštin, Križna palica, Spika **10**-1, 34 (2002)
- [25] A. Guštin, Gibanje Lune po nebu, Spika **10**-3, 138 (2002)
- [26] <http://www.jgiesen.de/moondistance/index.htm> (2.1.2013)
- [27] <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html> (2.1.2013)
- [28] [http://en.wikipedia.org/wiki/Orbital\\_eccentricity](http://en.wikipedia.org/wiki/Orbital_eccentricity) (22.1.2013)



## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Spodaj podpisani Gregor Žagar izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom DOLOČANJE SIDERSKE IN SINODSKE PERIODE LUNE S POMOČJO ASTROFOTOGRAFIJE IN KRIŽNE PALICE.

Krško, junij 2013

Gregor Žagar