

Tranzit Merkura

Vukić, Maria

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Physics / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za fiziku**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:160:417565>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-18**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Department of Physics in Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA FIZIKU**



MARIA VUKIĆ

TRANZIT MERKURA

Završni rad

Osijek, 2016.

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ODJEL ZA FIZIKU**



MARIA VUKIĆ

TRANZIT MERKURA

Završni rad

Predložen Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku radi stjecanja
zvanja prvostupnika fizike

Osijek, 2016.

“Ovaj završni rad je izrađen u Osijeku pod vodstvom doc.dr.sc. Marine Poje Sovilj u sklopu Sveučilišnog preddiplomskog studija fizike na Odjelu za fiziku Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. ”

TRANZIT MERKURA

MARIA VUKIĆ

SAŽETAK

Glavni cilj ovog završnog rada bio je popratiti tranzit Merkura koji se dogodio 9. svibnja 2016. godine, uočiti sve važne položaje, odnosno kontakte, Merkura na Sunčevom disku te pripadajuća vremena zabilježiti u obliku teksta i fotografije. Prilikom izvođenja promatranja, korišteni su osnovni instrumenti u astronomiji: teleskop, okulari i filteri. Promatranje je održano u dvorištu Odjela za fiziku, Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, a njemu su mogli prisustvovati svi zainteresirani studenti.

Rad je koncipiran u dvije glavne cjeline. U prvom će dijelu biti opisane osnovne karakteristike Merkura. Objasniti će se iznimna važnost pojave tranzita Merkura prilikom njegova proučavanja. U dugom dijelu rada, biti će opisan postupak izvođenja promatranja i navedena vremena s pripadajućim fotografijama kontaktnih točaka na Sunčevom disku.

(29 stranica, 19 slika, 8 literarnih navoda)

Rad je pohranjen u knjižnici Odjela za fiziku

Ključne riječi: tranzit Merkura/ Merkur / terestrički planeti / Sunce / teleskop / promatranje

Mentorica: doc.dr.sc. Marina Poje Sovilj

Ocjenjivači:

Rad prihvaćen:

TRANSIT OF MERCURY

MARIA VUKIC

ABSTRACT

The main goal of this final thesis is to observe transit of Mercury that occurred on 9 May 2016, noted all important positions, or contacts, of Mercury on the solar disk and the associated time record in the form of text and photos. During the observation, basic instruments in astronomy, such as telescope, eyepieces and filters, were used. The observation was held in the yard of Department of Physics, University of Josip Juraj Strossmayer and it was open to attend to all interested students.

The work is divided into two main parts. In the first part, the features of Mercury and the importance of Mercury transit for researching this planet will be explained. In the second part, a method of performing observation will be described and the time with corresponding photographs of contact points on the solar disk will be indicated.

(29 pages, 19 figures, 8 references)

Thesis deposited in Department of Physics library

Keywords: Transit of Mercury / Mercury / terrestrial planets / Sun / telescope / observation

Assistant professor: doc.dr.sc. Marina Poje Sovilj

Reviewers:

Thesis accepted:

SADRŽAJ

1. UVOD	7
2. PLANET MERKUR.....	8
2.1. POVIJESNI PREGLED	8
2.2. POVRŠINA I RELJEF	9
2.3. UNUTARNJA GRAĐA.....	10
2.4. TEMPERATURA I ATMOSFERA	13
2.5. ROTACIJA I REVOLUCIJA.....	14
3. TRANZIT MERKURA.....	16
3.1. OPĆE KARAKTERISTIKE	16
3.2. TRANZIT MERKURA 2016. GODINE.....	20
3.2.1. ZABILJEŽENA VREMENA.....	20
3.2.2. KORIŠTENI INSTRUMENTI.....	22
4. ZAKLJUČAK	26
5. LITERATURA.....	28
6. ŽIVOTOPIS	29

1. UVOD

Tranzit Merkura rijetka je astronomska pojava koja se javlja svega trinaest do četrnaest puta u razdoblju jednog stoljeća. Od prvog zabilježenog promatranja 1631. godine, ovaj se fenomen pojavio samo pedeset i jedan put. Osim što je to divan prizor na nebeskoj sferi, u nastavku rada će se navesti zašto je tranzit Merkura iznimno važan za znanstvenike. Prikazati će se rezultati njegova promatranja održanog 9. svibnja 2016. godine i usporediti pogodnosti korištenja dviju vrsta montaža teleskopa za fotografiranje. Čitatelju će se objasniti utjecaj Sunca, kao prvog Merkurova susjeda, na njegove reljefne i atmosferske posebnosti.

2. PLANET MERKUR

2.1. POVIJESNI PREGLED

Planet Merkur poznat je od davnina, kada je zajedno s Venerom, Marsom, Jupiterom i Saturnom, primijećen kao nepomična „zvijezda“ na nebeskoj sferi. On je jedan od osam planeta Sunčeva sustava i ujedno najmanji od njih. Nalazi se najbliže Suncu što mu daje niz karakterističnih obilježja, ali i predstavlja problem prilikom njegova proučavanja. Kako je najveća kutna udaljenost Merkura od Sunca 28° , možemo ga promatrati samo pred izlazak ili zalazak Sunca, malo iznad horizonta.

Dobio je ime po starorimskom bogu trgovine i putovanja Merkuru (lat. *Mercurius*). U Europi je Merkur bio poznat i kao Odin (njem. *Woden*) po kojem je izvedena engleska riječ *wednesday* ili *srijeda*. Odin je predstavljao boga svih bogova i vrhovnog vođu čarobnjaštva (Slika 1.).



Slika 1. Merkur prikazan s krilatom kacigom (lijevo) i Odin, po kome je Merkur dobio ime, prikazan kao lualica (desno)

Zbog Merkurova položaja, astronomi dugo vremena nisu mogli dati točne informacije o ovome planetu. Tako se sve do 2007. godine nije znalo da je njegova jezgra u tekućem agregatnom stanju. Prva su točna mjerenja započela u bivšem SSSR-u na Institutu za radio inženjerstvo i elektroniku. Tamošnja grupa znanstvenika je uspjela uhvatiti prvi eho s Merkura, čime je započela nova faza proučavanja ove planete. Najveću ulogu u mapiranju Merkurove površine za Zemlje ima teleskop Aresibo. Međutim, najviše se informacija uspjelo

prikupiti tek slanjem svemirskih sonde na Merkur. Prva misija je bila iz programa Mariner. Svemirska letjelica Mariner 10 je lansirana 1973. godine prema Veneri i Merkur. To je bila prva letjelica koja je koristila princip gravitacijske pračke. Pomoću nje se uspjelo fotografirati oko 2800 fotografija i time vidjeti polovicu Merkurove površine, otkriti da ima slabu atmosferu te da mu je jezgra bogata željezom. Drugu misiju je organizirala NASA. Riječ je o svemirskoj sondi pod nazivom MESSENGER koja je s Zemlje poslana 2004. godine, a u Merkurovu orbitu je ušla tek 2011. godine. MESSENGER je omogućio znanstvenicima da uoče postojanje leda na polovima Merkura.

2.2. POVRŠINA I RELJEF

Merkurova se površina odlikuje kraterima, kružnim brdima, bazenima¹ i rasjedima. Na Slici 2. jasno možemo uočiti nevjerojatnu sličnost površine Mjeseca i Merkura. Takvu su površinu imali Zemlja i Venera prije više od tri milijarde godina.



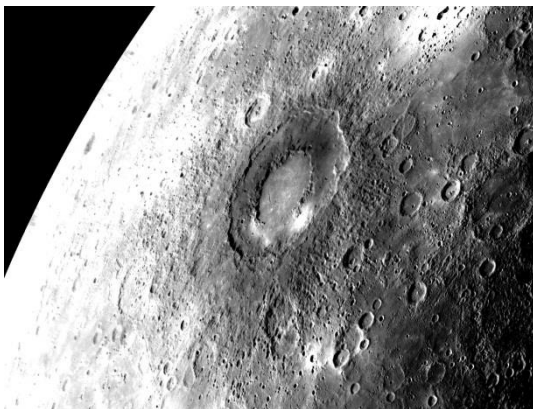
Slika 2. Usporedba Merkurove i Mjesečeve površine.
Lijevo na slici se nalazi Merkur, a desno Mjesec.

Krateri su nastali kao posljedica udara meteorita o površinu nebeskog tijela. Osim njih, direktna posljedica udara je i rahlo tlo koje je još jedno zajedničko svojstvo Merkura i Mjeseca. Merkurovi su krateri dobro ocrtani rasprnutim materijalom, koji je mnogo manje odbačen nego na Mjesecu. Posljedica je to gotovo tri puta većeg ubrzanja sile teže na Merkur pa je slobodni pad meteorita brži, a ubrzanje im je veće. Osim toga, na Mjesecu krateri prekrivaju jedan drugog, dok se na Merkur između kratera i bazena nalaze glatke površine. Razlikujemo krater sa svjetlijim i one s tamnijim dnom, kao i one s središnjim

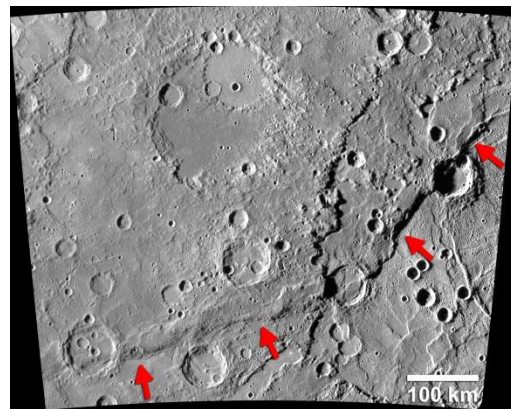
¹ Velike kružne ravnice nalik Mjesečevim morima.

uzvišenjem i bez njega, a s obzirom da na Merkuru nema atmosfere niti vulkanskih reakcija, svi su vrlo dobro očuvani.

Promatrajući fotografije Merkura, možemo uočiti jednu tvorevinu koja se posebno ističe. To je bazen promjera oko 1550 km, a zove se Ravnica Vrućine (lat. *Planitia Caloris*) koja je prikazana na Slici 3. Ona uvelike podsjeća na More kiša na Mjesecu. Svaki put, kada je Merkur u perihelu, subsolarna se točka nalazi baš na Ravnici Vrućine što ju čini najtoplijim mjestom na planetu.



Slika 3. Ravnica vrućine



Slika 4. Krater Enterprise

Za rasjede se smatra da su nastali prilikom stezanja planeta za vrijeme njegova hlađenja. Visoki su od dva do tri kilometra, a dugi i do nekoliko stotina kilometara. Posebno se ističe krater Enterprise koji je otkriven 2008. godine, a prikazan je na Slici 4. Dugačak je oko 820 km što mu daje titulu najdužeg (ali i najdubljeg) kratera na Merkur.

2.3. UNUTARNJA GRAĐA

Merkur je jedan od četiri terestrička planeta Sunčeva sustava. Naziv im dolazi od latinske riječi *terra* što u prijevodu znači *Zemlja*. U literaturi ih još možemo pronaći i pod nazivom *unutarnji planeti*. To su redom: Merkur, Venera, Zemlja i Mars. Odlikuju ih stijene, malen polumjer te velika gustoća. Druga skupina planeta jesu plinoviti divovi, vanjski ili Jovijanski planeti. U tu grupu spadaju redom: Jupiter, Saturn, Uran i Neptun. Oni nemaju jasno definiranu površinu i stoga im je teško odrediti polumjer, volumen i površinsku temperaturu. Sastavljeni su od plina, a jezgra im je čvrsta. Ove dvije skupine planeta su odijeljene asteroidnim pojasom za koji se smatra da je ostatak neformiranog petog terestričkog planeta.

Merkur je izgrađen od jezgre, plašta i kore. Ova je struktura prikazana na Slici 5.



Slika 5. Model unutrašnje strukture Merkura; 1-kora: 300-400 km debljine, 2-plašt: 600 km debljine, 3-jezgra: 1800 km debljine.

U strukturnoj osnovi dominiraju metali s udjelom od oko 70%, a preostalih 30% strukturalnih elemenata čine silikati.

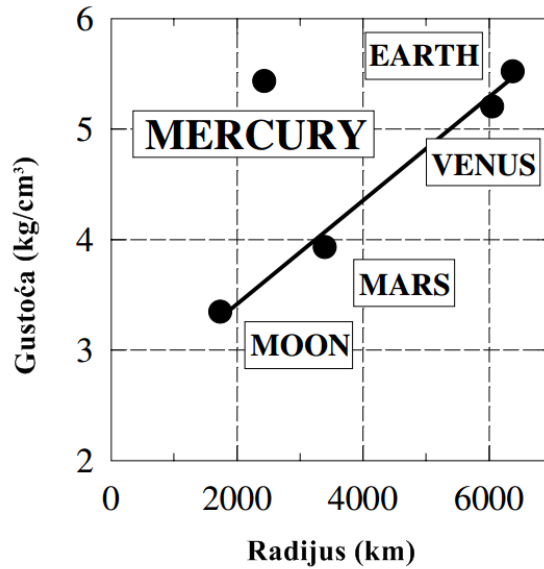
Dugo se vremena smatralo kako je Merkurova jezgra u polučvrstom stanju, ali su novija istraživanja pokazala kako se radi o željeznoj tekućoj jezgri. Dvije su teorije koje objašnjavaju prisustvo željeza u jezgri.

Prva teorija govori kako je Merkur, u svojoj početnoj fazi nastanka, imao odnos silikata i metala jednak onome kakav je danas u građi meteorita hondrita², a da je masa same planete bila do 2.25 puta veća nego danas. U toj je fazi došlo do sudara sa planetezimalima prilikom čega je veliki dio kore i plašta odstranjen od ostatka planete. Druga teorija govori kako je Merkur nastao iz solarne maglice i imao masu dvostruko veću u odnosu na današnju, ali i znatno manju gustoću. Uslijed visokih temperatura (zbog blizine Sunca), stijene na površini Merkura su se topile i isparavale. Ispareni su elementi jedno vrijeme kružili oko planete formirajući tanku atmosferu koju je solarni vjetar s vremenom izbacio iz Merkurove orbite.

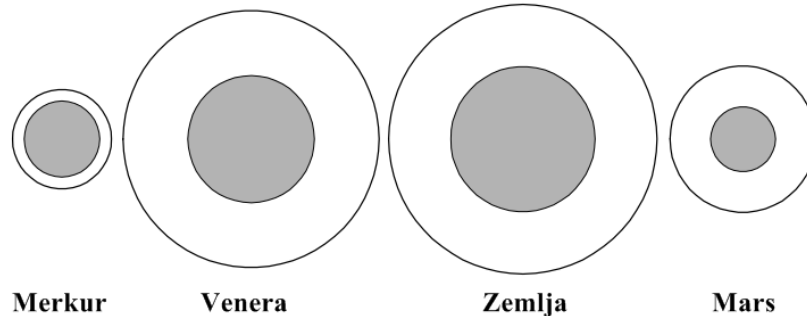
Općenito vrijedi da se gustoća terestričkih planeta povećava s povećanjem njihovih radijusa, ali Merkur čini iznimku što se jasno vidi na grafu Slike 6. On, iako malog radijusa, ima gustoću u iznosu od 5.427 g/cm^3 . Jedini planet s većom gustoćom u Sunčevom sustavu ima Zemlja sa 5.515 g/cm^3 . Uzrok toga leži upravo u željeznoj jezgri Merkura. Ona zauzima 42 % ukupnog volumena. Na Slici 7. vidimo da oni terestrički planeti, čiji je radijus veći,

² Vrsta kamenog meteora nastala za vrijeme formiranja Sunčeva sustava. Sadrže male plinovite kuglice koje se nazivaju hondrule.

imaju i veću jezgru. Međutim, kod Merkura to nije slučaj. On ima malen radijus, ali veliku jezgru.



Slika 6. Gustoća planeta u ovisnosti o radijusu



Slika 7. Odnos jezgre i ukupnog volumena terestričkih planeta Sunčeva sustava. Merkur se odlikuje velikim udjelom jezgre u ukupnom volumenu.

Za razliku od jezgre u kojoj dominira željezo, plašt je izgrađen pretežno od silikata. Debljina plašta varira od 500 do 700 km, a litosfere od 100 do 300 km [1].

2.4. TEMPERATURA I ATMOSFERA

Atmosferski sloj Merkura čini tanka egzosfera sastavljena od kalija (31.7 %), natrija (24.9 %), kisika (atomski 9.5 % i molekularni 5.6 %), argona (7.0 %), helija (5.9 %), dušika (5.2 %), ugljikova dioksida (3.6 %), vodika (3.2 %), vodene pare i ostalih elemenata [2]. Ona je vrlo nestabilna zbog slabe gravitacije pa se elementi konstantno gube, ali se nadoknađuju radioaktivnim raspadom u kori te stalnim solarnim vjetrovima. Naime, magnetsko polje Merkura ima samo jedan posto jakosti Zemljinog magnetskog polja. Unatoč tome, ono je vrlo aktivno. Magnetsko se polje solarnih vjetrova veže za Merkurovo magnetsko polje i tako stvara intenzivne „magnetske vrtloge“ koji predstavljaju tunel za prolazak brze i vruće solarne plazme sve do površine planeta gdje nastaje udar. Taj udar je uzrok izbacivanju nabijenih čestica sa površine koje zatim odlaze u atmosferu i nadoknađuju izgubljene elemente.

Zbog blizine Sunca, intenzitet Sunčevog zračenja se na površini Merkura kreće između 4.59 i 10.61 vrijednosti solarne konstante³ [3]. To zračenje tjera atome van Merkurove atmosfere i formira plinovite repove koji su slični repovima kometa. Najvažniji strukturni element tih repova je natrij.

Temperatura površine Merkura ovisi o zemljopisnom položaju. Prosječna dnevna temperatura na površini iznosi 623 K, a noćna 103 K pa je globalni prosjek 452 K. Zbog spore rotacije Merkura, a velike ekscentričnosti, postoje dvije točke na ekvatoru (međusobno udaljene za 180 stupnjeva zemljopisne dužine) na kojima se stiče prividan utisak da je Sunce gotovo uvijek u zenitu i na njima temperatura varira od 100 K do 700 K. Te su dvije točke ujedno i najtoplije točke Merkura. Nasuprot tome, postoje i dvije točke (udaljene 90 stupnjeva zemljopisne dužine od njih) u kojima je Sunce u zenitu samo onda kada je Merkur u afelu. U tim točkama temperatura iznosi oko 550 K. Kako je nagib osi rotacije jako malen, polovi Merkura su gotovo uvijek u mraku. Iz tog razloga, tamošnja temperatura ne prelazi 110 K. Na osnovi snimaka sonde, ustanovljeno je da se tamo nalazi smrznuta voda. Taj se led nalazi duboko u kraterima i on nikad nije izložen Sunčevom zračenju. Osim sonde, i radari na površini Zemlje su istaknuli mogućnost postojanja leda na Merkur. To su opservatorij Goldstoun u Kaliforniji i Very Large Array u Novom Meksiku. Oni su zaključili na osnovu velikih refleksija svjetlosti. Naravno, uzrok ovih refleksija ne mora nužno značiti da tamo postoji led, ali je najrealnija opcija. Vjeruje se da su to zalihe od 10^{14} – 10^{15} kg leda. Usporedbe radi, na Antarktiku ga ima $4 \cdot 10^{18}$ kg. [4]

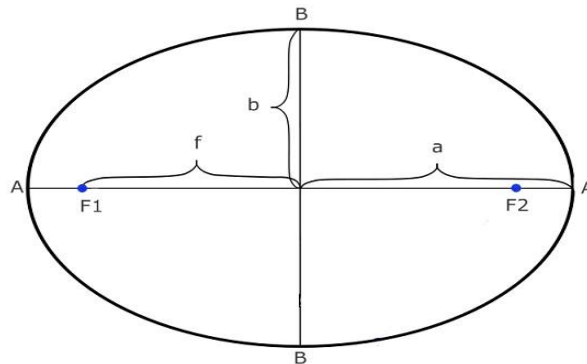
³ Solarna konstanta iznosi 1370 W/m²

2.5. ROTACIJA I REVOLUCIJA

Merkurova orbita ima najveći ekscentricitet od svih ostalih planeta Sunčeva sustava. Ekscentricitet je mjera odstupanja orbite od savršene kružnice. To je bezdimenzijska veličina i koristi se prilikom opisivanja putanja nebeskih tijela. Izraz za ekscentricitet je:

$$e = \frac{f}{a},$$

gdje je e ekscentricitet, f žarišna duljina elipse, a a velika poluos (Slika 8.).



Slika 8. Elipsa; $F1$ i $F2$ su žarišta elipse, b manja poluos, a velika poluos, f žarišna duljina

Ekscentricitet savršene kružnice je nula, parabole jedan, elipse u granicama od nula do jedan, a hiperbole od jedan na više. Merkurov ekscentricitet iznosi oko 0.206 [5]. Iako se, uslijed perturbacija koje izazivaju ostali planeti, s vremenom ova brojka kaotično mijenja, ona ne dostiže iznos jedinice pa stoga možemo zaključiti kako je Merkurova orbita eliptična. Prvi Keplerov zakon govori kako se Sunce nalazi u jednom od žarišta te elipse. To znači da Merkur ima položaj najmanje i najveće udaljenosti od Sunca što je prikazano na Slici 9. Položaj kada je Merkur najbliži Suncu nazivamo perihel (47 milijuna kilometara), a najudaljeniji položaj zovemo afel (70 milijuna kilometara). Kada bi se promatrač nalazio na Merkur u trenutku kada je on najbliži Suncu, veličina Sunca koju bi on vidio, bila ti tri puta veća no što ga mi vidimo sa Zemlje.



Slika 9. Merkurova orbita; *perihel* je najmanja, a *afel* najveća udaljenost Merkura od Sunca

Konjukcija⁴ Merkur-Zemlja ponavljaju se u prosjeku svakih 116 Zemljinih dana, ali se taj interval mijenja u rasponu od 105 do 129 dana upravo zbog velike ekscentričnosti Merkurove orbite. Njihova najmanja udaljenost iznosi 77.3 milijuna kilometara [5].

Za vrijeme jednog merkurijanskog dana, hipotetski promatrač bi bio u mogućnosti tri puta vidjeti gornju kulminaciju⁵ Sunca i njegov pad (bez zalaska). Razlog toga pronalazimo u drugom Keplerovom zakonu koji govori o konstantnoj površinskoj brzini, tj. u jednakim vremenskim intervalima, radijvektor brzine prekriva jednake površine. To znači da je brzina Merkura u perihelu znatno brža, nego u afelu. Za vrijeme periheliona, Merkur prestiže brzinu rotacije Sunca i ono se prividno počinje gibati retrogeno. Nakon što Merkur prijeđe točku perihela, iznos brzine mu se smanjuje i Sunce se nastavlja normalno gibati na njegovoj nebeskoj sferi.

U odnosu na ravninu ekliptike, Merkurova orbita je nagnuta pod kutem od 7° . To znači da je, gledano sa Zemlje, Merkur u tranzitu svakih 7 godina [6].

Merkur ima najmanji nagib ose rotacije od svih planeta Sunčeva sustava. On iznosi 0.027° , a Jupiter, čiji je nagib drugi po veličini, iznosi 3.1° . Stoga na njegovim polovima Sunce u horizontu nikada ne prelazi $2.1'$ (lučnu minutu). [7]

Merkur se rotira vrlo sporo. Period njegove rotacije iznosi 58.7 zemaljskih dana. U prošlosti su znanstvenici mislili kako je on sinkroniziran sa Suncem, tj. da je vrijeme rotacije i revolucije jednako. Međutim, radarska istraživanja iz 1965. godine su pokazala da za vrijeme jedne revolucije, Merkur napravi tri rotacije oko svoje osi.

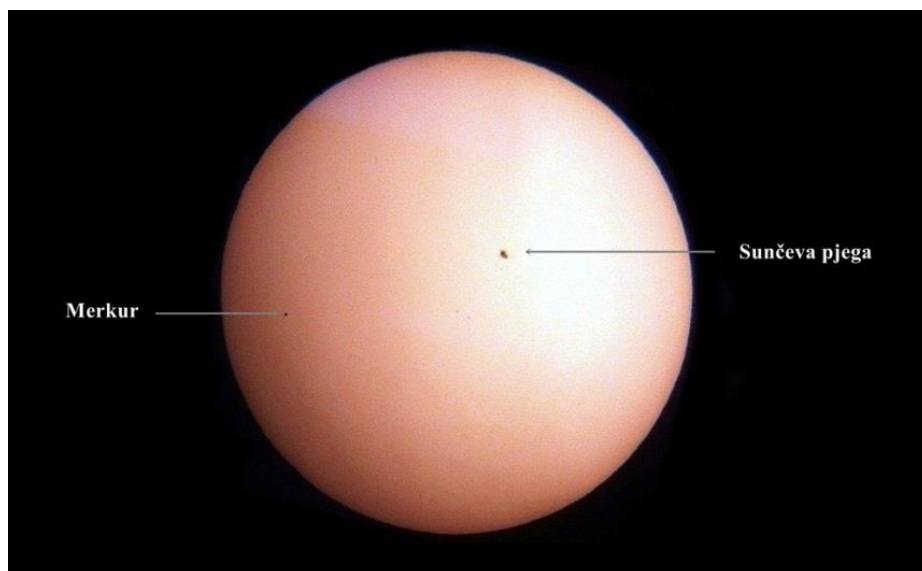
⁴ Pojava kada dva nebeska tijela imaju približno jednak položaj, obično gledano sa Zemlje.

⁵ Gornja kulminacija je položaj nebeskog tijela kada on prolazi kroz mjesni meridijan na onoj polovici na kojoj se nalazi zenit.

3. TRANZIT MERKURA

3.1. OPĆE KARAKTERISTIKE

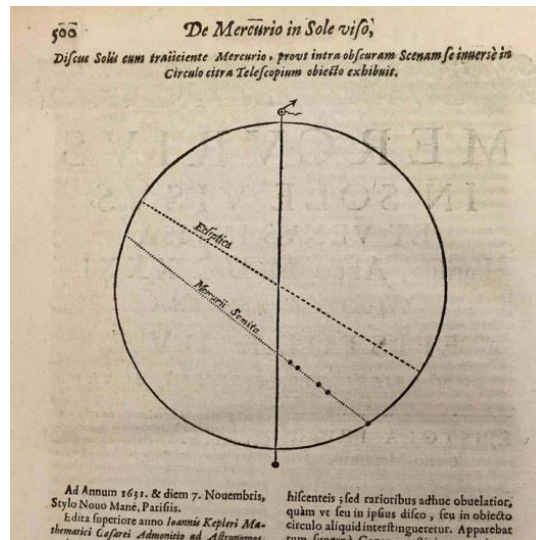
Tranzit ili prijelaz, u astronomiji, predstavlja prijelaz manjeg nebeskog tijela ili njegove sjene preko diska većeg nebeskog tijela. Suprotno tome, zaklanjanje manjeg tijela većim predstavlja okultaciju. Tranzit Merkura je prijelaz Merkura preko Sunčeva diska i on se tada vidi kao malena, crna točkica na Sunčevoj površini. Tu malenu točkicu možemo uočiti na Slici 10. koja je napravljena za vrijeme promatranja tranzita 9. svibnja 2016. godine. Osim Merkura, na Sunčevom se disku može vidjeti i pjega. Sunčeve pjege su područja izrazite aktivnosti Sunca, a nastaju pod utjecajem snažnih magnetskih polja. One mogu imati promjer i do 80000 km što je gotovo trideset i tri puta veće od promjera Merkura pa ju stoga vidimo kao mnogo veću crnu točku na Sunčevom disku.



Slika 10. Tranzit Merkura 9. svibnja 2016. godine; na Sunčevom se disku, osim Merkura, vidi i Sunčeva pjega (Autor fotografije: Vukić, M.)

Promatranje Merkura, a time i prikupljanje podataka za obradu i analizu, vrlo je teško s obzirom da je on jako blizu Suncu, ima malen period revolucije i u mogućnosti smo vidjeti samo jednu stranu njegove površine. Upravo je zato ovaj planet dugi niz godina bio poprilično neistražen, a zapažanja pogrešna. Tranzit Merkura, osim što predstavlja divnu pojavu za promatranje, omogućava i proučavanje ovog planeta. Kroz povijest, tranziti su omogućili mjerenje veličine Sunčeva sustava, udaljenost između Zemlje i promatranog planeta, a danas možemo njegovim promatranjem dobiti podatke o atmosferi tog planeta te uvidjeti mogućnost postojanja drugih objekata oko njega i van Sunčeva sustava.

Prvi zapis promatranja Merkurova tranzita prikazuje Slika 11., a napravio ga je francuski znanstvenik, astronom i filozof, Pierre Gassendi, još 7. studenog 1631. godine. On je pomno proučavao zapise njemačkog astronoma i matematičara, Johannes Keplera, koji je predvidio datum Merkurova tranzita i to upisao u zvjezdani katalog pod nazivom *The Rudolphine Tables*.



Slika 11. Opis Merkurova tranzita Pirre Gassendija iz 1631. godine

Manje je poznato da je brodski astronom, Charles Green, zajedno s kapetanom Cookom (koji je također bio izvrstan opažač) opisao i tranzit Merkura 9. studenog 1769. godine sa obala Novog Zelanda. Green se nedugo zatim razbolio i preminuo, ali je svoj prvi opis oštre Merkurove slike na solarnom disku ujedno i objasnio činjenicom kako planet ima malenu ili nikakvu atmosferu.

Gledano sa Zemlje, osim Merkurova tranzita, moguće je još vidjeti i tranzit Venere preko Sunčeva diska. Tranziti Venere vidljivi su golim okom, ali iz nepoznatog razloga nema opisanog tranzita prije 1639. godine. Tranzit Venere 3. lipnja 1769. godine, promatran s Tahitija, bio je glavni znanstveni cilj prvog putovanja kapetana Cooka brodom Endeavour.

Postoji još jedan vrlo rijedak fenomen, a to je tranzit Merkura Venerom kada Venera prelazi preko Merkurova diska i zaklanja ga. Ovu je pojavu zabilježio je engleski astronom i liječnik, John Bevis, 1737. godine iz opservatorija u Greenwichu. Sljedeći će se moći vidjeti tek 2133. godine.

Merkur prolazi između Sunca i Zemlje barem tri puta godišnje, ali zbog njegove orbitalne inklinacije, koja iznosi 7° , točno poravnanje sustava Sunce – Merkur – Zemlja je vrlo rijetko. Tranzit Merkura se može dogoditi samo u svibnju ili studenom kada njegova

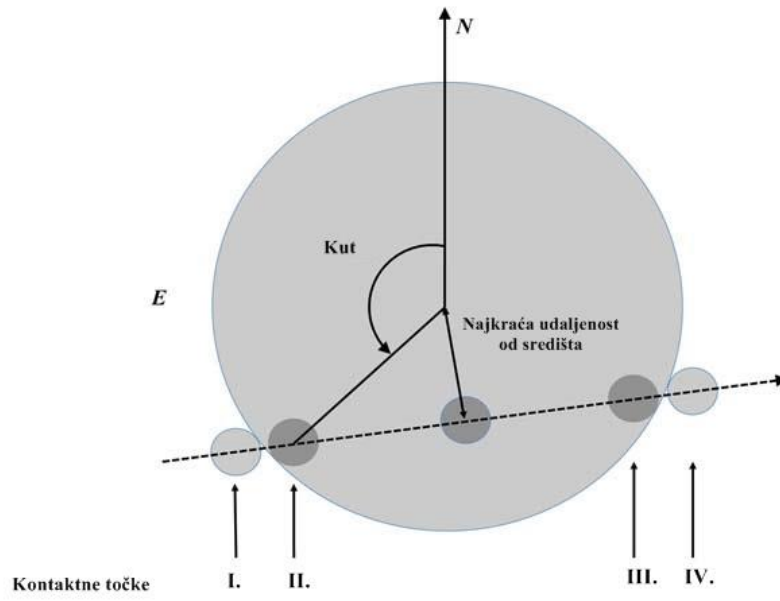
orbita presijeca ekliptiku⁶ i kada se nalazi u donjoj konjukciji. Za vrijeme svibanjskih tranzita, Merkur se nalazi u afelu i njegova je prividna veličina 12 " (lučnih sekundi) što ga čini uočljivijim. Ipak, vjerojatnost za svibanjski tranzit je gotovo dvostruko puta manja od tranzita u studenom što se može iščitati iz Tablice 1. Naime, u razdoblju od pedeset godina, svibanjski se tranzit pojavljuje tri put, dok se onaj u studenom javlja pet puta. Razlog toga je što Merkurova manja kutna brzina u afelu smanjuje vjerojatnost pravodobnog prolaska kroz presjecište dviju orbita. Tranziti se u studenom ponavljaju u intervalima od 7, 13 i 33 godine, a svibanjski u intervalima od 13 i 33 godine. [8]

Tablica 1. Solarni tranziti Merkura do 2052. godine.

Datum	Početak (UT)	Kraj (UT)
7. svibnja 2003.	05:13	10:32
8. studenog 2006.	19:12	00:10
9. svibnja 2016.	11:12	18:42
11. studenog 2019.	12:35	18:04
13. studenog 2032.	06:41	11:07
7. studenog 2039.	07:17	10:15
7. svibnja 2049.	11:03	17:44
9. studenog 2052.	23:53	05:06

Osnovni mjerljivi događaji za vrijeme tranzita se zovu kontakti. Tranzit počinje I. kontaktom, što je trenutak kada je vanjski rub planetskog diska tangencijalan na Sunčev disk s njegove vanjske strane. Planet tada izgleda kao mali usjek na rubu Sunčevog diska. Trenutak kada je vidljiv cijeli planetski disk, nazivamo II. kontaktom i tada je planet tangencijalan na Sunčev disk s njegove unutarnje strane. Od vremena II. kontakta, sljedećih nekoliko sati se može pratiti silueta planeta kako putuje preko sjajnog Sunčevog diska. Trenutak kada planet dosegne suprotnu stranu Sunčevog diska i kada njegova vanjska strana opet dodirne unutarnju stranu Sunčevog diska zovemo III. kontaktom. Na kraju, tranzit završava IV. kontaktom, kada vanjski rub planeta dodiruje Sunčev disk s njegove vanjske strane. Kontakti I i II se zovu još i ulazni kontakti, dok su kontakti III i IV izlazni. Na Slici 12. je prikazan način određivanja položaja planeta na Sunčevom disku. Položaj planeta, u ovom slučaju Merkura, se u svakom kontaktu mjeri u stupnjevima, u smjeru suprotnim od smjera kazaljke na satu od sjeverne točke na Sunčevom disku.

⁶ Ravnina u kojoj leži Zemljina orbita.



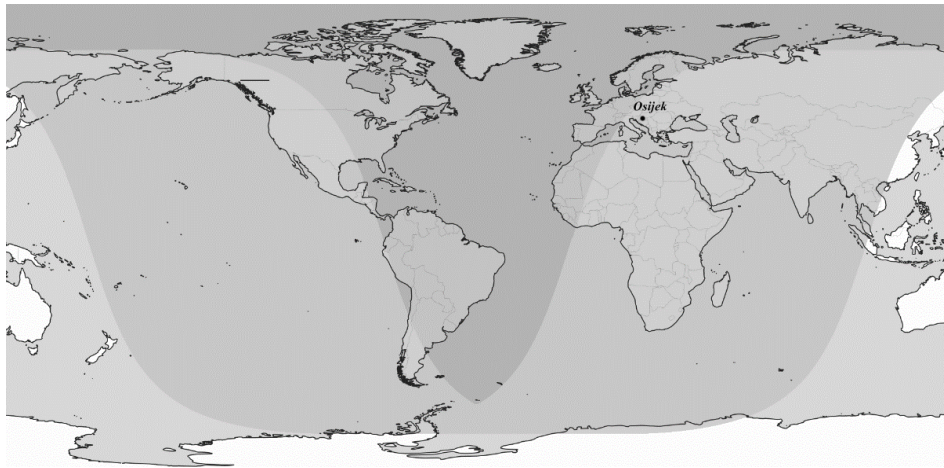
Slika 12. Postupak određivanja položaja planeta na Sunčevom disku

3.2. TRANZIT MERKURA 2016. GODINE

3.2.1. ZABILJEŽENA VREMENA

U ponedjeljak, 9. svibnja 2016. Godine, Merkur je prelazio preko Sunčeva diska prvi put nakon deset godina. Svoje sam promatranje odradila iz dvorišta Odjela za fiziku, Sveučilišta u Osijeku ($45,557974^{\circ}$ N; $18,685177^{\circ}$ E), od njegovog samog početka pa sve do zalaska Sunca.

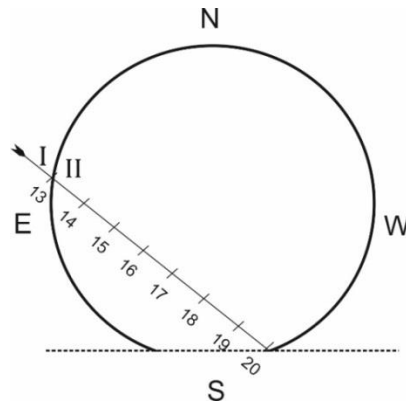
Nažalost, vremena Merkurova tranzita su opažena i izmjerena djelomično, zbog geografskog položaja lokacije promatranja. Na Slici 13. vidimo kako se cjelokupan Merkurov tranzit mogao vidjeti samo na području većeg dijela sjeverne i južne Amerike te zapadne Europe i zapadne Afrike. Osijek se nalazi unutar sivog područja pa je promatranje bilo ograničeno.



Slika 13. Vidljivost Merkurova tranzita 09. svibnja 2016. (bijele površine = tranzit je potpuno nevidljiv, svijetlo sive površine = tranzit je djelomično vidljiv, tamnije sive površine = tranzit je potpuno vidljiv).

Vrijeme I. kontakta tranzita opaženo je u 13:12 h na položaju $83,2^{\circ}$ na Sunčevom disku, dok je vrijeme II. kontakta opaženo u 13:15 h na položaju $83,5^{\circ}$. Treće zabilježeno vrijeme, bilo je vrijeme kada je Merkur bio najbliže Sunčevom centru i to u 16:55 h na položaju $153,8^{\circ}$ na Sunčevom disku. Iako je veći dio tranzita bio vidljiv, izlazak Merkura sa Sunčevog diska, odnosno vrijeme III. i IV. kontakta, nije bilo moguće opaziti jer je zalazak Sunca bio u 19:43 h, a očekivano vrijeme Merkurova izlaska sa Sunčevog diska bilo je u 20:40 h. Vremena kontakata su geocentrična i točna su samo za opažača u središtu Zemlje, stoga se vremena kontakata mogu razlikovati od lokacije do lokacije i do 2 minute. [8]

Merkur se gibao od sjeveroistočnog prema jugozapadnom dijelu Sunčevog diska kao što je to prikazano na Slici 14.



Slika 14. Shematski prikaz Merkurova tranzita preko Sunčevog diska, promatran s Odjela za fiziku Sveučilišta u Osijeku ($45,557974^{\circ}$ N; $18,685177^{\circ}$ E).

Tranzit Merkura sam uvijek je čela i fotografijama. Kompletan prikaz njegova putovanja ispred Sunčeva diska se nalazi na Slici 15. Koristila sam fotoaparat Olympus CAMEDIA C-5050. Atmosferske prilike tog dana nisu bile najpovoljnije pa, zbog oblaka, Sunčev disk na drugoj slici nije cjelokupan. Posljednja slika u nizu snimljena je u 19:39 h nakon čega više nije bilo moguće pratiti tranzit. Da je riječ o zalasku Sunca, možemo vidjeti i po crvenkastoj boji diska. Naime, kada je Sunce bliže horizontu i spusti se sumrak, Sunčeve zrake prelaze duži put kroz atmosferu do očiju promatrača pa se skoro sva plava svjetlost izgubi u atmosferi između Sunca i promatrača. Time u atmosferi ostaje veći dio dugovalne crvene i žute boje koja se rasipa u prostor. Stoga nam je zalazak Sunca, odnosno Sunčev disk, crvenih nijansi.



Slika 15. Prikaz promatranog Merkurvog tranzita 9. svibnja 2016. godine

3.2.2. KORIŠTENI INSTRUMENTI

Zbog skromnog Merkurova promjera, koji iznosi $1/158$ promjera Sunca ili svega 12 " (lučnih sekundi), potrebno je povećanje slike za njegovo promatranje. U tu svrhu, koristila sam se optičkim teleskopima. Optički teleskopi su vrsta teleskopa gdje se, skupljanjem elektromagnetskog zračenja vidljivog dijela spektra u žarištu, stvara uvećana slika udaljenih objekata. Osnovni dio optičkih teleskopa je objektiv. Njegova je zadaća prikupiti što više svjetlosti, odnosno elektromagnetskih zraka. Ovisno o vrsti objektiva, optičke teleskope dijelimo na reflektore, refraktore i katadioptere.

Prilikom promatranja tranzita Merkura, koristila sam refraktorski, Skywatcher, te mješoviti, National Geographic Automatic, teleskop koji su prikazani na Slici 16.



Slika 16. Teleskopi upotrijebljeni za promatranje tranzita Merkura. Desno se nalazi refraktorski Skywatcher, a lijevo mješoviti National Geographic Automatic teleskop (Autor fotografije: Vukić, M.)

Refraktorski teleskopi ili refraktori su vrsta optičkih teleskopa koji koriste leću kao objektiv. To su najstariji tipovi teleskopa i koriste se već više od 400 godina. Najjednostavniji među njima je Galilejev ili jednostavni refraktor. On se sastoji od konveksne leće kao objektiva i konkavne leće kao okulara pa stoga daje uspravnu sliku. Suvremenik Galileja, Johannes Kepler, usavršio je prethodni teleskop i izumio novi, s dvjema konveksnim lećama,

koji daje široko vidno polje i obrnutu sliku predmeta. Današnji se refraktori temelje na dizajnu Keplerova teleskopa.

Reflektorski teleskopi koriste zrcalo kao objektiv pa su stoga i vrlo povoljniji. Upravo je to razlog što su najveći svjetski teleskopi reflektorskog tipa, primjerice svemirski teleskop Hubble i teleskopi Keck. Reflektore je teško svrstati u jednu grupu, a među amaterima se najčešće koriste Newtonov i Cassegraineov teleskop.

Katadioptrici ili mješoviti teleskopi su teleskopi koji koriste i leće i zrcala za stvaranje slike. Zsigurno je među njima najpoznatiji Schmidt-Cassegrain teleskop koji koristi Schmidtovu leću i dva zrcala, jedno sferno, a drugo hiperbolično. Upravo National Geographic Automatic teleskop, koji sam koristila za promatranje tranzita Merkura, predstavlja Schmidt-Cassegrain teleskop. Prednost ovog tipa teleskopa su malene dimenzije što se može primijetiti na Slici 16. Skywatcher, refraktorski teleskop, ima mnogo dužu optičku cijev, masivniji je i teži.

Da bi se teleskop mogao koristiti na pravi način potrebno je, uz optičku cijev, koristiti i dodatnu opremu, koja je često važnija od samog teleskopa. Naravno, ona ovisi o tome kako i za što želimo koristiti teleskop. Osnovna dodatna oprema bez koje se teleskop ne može koristiti su montaža, stativ (stup), tražilac i okulari.

Montaža je veoma važan dio teleskopa jer omogućava precizno usmjeravanje i stabilno držanje teleskopa. Loša montaža može biti uzrok mnogim frustracijama zbog silnih vibracija slike koje će biti njome uzrokovane. Zato je poželjno pripaziti kakva montaža dolazi uz teleskop. Refraktorski teleskop Skywatcher je ekvatorijalni, a National Geographic Automatic alt-azimutalni. To su upravo dvije različite vrste montaža koje teleskopi mogu imati. Alt-azimutalne montaže imaju mogućnost vodoravnog (lijevo-desno) i okomitog (gore-dolje) pomaka. Jednostavni su za postavljanje i upotrebu, a mogu biti motorizirani i kompjuterizirani, odnosno imati tražilac ili Go To sustav, kao što ga ima National Geographic Automatic. Taj sustav omogućava automatsko traženje i praćenje objekata na nebu. Ekvatorijalne se montaže postavljaju tako da im je jedna os pod kutem koji odgovara zemljopisnoj širini mjesta s kojeg se rade astronomska opažanja. Os je paralelna Zemljinoj osi rotacije i tako usmjerena u sjeverni nebeski pol koji se trenutno nalazi u blizini zvijezde Sjevernjače. Ekvatorijalna montaža omogućava izradu dugačkih ekspozicija koje su potrebne u astrofotografiji kako bi se snimili tamni i udaljeni astronomske objekti. Stoga je

Skywatcher bio pogodniji za fotografiranje Merkurova tranzita od National Geographic Automatica.

Okulari služe za vizualno opažanje slike koju stvara teleskop. Oni imaju različite žarišne daljine i mogu se mijenjati ovisno o željenom iznosu ukupnog povećanja teleskopa.

Povećanje teleskopa možemo odrediti ukoliko znamo žarišnu daljinu objektiva i okulara koje koristimo. Formula za izračunavanje povećanja je:

$$m = \frac{F}{f},$$

gdje je F žarišna daljina objektiva, f žarišna daljina okulara, m povećanje.

Teleskop Sywatcher ima promjer objektiva 90 mm i žarišnu daljinu 900 mm, a National Geographic Automatic promjer objektiva 90 mm i žarišnu daljinu 1250 mm. Za promatranje Merkurova tranzita, koristila sam planetarne okulare žarišnih daljina 10 mm i 25 mm. Uvrštavanjem tih podataka u gornju formulu, dobiveno povećanje za prvi teleskop mi je bio 90 i 36, a za drugi 125 i 50.

S povećanjem ne valja pretjerivati. Maksimalno povećanje za neki teleskop je neograničeno i ovisi o okularima, ali postoji pravilo da povećanje ne bi smjelo biti veće od dvostrukog promjera objektiva u milimetrima. To znači da će 100 mm teleskop slabo podnositi povećanja iznad 200 puta. Na Slici 17. sam napravila usporedbu povećanje od 90 i povećanje od 36. Za vrijeme prvog, vidjela sam samo dio Sunčeva diska, ali je Merkurova silueta bila puno veća i jasnija. Ipak, primarna zadaća mi je bila vidjeti kretanje Merkura pa je stoga povećanje od 36 puta bilo idealno za promatranje.



Slika 17. Promatrani objekt na nebeskoj sferi možemo uvećati okularima odgovarajućih žarišnih daljina; uvećanje 90 (lijevo), uvećanje 36 (desno)

Tražilac nam omogućava ciljanje objekta kojeg želimo promatrati. Međutim, tražilac treba najprije poravnati s optičkom cijevi kako ne bi ciljali krivi objekt. Ipak, za promatranje tranzita Merkura, on nije neophodan jer je Sunčev disk velik objekt na nebeskoj sferi.

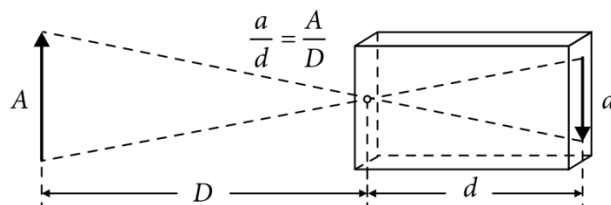
Osim osnovne dodatne opreme, postoje i popratni alati kojima ćemo si olakšati rad s teleskopom i zaštititi od mogućih ozljeda. To su filteri, adapteri, Go To sustav i mnogo toga drugoga.

Moja je popratna oprema prikazana na Slici 18., a čini ju zaštitni solarni filter bez kojeg promatranje Sunčevog diska ne bi bilo moguće te Go To sustav pomoću koga je bilo lako pratiti dnevno gibanje Sunca kod alt-azimutalne montaže. Solarni filter se može kupiti gotov ili napraviti, a stavljamo ga na objektiv teleskopa.



Slika 18. Dodatna oprema za vrijeme promatranja tranzita Merkura; solarni filter (lijevo), Go To sustav (desno)

Osim teleskopom, tranzit Merkura sam popratila i pomoću tamne komore (lat. *camera obscura*). Tamna komora je zatamnjena soba bez prozora ili, u manjoj verziji, kutija sa zacrnjenim unutrašnjim stranama. U nju svjetlost ulazi isključivo kroz mali otvor na jednoj od njezinih stranica. Prolaskom svjetlosti kroz otvor, na nasuprotnoj površini zaslona, pojavljuje se jasna slika objekta koji se nalazi ispred tamne komore (Slika 19). Slika je oštija i tamnija što je rupica manja. Ovu su metodu koristili još stari Arapi za promatranje pomrčine Sunca.



Slika 19. Princip rada tamne komore: zrake svjetlosti se odbijaju od predmet (A), prolaze kroz mali otvor na kutiji i padaju na njezin nasuprotni zaslon (a). Veličina projekcije ovisi o udaljenosti predmeta od kamere (D) i otvora (objektiva) od zaslona (d).

4. ZAKLJUČAK

Tranzit Merkura je važna astronomska pojava jer otvara mogućnost promatranja ovog, inače nepristupačnog, planeta te prikupljanja raznih podataka za analizu što direktno vodi ka novim znanstvenim otkrićima i zaključcima. Osim samog proučavanja reljefnih i atmosferskih obilježja Merkura, znanstvenici će ovu pojavu iskoristiti i za poboljšanje tehnike promatranja planeta i van Sunčeva sustava.

Merkurovi tranziti su vrlo rijetki. Pojavljuju se svega 13 do 14 puta u stoljeću. Osim toga, pojava nije vidljiva sa svih dijelova Zemljine kugle. Tako prošli tranzit, koji se dogodio 2006. godine, nismo bili u mogućnosti popratiti sa područja jugoistočne Europe. On je tada bio vidljiv samo na prostoru Sjeverne i Južne Amerike, Tihog oceana, Australije i Japana. Posljednji vidljiv sa naše lokacije je bio 2003. godine, a sljedeći će biti 2019. Ipak, tranzit, većeg prividnog promjera planeta od 12" (lučnih sekundi), kao što je to bio ovaj, moći ćemo promatrati tek za 33 godine (svibanj 2049. godine, *Tablica 1.*).

Zbog jako malog promjera, njegovo promatranje zahtjeva dobru opremu. Tamna je komora dobra metoda promatranja pojava vezanih za Sunce, ali u ovakvim slučajevima, nije pogodna jer je jako teško u kreiranoj slici uočiti Merkur. Stoga je za praćenje tranzita Merkura potrebno imati teleskop, okulare i zaštitni solarni filter.

Prilikom promatranja, koristila sam refraktorski, Skywatcher, i mješoviti, National Geographic Automatic, teleskop. Obje vrste teleskopa daju dobru sliku, međutim, velika je razlika u rukovanju. Naime, alt-azimutalne montaže, kakav je slučaj kod National Geographic Automatica, omogućavaju pomicanje teleskopa gore-dolje, lijevo-desno. Njihova upotreba je jednostavna do krajnjih granica i lako se prilagoditi na princip rada s njom. Ipak, mana alt-azimutalnih montaža je što otežavaju praćenje objekata. Potrebno je pomicati teleskop u dva smjera da bi objekt ostao u vidnom polju pa se stoga lako gubi. Motorizacija ovakve vrste teleskopa je pomogla pri rješavanju tog problema, ali je zakretanje iznimno sporo. To ne stvara poteškoće ukoliko pratimo dnevno kretanje Sunca, ali prilikom promatranja noćnog neba, iziskuje veliko strpljenje. Ekvatorijalna montaža, kakvu ima Skywatcher, omogućava gibanje teleskopa po deklinaciji i rektascenziji. Kada se jednom traženi objekt nađe, potrebno je teleskop pomicati samo u jednom smjeru da bi ostao u vidnom polju. Stoga je ova montaža puno bolja i preciznija kada objekte tražimo ručno.

Važno je paziti kakve okulare koristimo te znati odrediti adekvatno uvećanje. Ukoliko je promatrani objekt velik, kao što je to Sunčev disk, s uvećanjem ne treba pretjerati. Važno je naglasiti da sve pojave, koje uključuju promatranje Sunca, moramo popratiti uz korištenje zaštitnog solarnog filtera kako ne bi oštetili vid. Također, promatranje ne bi smjelo trajati dugo kako Sunce ne bi oštetilo unutrašnjost teleskopa, otopilo plastiku i tako oštetilo zrcala ili leće. Treba raditi česta, kratka promatranja, nakon kojega svaki put teleskop usmjerimo dolje ili u stranu, a nikako u prema Suncu.

5. LITERATURA

- [1] Anderson, J. D., *Shape and Orientation of Mercury from Radar Ranging Data*, 1996.
- [2] Lakdawalla, E., *MESSENGER Scientists 'Astonished' to Find Water in Mercury's Thin Atmosphere*, 2008.
- [3] Lewis, J.S., *Physics and Chemistry of the Solar System*, 2004.
- [4] Rawlins, K; Moses, J. I.; Zahnle, K.J., *Exogenic Sources of Water for Mercury's Polar Ice*, 1995.
- [5] „Mercury Fact Sheet“, <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/mercuryfact.html>. NASA Goddard Space Flight Center, 2007.
- [6] Espanek, F., *Transit of Mercury*, 2005.
- [7] Margot, L.J.; Peale, S.J.; Jurgens, R.F.; Slade, M.A.; Holin, I.V., *Large Longitude Libration of Mercury Reveals a Molten Core*, 2007.
- [8] Vukić, Maria; Poje Sovilj, Marina; *Promatranje tranzita Merkura 09. svibnja 2016.*, Matematičko-fizički list, LXVII 1 (2016. – 2017.)
- [9] Vujnović, V.; *Astronomija 1*; Školska knjiga Zagreb, 1994.
- [10] Powell, M.J., *The Transit of Mercury May 9th 2016.*; <http://www.nakedeyeplanets.com/mercury-transit-2016.htm>

6. ŽIVOTOPIS

Maria Vukić je rođena 15. siječnja 1995. godine u Vinkovcima, Republika Hrvatska. Pohađala je Opću gimnaziju fra Martina Nedića u Orašju, klasa 2009./2013. Nakon završene srednje škole, upisala se na preddiplomski studij fizike na Odjelu za fiziku, Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, gdje trenutno studira. Članica je Studentskog zbora i vijeća Odjela za fiziku te predsjednica Studentske udruge mladih astronoma TARDIS čije je sjedište na istoimenom Odjelu.