

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
FIZIČKI ODSJEK

Kristian Bagarić

TERENSKA NASTAVA FIZIKE:
NEWTONOV OPĆI ZAKON GRAVITACIJE

Diplomski rad

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
FIZIČKI ODSJEK

INTEGRIRANI PREDDIPLOMSKI I DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
FIZIKA I INFORMATIKA; SMJER: NASTAVNIČKI

Kristian Bagarić

Diplomski rad

**TERENSKA NASTAVA FIZIKE:
NEWTONOV OPĆI ZAKON
GRAVITACIJE**

Voditelj diplomskog rada: doc. dr. sc. Dalibor Paar

Ocjena diplomskog rada: _____

Povjerenstvo: 1. _____

2. _____

3. _____

Datum polaganja: _____

Zagreb, 2018.

Zahvaljujem se roditeljima Tamari i Draganu na beskrajnom strpljenju, upornosti i ljubavi koju mi pružaju cijeli život.

Posebne zahvale ekipi u Pripremi na udomljavanju tijekom pisanja diplomskog rada i kolegama koji su bili uz mene tijekom studiranja.

Zahvaljujem se mentoru na vođenju i pomoći tijekom pisanja diplomskog rada.

Sažetak

Zainteresiranost učenika za prirodne znanosti i pohađanje prirodoznanstvenih fakulteta sve je manja. Učenici nastavu smatraju suhoparnom i dosadnom. Nisu upoznati sa stvarnom slikom suvremene znanosti što vodi ka odbacivanju znanosti kao nešto što im ne treba u životu.

U ovom radu pokazano je kako terenska nastava u sklopu istraživački usmjerene nastave može pomoći probuditi interes kod učenika. Konkretno se istražuje kako pomoću veze Keplerovih zakona s Newtonovim općim zakonom gravitacije izračunati masu planeta u Sunčevom sustavu. Posebno je zanimljivo što se terenska nastava odvija u zvjezdarnici, koristi se teleskop visoke razlučivosti što je nešto što učenici rijetko susreću u obrazovanju.

Ključne riječi: *nastava fizike, terenska nastava, Newtonov opći zakon gravitacije,*

Abstract

Field Education in Physics :

General Law of Gravity

Kristian Bagarić

Student interest in science and a higher science education is decreasing. The science class is considered boring and uninteresting. Students are left unaware of the realistic image of a modern science which leads to them rejecting science as something they do not need in life. This thesis explores how out-of-classroom teaching as a part of inquiry-based learning helps to provoke interest in science. Specifically, we explore how to use Kepler's Laws of motion combined with Newton's general theory of gravity to calculate the mass of a planet in the Solar system. What is especially interesting for students is that they will come in contact with an observatory equipped with a high-resolution telescope, something that they rarely encounter in their education.

Keywords: *physics teaching, fieldwork teaching, Newton's law of universal gravitation*

Sadržaj

1	Uvod	6
2	Nastava fizike u školi	7
2.1	Problemi predavačkog tipa nastave	7
2.2	Interaktivna i istraživački usmjerena nastava fizike	8
2.2.1	Funkcija i svrha nastave	8
2.2.2	Struktura nastave	9
2.3	Učenje fizike izvan škole	13
3	Terenska nastava.....	14
4	Teorijski okvir terenske nastave u zvjezdarnici	16
4.1	Opći Newtonov zakon gravitacije.....	16
4.2	Veza trećeg Keplerovog zakona i Newtonovog zakona gravitacije	17
5	Izvedba terenske nastave u Zagrebačkoj Zvjezdarnici	19
5.1	Zvjezdarnica u Zagrebu	19
5.2	Izvedba terenske nastave	21
5.2.1	Eksperimentalni postav i kratki opis izvedbe	21
5.2.2	Fotografiranje Jupitera.....	24
5.2.3	Metoda mjerenja.....	28
5.2.4	Obrada podataka s opservatorija.....	31
5.2.5	Računanje mase Jupitera	40
6	Zaključak	42
7	Literatura	43

1 Uvod

Ključni elementi suvremenog obrazovanja su motivacija i inspiracija učenika za određenu tematiku. Jedan od glavnih problema u hrvatskom obrazovanju je što su učenici tijekom nastave pasivni i nezainteresirani.

Tipičan školski sat nastave fizike mogao bi se opisati ovako: Nastavnik se pojavi na satu, prozove učenike koji su dežurni da nabroje tko nije prisutan te započinje sat s pisanjem naslova gradiva koje će se danas obrađivati. Cijeli sat se dalje sastoji od suhoparnog nabiranja niza informacija koje učenici bez interakcije s nastavnikom zapisuju u strahu da će se sve što nastavnik izlaže naći na testu u nekoj bližoj budućnosti.

Učenici se tijekom nastave dosađuju te su frustrirani zbog osjećaja gubitka vremena i zatočenosti. Rezultati učenja u takvom okruženju su nimalo začuđujuće slabi. Učenje se događa tek prije samog ispita kada su, nažalost, učenici prepušteni samima sebi i svojim sposobnostima, što rijetko dovodi do zadovoljavajućih rezultata.

Rješenje koje nastavnici fizike širom svijeta preporučuju je učiniti učenike intelektualno aktivnima tijekom nastave tako da se učenje događa već tada. Uvode se novi načini poučavanja, a teme vežu uz opipljive probleme današnjice. Učenicima se pojašnjava zašto uče pojedine tematike.

U strategijama unaprjeđenja europskog znanstvenog obrazovanja ističe se činjenica da učenici provode većinu budnog vremena izvan konteksta formalnog obrazovanja (Hazelkorn, 2015). To vrijeme ima velik utjecaj na učeničko znanje i razumijevanje o svijetu te zainteresiranost i motivaciju za učenje. U stručnoj literaturi okoline za učenje čine STEM ekosustav. U njemu jednu od važnih uloga ima terenska nastava. Hrvatsko obrazovanje enormno zaostaje za europskim vezano uz broj sati terenske, odnosno općenito vanučioničke nastave. Stoga je u svim područjima obrazovanja važno razvijati sadržaje koji se mogu uklopiti u postojeće kurikule.

U ovom diplomskom radu opisano je kako terenska nastava u sklopu istraživački usmjerene nastave pruža osvježavajuću i zanimljivu metodu poučavanja fizike te daje recept za ostvarivanje konkretnog projekta koji učenici mogu sami provesti uz pomoć nastavnika ili edukatora.

2 Nastava fizike u školi

2.1 Problemi predavačkog tipa nastave

Nastavnici diljem svijeta se slažu da je cilj učenja fizike u školama poticanje intelektualnog razvoja te izgrađivanje prirodoznanstvene pismenosti. Pokazuje se da je predavački tip nastave vrlo neučinkovit u tom pogledu te da su učenici nezadovoljni interakcijom s nastavnikom. Prema istraživanju provedenom u SAD-u (Hake, 1998) pokazuje se da je učinkovitost predavačkog tipa nastave neovisna o kvalificiranosti nastavnika. Učenici su pasivni i nezainteresirani te nauče vrlo malo tijekom same nastave. Učenje tek kreće neposredno pred ispit kada učenici sami, ostavljeni vlastitim ograničenim sposobnostima prolaze kroz gradivo.

Intrinzično motivirani učenici slušati će i zapamtiti ključne ideje i pojmove. Motivirani su vlastitom željom za napredovanjem ili ih zanima baš ta tema koju slušaju te žele upiti što više od osobe koja im predstavlja neposredan izvor informacija. Takvim učenicima struktura nastave ne mora igrati veliku ulogu jer će vlastitim nahođenjem doći do toga što ih zanima, a sve što bi ih moglo kočiti u školskom sustavu smatrati će lako premostivom preprekom. Nažalost, realnost je takva da su ti učenici vrlo rijetki te ne mogu služiti kao bazna linija za određivanje sposobnosti prosječnog učenika.

Učenici koji bez motivacije dolaze na predavačku nastavu osjećaju da je krivo što moraju pamtiti „beskorisne“ informacije. Ne vide svrhu gradiva koje uče te imaju stav da im ništa od toga neće trebati nakon što polože ispit pa je uzaludno sve pamtiti. No kako dolazi do toga? Ako je nastava koncipirana tako da se učenike bombardira informacijama bez truda da se te iste informacije stave u primjereni kontekst počne se javljati pitanje „Zašto to moramo znati?“. U tim trenucima dolazi do nestrpljivih odgovora tipa „Zato što sam ja to tako rekao!“ ili „Zato što će to biti u ispitu!“. Oba primjera slikovito prikazuju razlog zašto učenici informacije dobivene u školi smatraju beskorisnima. Ostavlja ih se da sami zaključuju o kontekstu iza dobivenih informacija te da se velik dio života u školskoj dobi koje provode u školskom okruženju svodi na stres. Stres izazvan nedoumicom hoće li znati odgovore na pitanja naizgled postavljena iz vedra neba. Takvo okruženje navodi na destruktivan tok misli pri kojem se odustaje od učenja i predaje lakše pristupačnijim sadržajima, u pravilu izvan STEM područja, odnosno temelja za zanimanja 21. stoljeća.

Ekstrinzično motivirani učenici pronaći će način kako sistematizirano zapisati sve što nastavnik predaje da se pri učenju prije ispita što lakše dođe do dobre ocjene. Rezultati su na papiru bolji kod ovakvih učenika no čak i ako zanemarimo druge nemotivirane učenike je li dobra ocjena jedini rezultat koji se želi postići u nastavi? Što zapravo učimo djecu ako je jedini kriterij uspješnosti dobra ocjena? Rezultati PISA testova i državne mature u Hrvatskoj pokazuju da ocjene u školi ne kolidiraju sa trajnim i praktičnim znanjima.

Postavlja se pitanje kako ispravno motivirati učenike da uče i da grade pozitivan i konstruktivan stav prema znanju? Kako možemo u isto vrijeme kod učenika razviti ne samo razumijevanje fizike nego ih i navesti na samostalan put do ispravnog znanstvenog zaključivanja?

2.2 Interaktivna i istraživački usmjerena nastava fizike

2.2.1 Funkcija i svrha nastave

Odgovor na prethodno postavljena pitanja dolazi u obliku interaktivne i istraživački usmjerene nastave fizike. Sama obilježja takvog tipa nastave generalno su opisana u samom nazivu no može ih se konkretizirati.

Kao što je već navedeno, cilj nastave fizike je razvijanje prirodosnanstvene pismenosti te razumijevanje fizike. To se postiže kombiniranjem znanja te znanstvenog razmišljanja i zaključivanja. Da bi se fizika razumjela u nastavi se mora odražavati njen istraživački karakter. Učenici tijekom istraživačke nastave razvijaju znanstveno razmišljanje i zaključivanje te dobivaju bolji uvid u proces znanosti. To je puni kontekst fizike kao ljudske djelatnosti kojeg u predavačkom tipu nastave nema.

Postoje dva aspekta nastave:

- 1) Istraživački pristup
 - Istraživanje i konstrukcija modela fizičkih pojava te problemski pristup primjeni modela (obrada novog gradiva popraćena razradom i primjenom)
- 2) Interaktivnost
 - Korištenje interaktivnih nastavnih metoda, poticanje intelektualnog angažmana

Osnovna obilježja istraživačkog pristupa su:

- Traženje odgovora na znanstvena pitanja.
- Formuliranje i testiranje hipoteza.
- Smišljanje i izvođenje pokusa.
- Prezentiranje i argumentiranje rezultata istraživanja.

Istraživanja mogu biti provedena ovisno o tipu:

- **Vođeno** istraživanje podrazumijeva da učenici uz puno usmjeravanja i vođenja od strane nastavnika izvršavaju zadatke u navedenim točkama.
- **Otvoreno** istraživanje je s druge strane potpuno samostalno te vodi do još većeg intelektualnog angažmana. Učenici individualno ili u manjim grupama vode istraživanje vezano uz neku specifičnu temu ili gradivo. Takav način rada nije prikladan za razred zbog raznih logističkih i vremenskih ograničenja no može biti dio školskog projekta ili terenske nastave kao što ćemo vidjeti u nastavku.
- **Interaktivnost** u nastavi postiže se na mnogo načina, navodimo ih u sklopu strukture nastave.

2.2.2 *Struktura nastave*

Istraživački usmjerena nastava dijeli se na tri dijela:

- 1) Uvodni dio:
 - otvaranje problema, upoznavanje nove pojave/ideje.
- Središnji dio:
 - vođeno istraživanje, matematički opis, konstrukcija modela.
- Završni dio:
 - evaluacija i primjena modela, konceptualna pitanja.

Uvodni dio

Sat se otvara uvodnim problemom.

Uvodni problem može biti pitanje ili pokus pomoću kojeg učenici upoznaju novu pojavu.

Ovaj dio sata daje motivaciju i orijentaciju. Ističe se točno što nas zanima te zašto nam je

važno te se prikupljaju učeničke ideje i dosadašnje koncepcije o novoj pojavi. Prikupljanje učeničkih ideja i prijašnjih znanja daje koristan uvid u stupanj razvijenosti njihovih mentalnih modela. Time pomaže pri konstrukciji i prilagođavanju nastave za što bolje učenje prema konstruktivističkom modelu. Uvodni dio sata najčešće završava uvođenjem naziva nove pojave, tek nakon što smo konstruirali ideju.

Središnji dio

Središnji dio sastoji se od vođenog istraživanja, započinje **istraživačkim pitanjem**. Traži se način kako istražiti novu pojavu ili koncept, kako ju opisati, o čemu ovisi? Ovaj dio sata je dio u kojem učenici osim gradiva upoznaju i znanstvene procese te razvijaju brojne sposobnosti u obrazovnom i odgojnom aspektu. Učenici predlažu pokuse, izvode ih sami ili ih promatraju, opisuju, daju predviđanja i konstatiraju opažanja te zapisuju i analiziraju rezultate. Dolazi do konstrukcije te matematičkog opisa fizikalnog modela.

Završni dio

U završnom dijelu dolazi do primjene i evaluacije konstruiranog modela. Jednostavnim zadacima ili konceptualnim pitanjima utvrđuje se gradivo i testira postignuti stupanj razumijevanja kod učenika. Možemo se vratiti na uvodni problem sada gledan iz nove perspektive ili izvršiti nekoliko aplikacijskih pokusa ovisno o tome koliko je vremena ostalo na kraju sata. Interaktivnost ima veliku ulogu u ovom tipu nastave. Postiže se na mnogo načina, a neke od interaktivnih nastavnih metoda su:

- razredna rasprava
- konceptualna pitanja s karticama
- kooperativno rješavanje zadataka u malim skupinama
- interaktivno izvođenje pokusa
- računalne interaktivne metode.

Primjena tih metoda varira ovisno o raspoloživom vremenu te o opremljenosti škole, no najjednostavniji način za koji ne treba nikakva oprema i može se primijeniti u bilo kojem slučaju je **razredna rasprava**.

Pogledajmo kratak opis sata u kojem razredna rasprava ima veliku ulogu.

Nastavnik postavlja pitanja kojima navodi učenike na raspravu te na samostalno zaključivanje. Potiče učenike da zapisuju svoja predviđanja prije izvršavanja pokusa te svoja opažanja nakon. Nakon zapisivanja nastavnik bira nekoliko učenika da pročitaju svoje pretpostavke ili opažanja. U ovom trenutku prikupljaju se informacije od pojedinih učenika, potiče se izražavanje vlastitog mišljenja te se sagledavaju različitosti u učeničkim pretpostavkama. Važno je stvoriti dojam da nijedna pretpostavka u ovom trenutku nije pogrešna, treba pohvaliti razmišljanje i isticati važnost procesa rasprave i dolaska do ispravnog odgovora diskusijom te testiranjem pretpostavki. Učenicima treba dati vremena da odgovore te po potrebi postaviti potpitanja no izbjegavaju se sugestivna pitanja te pitanja na koja se odgovara jednom riječi.

Na učenička pitanja treba odgovarati pitanjima i to na taj način da se potakne razmišljanje. Pitanja ne smiju biti trivijalna, ali ni preteška, trebaju provjeravati razumijevanje i poticati razvoj razumijevanja fizikalnih sadržaja. Na kraju rasprave nastavnik na temelju potvrđenih pretpostavki i ispravnih opažanja zajedno s učenicima dolazi do zaključka kojeg učenici svi zapisuju. Na taj način postiže se intelektualni angažman svakog učenika i što je također važno, eliminira se strah od „neznanja“. Učenici koji su povučenijeg karaktera u drugim situacijama s manje interaktivnosti možda ne bi imali hrabrosti podići ruku i postaviti pitanje. Na ovaj način diskusija se prirodno implementira u nastavu što vodi do trenutnog te dubljeg učenja većeg broja učenika.

Konceptualna pitanja s karticama

Učenici odgovaraju na konceptualna pitanja višestrukog izbora dižući kartice. Nakon što daju odgovore diskutiraju ih sa svojim susjedima. Nakon diskusije ponovno se odgovara na isto pitanje. Ako raspodjela odgovora nije dobra nastavnik vodi raspravu o problemu s cijelim razredom da bi se došlo do ispravnog odgovora.

Kooperativno rješavanje zadataka u skupinama

Zadaci se rješavaju u skupinama od 3-4 učenika različitih sposobnosti dok nastavnik kruži razredom i pomaže skupinama koje zapinju. Zadaci ne smiju biti prejednostavni, ali ni prezahtejni.

Računalne interaktivne metode

To može biti interakcija sa softverom, animacijama, internetom, simulacija itd. Učinkovitost ovih metoda nije velika sama po sebi no može pomoći ako se kombinira s drugim interaktivnim metodama.

Interaktivno izvođenje pokusa

Pri izvođenju pokusa važno je aktivno sudjelovanje učenika. Pasivno promatranje nema puno učinka na razumijevanje fizike. Treba tražiti predviđanja, opažanja, samostalni opis, skicu te zaključke. Učenici također mogu sami osmisliti i predložiti pokus.

Interaktivna nastava se u početku može učiniti kao izazov u usporedbi sa standardnim tipom predavačke nastave. Postavlja se problem opremljenosti pojedinih škola. Možda postoji motivacija kod učenika i nastavnika da se provodi istraživačka nastava ali ne postoje sredstva da se npr. omogući izvođenje pokusa na svakom satu. Nastavnici u tim situacijama mogu biti kreativni i smišljati pokuse koji se mogu izvoditi s čestim kućnim alatima i potrepštinama koje ili oni ili učenici mogu donijeti od kuće tako da uvijek postoji način na koji se dočaravaju neke fizikalne pojave. Ovo je upravo i smjer u kome se razvija suvremena nastava fizike. Takvi pokusi, u čijem osmišljavanju mogu sudjelovati učenici, pokazuju se puno učinkovitiji od gotovih i često skupih edukativnih paketa. Problem je također količina gradiva i kratko vrijeme raspoloživo za obradu što može dovesti do preopterećenja i pada motivacije kod učenika. Nastava fizike treba suvremeni kurikulum koji naglasak stavlja na stjecanje trajnih znanja i vještina, a ne na memoriranje podataka koji se za par sekundi mogu pronaći na internetu.

No nije sve tako sivo. Zaboravljamo da učenici velik dio vremena provode izvan škole te da nema razloga zašto se to vrijeme ne bi koristilo u edukativne svrhe te za pobuđivanje interesa i motivacije kod učenika. Osim što nastavnici kroz projektnu nastavu mogu motivirati učenike da rade na projektima i izvan vremena u školi, ogromne su mogućnosti razvoja neformalnih programa u okviru kojih bi se uz zanimljive tematike mogla stjecati i znanja iz fizike.

2.3 *Učenje fizike izvan škole*

U današnje vrijeme postoji brzo rastući broj medijskih kanala koji fiziku, odnosno prirodne znanosti prezentiraju na atraktivan i pristupačan način. Već dulje vrijeme postoje popularno znanstveni časopisi i članci u novinama koji približuju znanost široj publici, no to se ne može mjeriti s popularno znanstvenim sadržajem nastalim napretkom informacijske i komunikacijske tehnologije. Problem za nastavnike danas je to što učenici nastavu smatraju suhoparnom i odbojnom dok istovremeno na internetu pronalaze zabavan sadržaj koji izaziva uzbuđenje i interes za znanstvene teme. Youtube kanali poput Minute Physics, Veritasium, PBS Space Time, ASAP Science, SciShow i mnogi drugi bave se širokim spektrom tema u znanosti. Zanimljivim vizualizacijama, snimljenim pokusima te pomno smišljenim analogijama učenicima se približuju pitanja razne tematike. Teme iz osnova fizike stavljaju se u povijesni kontekst s sa animiranim likovima radi boljeg razumijevanja značajnosti pojedinih otkrića. Aktualne teorije poput kvantne fizike i teorije struna ili astrofizičke pojave poput crnih rupa i neutronske zvijezde osobito su atraktivne teme koje izazivaju čuđenje, fascinaciju i strahopoštovanje. Takve i slične teme su daleko najuspješnije u izazivanju interesa za znanost kod učenika no ne služe samo tome da plijene pažnju. Svi ovi kanali strastveno drže do principa znanstvene metode te se trude prikazivati znanost i fiziku na objektivan način. Puštaju da zanimljivost i impresivnost takvih tema izvire iz same tematike i okolnosti što u današnjem svijetu prezasićenim prisilnim senzacionalizmom nosi snažnu vrijednost.

Sadržaj na internetu zbog svoje prirode ne može ići u dubinu pojedine teme, odnosno razvijati duboka znanja i vještine. Uloga tog sadržaja je pridonijeti danas izuzetno važnim aspektima obrazovnog procesa – motivaciji i inspiraciji. Motiviran učenik će s voljom pristupiti savladavanju složenih tematika za što je potreban dugotrajan i sustavan rad. Uistinu obrazovati učenika te ga naučiti kako pristupiti rješavanju stvarnih problema u znanosti znači pripremiti učenika da se samostalno uhvati u koštac s njima. Treba provesti iznimnu količinu vremena nailazeći na prepreke te ih postepeno savladavati. Takav proces je često težak i frustrirajući te se bez razvijene discipline i motivacije lako može odustati u korist nekih lakših postignuća. Popularno znanstveni sadržaj u tome može pomoći kod motivacije no kako smo vidjeli kod primjene istraživačkog tipa nastave, učenici su uspješniji kada su u direktnom angažmanu s temom koju uče. U tome može pomoći terenska nastava.

3 Terenska nastava

Činjenica je da učenici u školskoj dobi provode dvije trećine budnog života izvan konteksta formalnog školovanja. Nastavnici, doduše, često umanjuju važnost i utjecaj izvanškolskih iskustava na učeničko znanje i poimanje te na vjerovanja, stavove i motivaciju za učenje. Učenici sami vjeruju da je vrijednost takvih iskustava velika, što se očituje u istraživanju provedenom u Ujedinjenom Kraljevstvu. Od 11 alternativnih strategija za učenje znanstvenog sadržaja terenska nastava ili ekskurzija ocijenjena je kao najugodniji način učenja te peti najkorisniji i najefektivniji (Braund&Reiss, 2006).

Videnje je stručnjaka da se taj oblik nastave može integrirati kao komplementaran dio formalnom obrazovanju te unijeti osvježenje zastarjelom obliku nastave koja se provodi u školskim klupama i ograničenim praktikumima. Uvođenje takve nastave u kurikulum kompleksan je pothvat, ali postoji konsenzus da bi u cilju vjerodostojnosti nastava trebala odražavati iskustva znanstvenika u pravom svijetu znanosti te da bi učenici trebali samostalno voditi otvorena istraživanja. Izvanškolsko učenje može biti dio školskog programa kao što je vođeni posjet muzeju, planetariju, zoološkom vrtu i slično no događa se i kod kuće. Korištenje interneta, gledanje televizije i čitanje potiče učenje no uči se i izvan kuće. Učenje pospješuju vrlo različite aktivnosti kao što su motrenje ptica, hodanje u prirodi, sport ili samostalno posjećivanje umjetničkih galerija. Braund i Reiss (2006) opisuju pet načina na koje izvanškolske aktivnosti kao terenska nastava doprinose učenju znanosti:

1. Unaprjeđivanje razvoja i integracije koncepata.
2. Produljen i autentičan praktični rad.
3. Pristup rijetkim materijalima i „velikoj“ znanosti.
4. Unaprjeđivanje stava prema školskoj znanosti u smjeru stimuliranja daljeg učenja.
5. Razvijanje vještina za grupni rad i osjećaja odgovornosti prema učenju.

Navedene beneficije potvrđene su rezultatima testova provedenima nad učenicima prije i poslije izvanškolskih aktivnosti. Pokazano je da su bolje usvojeni koncepti sile i gibanja nakon posjeta muzeju te da dulje ostaju u sjećanju. Šetnja prirodom i promatranje ptica pomaže pri klasifikaciji životinja i sl. Kritike prema učenju u izvanškolskom kontekstu usmjerene su na to da je učenje na takvim mjestima površno i da se često razvijaju krivi

koncepti oko fizikalnih pojmova i fenomena. No pokazuje se da se fizika puno bolje nauči uz intrinzičnu motivaciju i zainteresiranost uzrokovanu zabavnim sadržajem.

Učenje fizike je zahtjevno, ali kada učenici posjećuju mjesta koja objašnjavaju fiziku i znanost na svjež i zabavan način češće su ushićeni i željni saznati i razumjeti više nego što znaju. Bitno je također praktično iskustvo koje učenici steknu pri posjeti mjesta gdje se „velika“ znanost događa. Upoznavanje stvarnih mjesta i rukovanje instrumentima pomaže prikazati pravu sliku suvremene znanosti te prikazuje važnost znanosti za rješavanje pravih problema u svijetu. Mjesta koja koriste sofisticiranu ili fizički veliku opremu kao što su akceleratori čestica ili radio teleskopi potiču oduševljenje i uvažavanje pitanja kao što su „Od čega se sastojimo?“ i „Koja je svrha i sudbina svemira?“.

Glavni cilj terenske nastave i prethodno navedenog je razvijanje pozitivnog odnosa prema znanosti i fizici. Učenici koji su pozitivno orijentirani prema znanosti i koji uživaju autentičan znanstveni kurikulum, bolje uče i imaju bolje razvijenu prirodno-znanstvenu pismenost.

4 Teorijski okvir terenske nastave u zvjezdarnici

4.1 Opći Newtonov zakon gravitacije

U razvoju prirodnih znanosti, pitanja o onome što vidimo na noćnom nebu zauzimaju važno mjesto. Zašto Mjesec nikada ne padne na Zemlju? Zašto se zvijezde i planeti gibaju? Zašto Zemlja ne odleti negdje u svemir umjesto da se giba u blizini Sunca? Iako su znanstvenici otkrivali pravila u tim gibanjima, ova pitanja su do 17. stoljeća bila bez jasnog odgovora. Isaac Newton, jedan od najkreativnijih znanstvenika svog vremena, promatrao je poput niza svojih prethodnika pad jabuke s drveta. Došao je do zaključka da nešto uvijek vuče jabuku prema Zemlji i to djelovanje opisao silom. Taj teorijski doprinos brojni stručnjaci smatraju jednim od najvećih otkrića u povijesti prirodnih znanosti. Istu silu Newton je poopćio na sva tijela u prirodi, uključujući i Sunce i planete. Radi se o gravitacijskoj sili, za koju danas znamo da je jedna od tri fundamentalne sile u prirodi. Gravitacijska sila opisana je Newtonovim zakonom gravitacije:

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \quad (4.1)$$

Sila između dva tijela opisana njihovim masama te međusobnom udaljenosti. Za mala tijela gravitacijska sila je nezamjetna, ali kada se bavimo objektima kao što su zvijezde, planeti i cijele galaksije gravitacijska sila igra veliku ulogu. Ona djeluje na daljinu, drži sve zvijezde u galaksijama na okupu te je razlog zašto naš i drugi planeti kruže oko Sunca.

Tijekom 16. i 17. st. postajalo je polako prihvaćeno da je Zemlja planet, da se svi planeti gibaju oko Sunca te da se prividne pozicije objekata na nebu mogu koristiti za određivanje njihovih orbita. Otkriću općeg zakona gravitacije prethodile su empirijske spoznaje o gibanjima planeta oko Sunca koje je definirao njemački matematičar Johannes Kepler (1571–1630) na temelju hipoteze o planetarnom gibanju Nicolausa Copernicusa (1473–1543) i analize astronomskih podataka koje je pažljivo eksperimentalno izmjerio danski astronom Tycho Brahe (1546–1601). Kepler je otkrio prirodu planetarnih orbita te ih sveo na tri empirijska zakona koje sada nazivamo Keplerovim zakonima (Sears & Zemansky, 2008). Kepler nije znao zašto se planeti tako gibaju, ali je Newton kasnije pokazao da se svaki od Keplerovih zakona može izvesti iz općeg zakona gravitacije. Rezultat tog otkrića

je činjenica da osim orbita dalekih nebeskih tijela pomoću veze Keplerovih zakona i Newtonovog općeg zakona gravitacije možemo odrediti i njihovu masu.

4.2 Veza trećeg Keplerovog zakona i Newtonovog općeg zakona gravitacije

Prema Sears & Zemansky (2008) period orbite planeta koji se giba po kružnici oko Sunca određen je s

$$T = \frac{2\pi r^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{Gm}}$$

Newton je uspio pokazati da isti odnos vrijedi za eliptične orbite planeta kakve znamo da su zapravo samo što je orbitalni radijus r zamijenjen s velikom poluosi elipse a .

$$T = \frac{2\pi a^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{Gm}}$$

Velika poluos a je udaljenost od središta elipse do točke elipse najudaljenije od središta. Primjećujemo da period orbite ne ovisi o obliku tj ekscentricitetu elipse. Planet u eliptičnoj orbiti određenoj s velikom poluosi a imati će jednak period kao i planet u kružnoj orbiti određenoj s radijusom r gdje je $r = a$. Ključna razlika je da se planet u kružnoj orbiti giba konstantnom brzinom putem cijele orbite dok se brzina planeta u eliptičnoj orbiti mijenja ovisno o udaljenosti od Sunca. Prema tome u izračunu možemo tretirati eliptične orbite kao kružne orbite s radijusom određenim vrijednošću velike poluosi a . Prema (Roša, 2011) izvodimo vezu trećeg Keplerovog zakona i Newtonovog općeg zakona gravitacije.

Gravitacijska sila između Sunca i planeta je

$$F = G \frac{M_s m}{r^2},$$

gdje je M_s Sunčeva masa i m masa promatranog planeta. Drugi Newtonov zakon nam kaže:

$$F = ma.$$

Iz posljednja dva izraza nalazimo izraz za ubrzanje planeta kada se giba oko Sunca:

$$a = G \frac{M_s}{r^2}.$$

Pretpostavljamo da se planeti oko Sunca gibaju po kružnicama konstantnom brzinom:

$$v = \frac{2r\pi}{T},$$

gdje je T period ophoda planeta. Pošto se radi o jednolikom gibanju po kružnici postoji akceleracija tijela koja je konstantna i usmjerena u središte kružnice. Opisujemo ju s:

$$a = \frac{v^2}{r},$$

a kada uvrstimo prethodni izraz za brzinu dobivamo:

$$a = \frac{4r\pi^2}{T^2}.$$

Kada izjednačimo dobivena dva izraza za akceleraciju dobivamo:

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{GM_s}{4\pi^2},$$

gdje je $\frac{G}{4\pi^2}$ konstanta proporcionalnosti.

Ovim izrazom pokazali smo da se masa Sunca može izračunati ako je poznat radijus i period orbite planeta koji kruži oko Sunca. Izraz se može primijeniti na bilo koji sustav gdje je masa satelita zanemarivo mala u usporedbi s masom tijela oko kojeg kruži. Upravo to ćemo iskoristiti u izvedbi terenske nastave.

5 Izvedba terenske nastave u Zagrebačkoj Zvezdarnici

5.1 Zvezdarnica u Zagrebu

Zvezdarnica je otvorena 5. prosinca 1903. godine na poticaj Hrvatskog prirodoslovnog društva. Utemeljena je u prostorijama Popovog tornja na adresi Opatička 22. pod upraviteljstvom Otona Kučere¹. Njegovim riječima izražene su temeljne djelatnosti Zvezdarnice:

„Našemu astronomijskom opservatoriju dvojaka je svrha: 1. da prema svojim instrumentalnim sredstvima i radnim silama doprinosi napredovanju nauke same i 2. da navlastito u hrvatskoj inteligenciji i mladosti širi rezultate ove najuzvišenije, najljepše i najsavršenije nauke prirodne, pak da postane neko središte za sve, koji se zanimaju za ovu nauku u hrvatskom narodu.“

Zvezdarnica se već više od stotinu godina bavi promicanjem znanstvenih spoznaja, popularizacijom astronomije i sličnih znanosti te služi kao stalna potpora školskoj astronomiji na području Hrvatske. Čini to pomoću izvrsnog osoblja i sve suvremenije opreme. U studenom 2007. postavljen je novi teleskop s računalnim upravljanjem koji brzo i efikasno pronalazi objekt promatranja, a 2008. godine postavljen je i detektor kozmičkog zračenja (Slika 1). Detektor je prvi takav u Hrvatskoj i dio je međunarodnog projekta pod pokroviteljstvom UN-a.

¹ Oton Kučera (1857. – 1931.) bio je hrvatski je fizičar i popularizator tehnike i prirodoslovlja u Hrvatskoj. Studirao je u Beču matematiku, fiziku i astronomiju te se usavršavao u Bečkoj zvezdarnici. Nastavu je održavao u gimnazijama u Vinkovcima, Požegi i Zagrebu te bio nastavnik matematike na Šumarskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Potaknuo je osnivanje Zvezdarnice prirodoslovnog društva na Popovu tornju i bio njen ravnatelj od 1903. do 1913. i od 1920. do 1925. Djelovao je kao član i predsjednik Matice hrvatske, Hrvatskog prirodoslovnog društva, predsjednik prvoga radio kluba u Zagrebu, predsjednik društva srednjoškolskih profesora te urednik Almanaha Bošković.



Slika 1. Detektor kozmičkog zračenja u Zagrebačkoj zvezdarnici

Djelatnici zvezdarnice dr.sc. Dragan Roša, dr.sc. Darije Maričić, mr.sc. Ivan Romštajn, dipl.ing. Damir Hržina te mag.geogr. Filip Šterc aktivni su znanstvenici s mnogo priznanja. Bave se također popularizacijom znanosti, uređuju časopise i popularno znanstvene članke i djela te uređuju web stranicu zvezdarnice koja je bogat izvor astronomskih podataka (URL1, 2018).



Slika 2. Unutrašnjost zvjezdarnice, kupola i teleskop

5.2 Izvedba terenske nastave

5.2.1 Eksperimentalni postav i kratki opis izvedbe

Ideja terenske nastave u zvjezdarnici je pokazati da se uz pomoć osnovnog znanja iz fizike i matematike mogu opisati ponašanja dalekih nebeskih tijela. Nešto što bi moglo potaknuti zanimanje i entuzijizam oko fizike i znanosti zbog atraktivne tematike i metode te pokazati primjenu stečenog znanja u nastavi na realnu situaciju.

Izabrali smo pokus izračunavanja mase Jupitera pomoću orbitalnih karakteristika njegovih najvećih satelita jer je vrlo jednostavan za izvedbu dok sadrži sve fundamentalne odlike znanstveno istraživačkog rada. Postoje brojne simulacije revolucije Jupiterovih satelita na

internetu. Metoda koju koristimo u izvedbi terenske nastave slična je metodi opisanoj u simulaciji preuzete s (URL3, 2018). Za izvedbu pokusa potreban je teleskop, nešto što je kao znanstveni alat učenicima pristupačno i jednostavno za koristiti, ali kao što će saznati vrlo moćno.

Mjesto izvedbe ovog pokusa nije ograničeno na Zagrebačku ili bilo koju drugu zvjezdarnicu. Jupiter se u dobrim uvjetima na nebu vidi golim okom. Ako pogledamo kroz dalekozor prema njemu već vidimo obrise satelita koji ga okružuju no da bi mogli fotografirati potreban je teleskop s većim povećanjem. Masa Jupitera može se izračunati pomoću jednog satelita no bolje ih je vidjeti što više radi preciznijeg izračuna. Također za idealne fotografije koje će poslužiti za izračun podataka potreban je malo ozbiljniji fotoaparat s ispravnim sučeljem za montiranje na teleskop. U našem slučaju koristili smo Canon 600D (Slika 3).



Slika 3. Fotoaparat i adapter za teleskop

Umjesto objektiva na fotoaparat stavlja se adapter koji se pričvršćuje na teleskop.



Slika 4. Adapter spojen na fotoaparat

U prethodnom dijelu izveli smo iz Newtonovog općeg zakona gravitacije te Keplerovih zakona relaciju koja opisuje masu objekta oko kojeg orbitira satelit pomoću perioda i velike poluosi orbite satelita. Također smo pokazali da slična relacija vrijedi za kružne orbite samo što umjesto velike poluosi koristimo radijus orbite.

U slučaju Jupitera, njegova najveća 4 satelita koje promatramo imaju približno kružne orbite. Ekscentricitet njihovih orbita jako je mal, $e < 0.01$ pa ćemo umjesto velike poluosi eliptične orbite gledati radijus kružne orbite. Na web stranici (URL4, 2018) možemo demonstrirati kako se oblik elipse mijenja ovisno o ekscentricitetu te slikovito prikazati koliko su elipse s malim e slične kružnici. Napisano u matematičkom obliku:

$$M_p = \frac{r_s^3}{T_s^2} \quad (5.1)$$

Gdje su:

M_p - masa objekta, tj. planeta kojeg proučavamo

r_s - radijus orbite satelita

T_s - period orbite satelita

Dakle, da bi izračunali masu Jupitera moramo izmjeriti period i radijus orbite Jupiterovih satelita. Pošto pomoću teleskopa možemo vidjeti 4 satelita dobivamo četiri različite vrijednosti za masu Jupitera te računamo srednju vrijednost mase.

Kako to radimo?

5.2.2 Fotografiranje Jupitera

Fotografiranje počinje traženjem samog planeta na nebu. Da bi ga pronašli moraju najprije biti ispunjeni svi uvjeti. Jupiter dolazi u optimalno područje za promatranje svakih 13 mjeseci, kada je u opoziciji. Drugim riječima tada je u odnosu na Zemlju nasuprot Suncu, horizont se po noći povlači da bi otkrio Jupiter na istoku i sakrio Sunce na zapadu. Optimalno vrijeme za promatranje Jupitera lako se sazna kratkom potragom na internetu. Upisivanjem „when can Jupiter be seen“ u web tražilicu nailazimo na web stranicu (URL5, 2018) koja daje razne astronomske podatke o Jupiteru u rasponu od 2014. do 2018. godine uključujući i datume opozicije, tj. vrijeme kada se Jupiter može vidjeti na nebu.

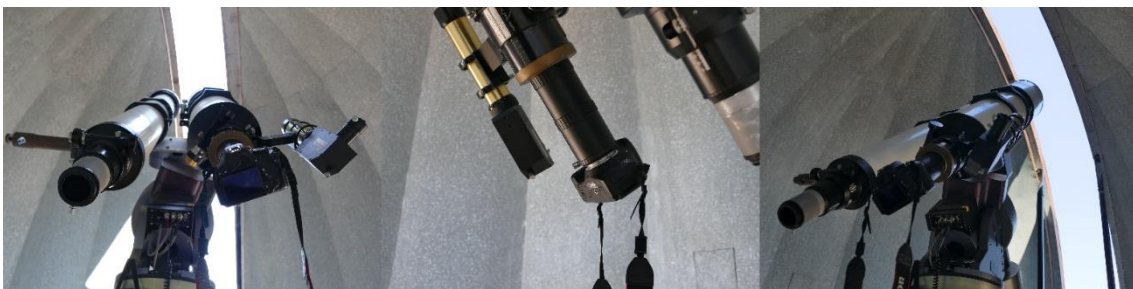
Nadalje moraju se poklopiti vremenski uvjeti. Oblačno vrijeme kobno je za bilo kakvo nebesko promatranje no nisu oblaci jedino što može zasmetati. Ako je planet prenisko na horizontu dolazi do problema zbog gustoće atmosfere. Počinju se javljati efekti atmosferske refrakcije i difrakcije koji čine sliku mutnom. Zato treba izabrati vrijeme kada je planet dovoljno visoko na nebu.

Kada su navedeni uvjeti ispunjeni prvi korak je usmjeravanje teleskopa prema objektu promatranja. Pošto Jupiter vidimo golim okom usmjeriti bilo kakav teleskop ne bi trebao biti problem. U slučaju zvjezdarnice u Zagrebu posao je vrlo lak. Teleskop je automatiziran i spojen na računalo s bazom astronomskih podataka. Da bi ga usmjerili prema Jupiteru moramo ga samo izabrati na listi koordinata.



Slika 5. Navigacijsko računalo

Nakon kratkog čekanja da se teleskop orijentira sljedeći korak je pogledati kroz teleskop i namjestiti oštrinu slike. Nakon što smo izoštrili sliku okular teleskopa zamijeni se fotoaparatom.



Slika 6. Fotoaparat spojen na teleskop

Pošto smo izgubili povećanje okulara slika koju vidimo na ekranu od fotoaparata jako je mala. Koristimo digitalno povećanje da bi pronašli planet na slici te dodatnim postavkama na fotoaparatu izoštravamo sliku te podešavamo duljinu ekspozicije da bi što bolje osvijetlili Jupiter i njegove satelite.



Slika 7. Jupiter i sateliti u četiri različite ekspozicije

Slika 7 prikazuje Jupiter i satelite fotografirane u razmaku od par sekundi s četiri različite duljine ekspozicije. Vidimo kako sa sve duljom ekspozicijom planet postaje sve sjajnije i gube se detalji, ali počinju se nazirati sateliti. Koristiti ćemo najosvjetljenije fotografije za obradu podataka.

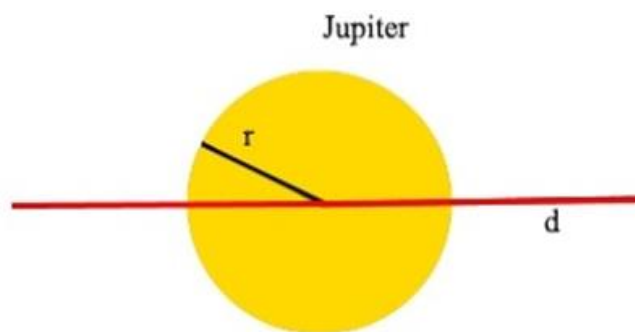


Slika 8. Jupiter i sateliti fotografirani u razmaku od 14 dana

Na slici 8 vidimo Jupiter i pozicije satelita fotografirane od 23.8.2017. do 5.9.2017. Idealno bi bilo fotografirati svaki dan više puta tako da se jasno vidi putanja satelita no zbog vremenskih uvjeta i radnog vremena zvezdarnice to nije bilo moguće. Na internetu možemo pronaći da najkraći orbitalni period u Jupiterovom sustavu ima Io, nešto kraće od 2 dana dok Kalista ima orbitalni period nešto dulji od 16 dana. Prema tome vidimo da nam za potpunu izvedbu mjerenja treba više od dva tjedna savršenih uvjeta što nije praktično za tipičnu jednodnevnu terensku nastavu. Ideja je onda da se demonstrira fotografiranje i mjerenje iz fotografija na način na koji bi se to izvodilo da teleskop imamo na raspolaganju više dana, a računanje mase Jupitera radimo pomoću podataka dobivenih na internetu s opservatorija koji vrlo precizno u realnom vremenu računaju pozicije satelita u odnosu na Jupiter.

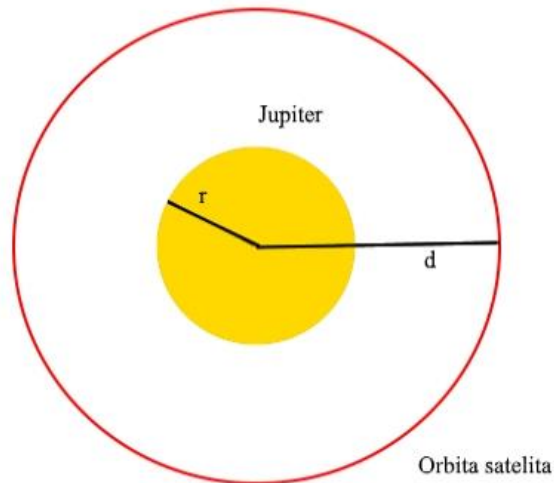
5.2.3 Metoda mjerenja

Prema jednadžbi (5.1) moramo izmjeriti radijus te period orbite Jupiterovih satelita da bi mogli izračunati masu Jupitera. Radijus ćemo dobiti mjerenjem maksimalne udaljenosti satelita od središta Jupitera. Činimo to mjerenjem svake fotografije koju smo napravili posebno pazeći na trenutke kada pojedini sateliti promjene smjer gibanja. Točka u kojoj satelit promijeni smjer gibanja je iz perspektive promatrača maksimalna udaljenost d (slika 9) koju satelit ima od Jupitera.



Slika 9. Jupiter i putanja satelita iz perspektive promatrača

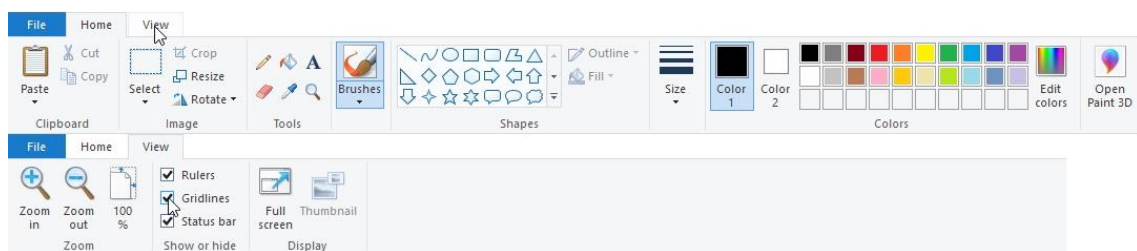
Ako rotiramo perspektivu tako da gledamo okomito na ravninu orbite satelita vidimo da je duljina d zapravo radijus orbite.



Slika 10. Jupiter i orbita satelita, pogled okomit na ravninu orbite

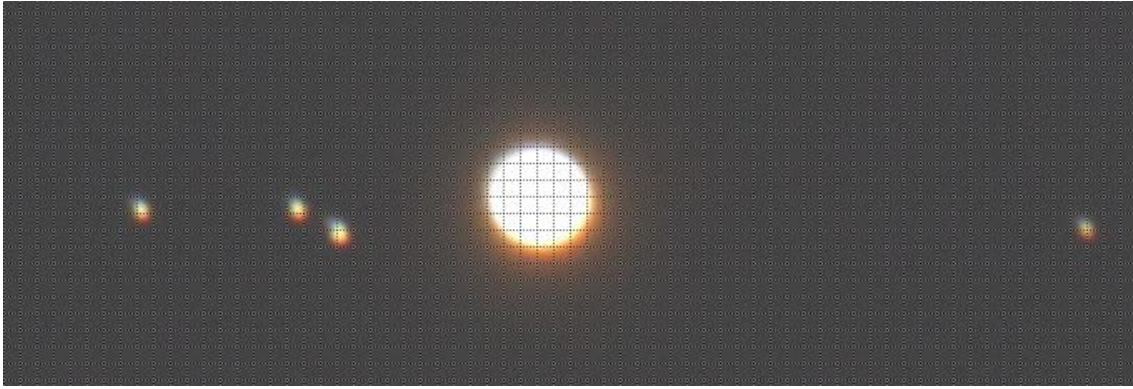
Prema tome, maksimalna udaljenost satelita od Jupitera zapravo je radijus orbite tog satelita. Udaljenost satelita određujemo na samoj fotografiji. Koristimo se najjednostavnijim alatom koji nam pruža računalo, a to je aplikacija Paint u OS-u Windows. Naravno, nije bitno koji program koristimo, samo da postoji način na koji se može nacrtati koordinatna mreža ili direktno izmjeriti udaljenost u pixelima s alatom kao što je „ruler“ ili ravnalo.

Udaljenost mjerimo pomoću koordinatne mreže koja se u softveru Paint omogućava na alatnoj traci kako je prikazano na slici 11.



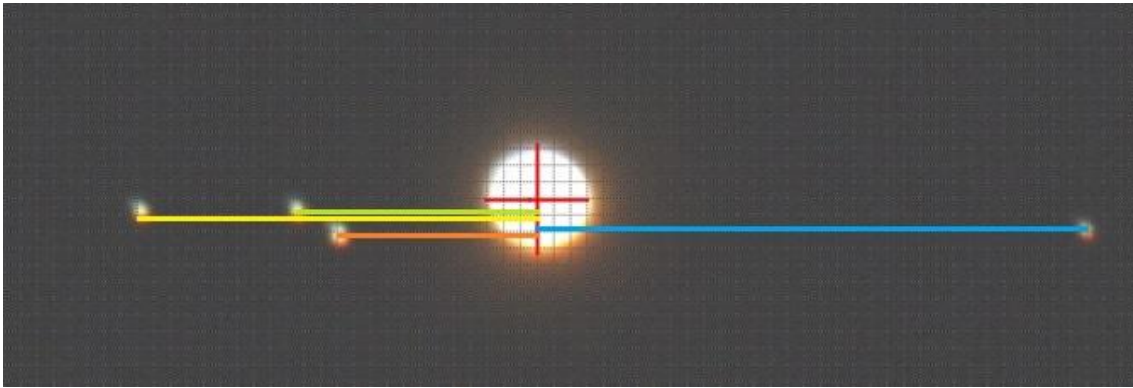
Slika 11. Omogućavanje koordinatne mreže u programu Windows Paint

Slika 12 prikazuje povećanu fotografiju Jupitera i satelita, rotiranu tako da su svi sateliti približno na istoj vodoravnoj liniji da je što lakše izmjeriti udaljenost. Svaki kvadratić je stranice 10 piksela.



*Slika 12. Fotografija Jupitera s nacrtanom koordinatnom mrežom.
Stranica svakog kvadratića je 10 piksela.*

Dalje nam preostaje izmjeriti udaljenosti satelita od središta Jupitera. Koristimo dalje program Paint da bi nacrtali ravne linije pomoću kojih ćemo izmjeriti udaljenost. Označavamo središte Jupitera te povlačimo linije od okomice do satelita.



Slika 13. Označeno središte Jupitera te udaljenosti satelita

Sa slike 13 možemo očitati da radijus Jupitera zauzima tri kvadratića, tj. 30 piksela. Dalje očitavamo udaljenosti pojedinih satelita od središta Jupitera. Vidimo da je satelit označen zelenom bojom udaljen otprilike 14 kockica, tj 140 piksela. Lako se izračuna da je udaljenost tog satelita jednaka 4,66 Jupiterovih radijusa. Nastavljamo dalje mjeriti i računati za pojedine satelite te u sljedećoj tablici zapisujemo podatke za sliku 13.

Oznaka satelita	Udaljenost u pikselima	Udaljenost u Jupiterovim radijusima
Zeleno	140	4.66
Žuto	240	8
Plavo	330	11
Narančasto	120	4

Tablica 1. Podatci o satelitima za datum 25.8.2017.

Proces ponavljamo za sve fotografije koje smo napravili te bilježimo datum i vrijeme fotografiranja za svaku fotografiju. Vrijeme bilježimo da bi pronašli koliki je period orbite pojedinog satelita. Period možemo očitati tako da odredimo početni trenutak i tražimo kada se ponovno satelit našao u istoj poziciji. Vrijeme proteklo između ta dva trenutka je period orbite satelita. Na kraju dobivamo tablicu podataka koju možemo obraditi tako da nađemo maksimum udaljenosti pojedinog satelita od središta Jupitera, time pronalazeći njihove radijuse orbite te periode orbite.

Kao što je već navedeno, da bi dobili tako detaljne podatke moramo fotografirati satelite bar 16 dana u što kraćim intervalima (svakih par sati) što nije izvedivo za najčešće oblike jednodnevne terenske nastave. Zbog toga ćemo za izračun Jupiterove mase koristiti podatke s web stranice opservatorija koji vrlo precizno mjeri pozicije Jupiterovih satelita.

5.2.4 Obrada podataka s opservatorija

Podatci o položajima i gibanjima nebeskih tijela za neko razdoblje zovu se *efemeride*. Njih preuzimamo s web stranice opservatorija (URL3, 2018.). Označavamo za koje satelite želimo dobiti efemeride te upisujemo ulazne podatke kao što su početno i krajnje vrijeme mjerenja, interval između svakog mjerenja i skalu udaljenosti. Što je kraći interval to su precizniji podatci. Pošto smo u našem slučaju fotografirali u vremenu između 23.8.2017. i 5.9.2017. birati ćemo te datum, interval od 1 sat te skalu udaljenosti od 30 Jupiterovih radijusa. Ispravni formati upisivanja datuma opisani su na (URL6, 2018). Ispunjen obrazac ulaznih podataka opisan je na slici 14.

Jupiter Moon Tracker 2.6

2016-02-16: Release 2.6 ported to a new server.

Click [here](#) for help, or click on individual highlighted items. Current ephemeris selection is JUP310 + DE430.

Time Limits

Start time: Početno vrijeme
Stop time: Konačno vrijeme
Interval: Interval između svakog mjerenja

Plot Options

Scale: (half-width) Skala udaljenosti
Title:

Moon Selection:

Io (J1) Europa (J2) Ganymede (J3) Callisto (J4) Amalthea (J5) Thebe (J14) Adrastea (J15) Metis (J16)

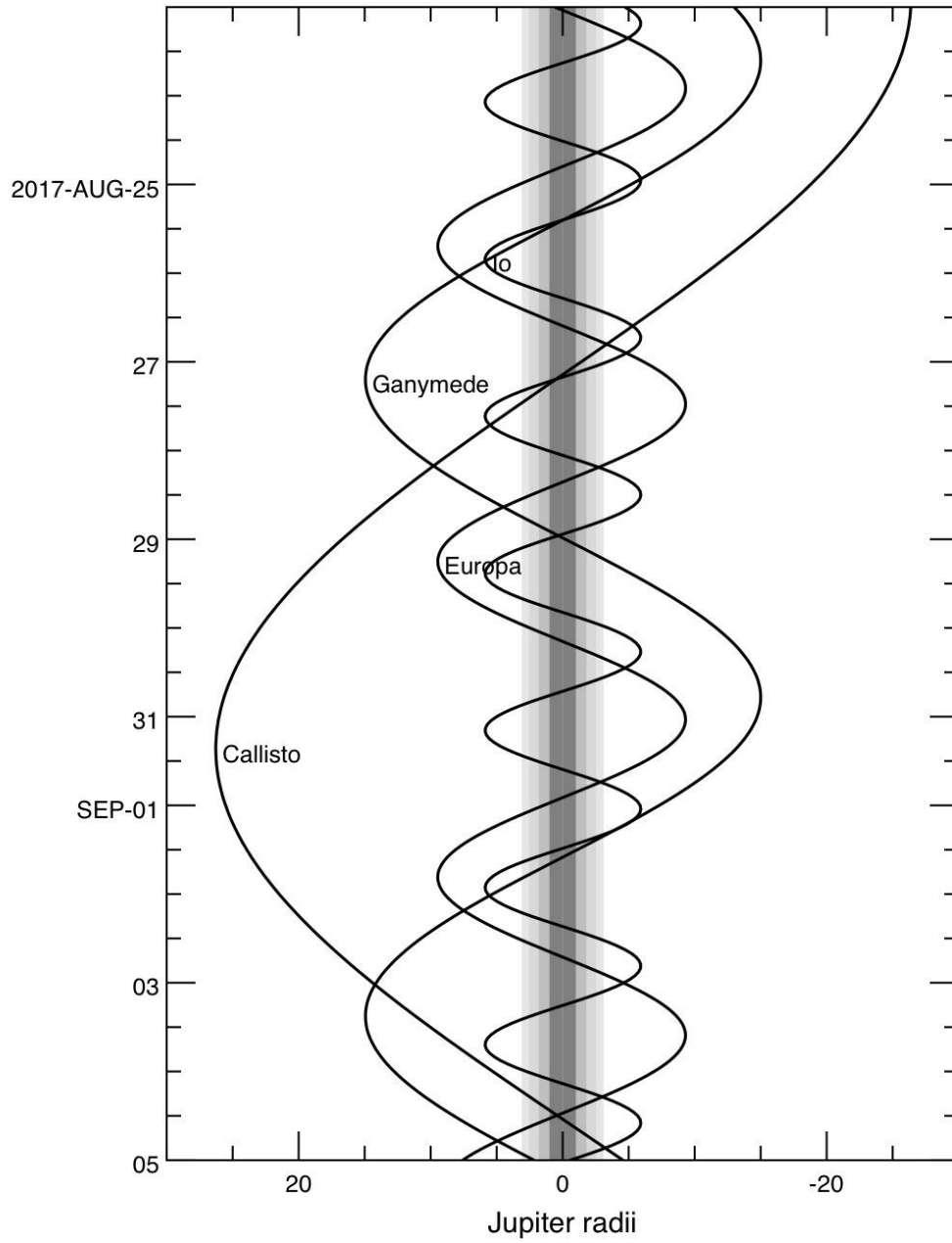
Ring Selection:

Main Ring Gossamer Rings

Slika 14. Ulazni podatci za dobivanje efemerida za Jupiterove satelite

Nakon što smo izabrali ulazne podatke pritišćemo gumb „Render diagram“. Dobiveni podatci lijepo su prikazani na grafu kojeg sama web stranica generira (Slika 15). Vidimo da su putanje satelita periodične te se jasno vide trenutci u kojima se sateliti nalaze na istim udaljenostima od Jupitera. Te ćemo podatke koristiti za određivanje perioda orbita. Također vidimo i maksimalne udaljenosti satelita koje nam označavaju radijuse orbita.

Staze Jupiterovih satelita



Ephemeris: JUP310 + DE430

Generated by the Jupiter Tracker Tool, PDS Rings Node, Tue Mar 20 07:37:05 2018

Slika 15. Graf staza Jupiterovih satelita.

Naravno, graf nam služi za slikovit prikaz te s njega ne možemo precizno očitati podatke koje koristimo u izračunu. Za to koristimo tablicu podataka danu na dnu stranice (Slika 16).

Jupiter Moon Tracker 2.6 Results

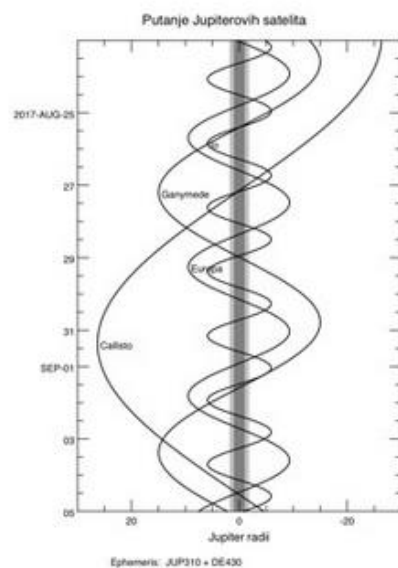
Input Parameters

```
-----  
Start time: August 23, 2017 12:01:02 am  
Stop time: September 5, 2017 12:01:02 am  
Interval: 1 hour  
Ephemeris: JUP310 + DE430  
Plot scale: 30 Jupiter radii  
Plot title: Putanje Jupiterovih satelita
```

```
Moon selection: Io (J1)  
                Europa (J2)  
                Ganymede (J3)  
                Callisto (J4)
```

```
Ring selection: Main Ring
```

Preview:



Click [here](#) to download diagram (PostScript format, 17793 bytes).

Click [here](#) to download diagram (PDF, 11327 bytes).

Click [here](#) to download diagram (JPEG format, 162467 bytes).

Click [here](#) to download table (ASCII format, 20724 bytes).

Slika 16. Dobiveni graf i tablica s podacima

Otvaramo tablicu u ASCII formatu u web pregledniku. Slika 17 prikazuje kako bi to trebalo izgledati.

mjd	year	mo	dy	hr	mi	limb	Io	Europa	Ganymed	Callist
57988.0007	2017	8	23	0	1	16.33	-76.87	9.56	-212.03	-430.51
57988.0424	2017	8	23	1	1	16.33	-84.64	-1.67	-216.33	-430.18
57988.0840	2017	8	23	2	1	16.32	-90.56	-12.88	-220.35	-429.75
57988.1257	2017	8	23	3	1	16.32	-94.52	-24.03	-224.08	-429.21
57988.1674	2017	8	23	4	1	16.32	-96.44	-35.04	-227.50	-428.57
57988.2090	2017	8	23	5	1	16.32	-96.28	-45.86	-230.63	-427.82
57988.2507	2017	8	23	6	1	16.32	-94.03	-56.44	-233.45	-426.98
57988.2924	2017	8	23	7	1	16.32	-89.77	-66.71	-235.96	-426.03
57988.3340	2017	8	23	8	1	16.32	-83.56	-76.61	-238.15	-424.98
57988.3757	2017	8	23	9	1	16.31	-75.57	-86.10	-240.03	-423.83
57988.4174	2017	8	23	10	1	16.31	-65.94	-95.12	-241.60	-422.57
57988.4590	2017	8	23	11	1	16.31	-54.90	-103.62	-242.84	-421.22
57988.5007	2017	8	23	12	1	16.31	-42.68	-111.55	-243.76	-419.76
57988.5424	2017	8	23	13	1	16.31	-29.53	-118.88	-244.36	-418.21
57988.5840	2017	8	23	14	1	16.31	-15.76	-125.55	-244.63	-416.55
57988.6257	2017	8	23	15	1	16.31	-1.64	-131.53	-244.59	-414.80
57988.6674	2017	8	23	16	1	16.31	12.51	-136.79	-244.22	-412.94
57988.7090	2017	8	23	17	1	16.30	26.38	-141.29	-243.52	-410.99
57988.7507	2017	8	23	18	1	16.30	39.68	-145.02	-242.51	-408.94
57988.7924	2017	8	23	19	1	16.30	52.12	-147.95	-241.17	-406.79
57988.8340	2017	8	23	20	1	16.30	63.41	-150.06	-239.52	-404.55
57988.8757	2017	8	23	21	1	16.30	73.32	-151.34	-237.55	-402.21
57988.9174	2017	8	23	22	1	16.30	81.63	-151.78	-235.27	-399.77
57988.9590	2017	8	23	23	1	16.30	88.14	-151.38	-232.68	-397.24
57989.0007	2017	8	24	0	1	16.29	92.71	-150.14	-229.78	-394.62
57989.0424	2017	8	24	1	1	16.29	95.24	-148.07	-226.58	-391.90
57989.0840	2017	8	24	2	1	16.29	95.68	-145.18	-223.09	-389.09
57989.1257	2017	8	24	3	1	16.29	94.00	-141.48	-219.30	-386.19
57989.1674	2017	8	24	4	1	16.29	90.25	-137.00	-215.22	-383.19
57989.2090	2017	8	24	5	1	16.29	84.50	-131.76	-210.85	-380.11
57989.2507	2017	8	24	6	1	16.29	76.89	-125.78	-206.21	-376.94
57989.2924	2017	8	24	7	1	16.29	67.57	-119.11	-201.30	-373.67
57989.3340	2017	8	24	8	1	16.28	56.77	-111.78	-196.13	-370.32
57989.3757	2017	8	24	9	1	16.28	44.71	-103.83	-190.70	-366.88
57989.4174	2017	8	24	10	1	16.28	31.67	-95.31	-185.01	-363.36
57989.4590	2017	8	24	11	1	16.28	17.93	-86.25	-179.09	-359.75

Slika 17. Djelomični prikaz tablice podataka

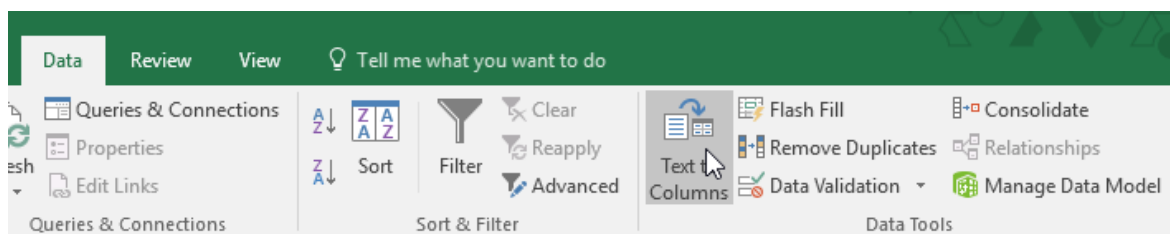
Za odabrani vremenski interval dobiveno je oko 300 redaka podataka. Koristiti ćemo Microsoft Excel da bi ih obradili i pronašli informacije koje nas zanimaju. Stupac „mjd“ prikazuje modificirani Julijanski datum. To je konvencija datiranja koja olakšava kronološke izračune prikazivanjem datuma na uzastopan način. Dalje imamo stupce „year“, „mo“, „dy“, „hr“, „mi“ koji prikazuju datum i vrijeme na konvencionalan način. Stupci „Io“, „Europa“, „Ganymed“, „Callist“ prikazuju udaljenosti satelita od središta Jupitera u nepoznatim jedinicama, a stupac „limb“ prikazuje faktore kojima moramo podijeliti pojedini podatak o udaljenosti satelita da bi dobili udaljenosti u jedinicama Jupiterovog radijusa.

Prva stvar koju ćemo učiniti je kopirati podatke u Excel tablicu. Na web stranici označavamo cijeli tekst te ga kopiramo u Microsoft Excel.

	A	B	C	D	E	F					
1	mjd	year	mo	dy	hr	mi	limb	lo	Europa	Ganymed	Callist
2	57988.0007	2017	8	23	0	1	16.33	-76.87	9.56	-212.03	-430.51
3	57988.0424	2017	8	23	1	1	16.33	-84.64	-1.67	-216.33	-430.18
4	57988.0840	2017	8	23	2	1	16.32	-90.56	-12.88	-220.35	-429.75
5	57988.1257	2017	8	23	3	1	16.32	-94.52	-24.03	-224.08	-429.21
6	57988.1674	2017	8	23	4	1	16.32	-96.44	-35.04	-227.50	-428.57
7	57988.2090	2017	8	23	5	1	16.32	-96.28	-45.86	-230.63	-427.82
8	57988.2507	2017	8	23	6	1	16.32	-94.03	-56.44	-233.45	-426.98
9	57988.2924	2017	8	23	7	1	16.32	-89.77	-66.71	-235.96	-426.03
10	57988.3340	2017	8	23	8	1	16.32	-83.56	-76.61	-238.15	-424.98
11	57988.3757	2017	8	23	9	1	16.31	-75.57	-86.10	-240.03	-423.83
12	57988.4174	2017	8	23	10	1	16.31	-65.94	-95.12	-241.60	-422.57
13	57988.4590	2017	8	23	11	1	16.31	-54.90	-103.62	-242.84	-421.22
14	57988.5007	2017	8	23	12	1	16.31	-42.68	-111.55	-243.76	-419.76
15	57988.5424	2017	8	23	13	1	16.31	-29.53	-118.88	-244.36	-418.21
16	57988.5840	2017	8	23	14	1	16.31	-15.76	-125.55	-244.63	-416.55
17	57988.6257	2017	8	23	15	1	16.31	-1.64	-131.53	-244.59	-414.80
18	57988.6674	2017	8	23	16	1	16.31	12.51	-136.79	-244.22	-412.94
19	57988.7090	2017	8	23	17	1	16.30	26.38	-141.29	-243.52	-410.99
20	57988.7507	2017	8	23	18	1	16.30	39.68	-145.02	-242.51	-408.94
21	57988.7924	2017	8	23	19	1	16.30	52.12	-147.95	-241.17	-406.79
22	57988.8340	2017	8	23	20	1	16.30	63.41	-150.06	-239.52	-404.55
23	57988.8757	2017	8	23	21	1	16.30	73.32	-151.34	-237.55	-402.21
24	57988.9174	2017	8	23	22	1	16.30	81.63	-151.78	-235.27	-399.77
25	57988.9590	2017	8	23	23	1	16.30	88.14	-151.38	-232.68	-397.24

Slika 18. Neformatirana tablica

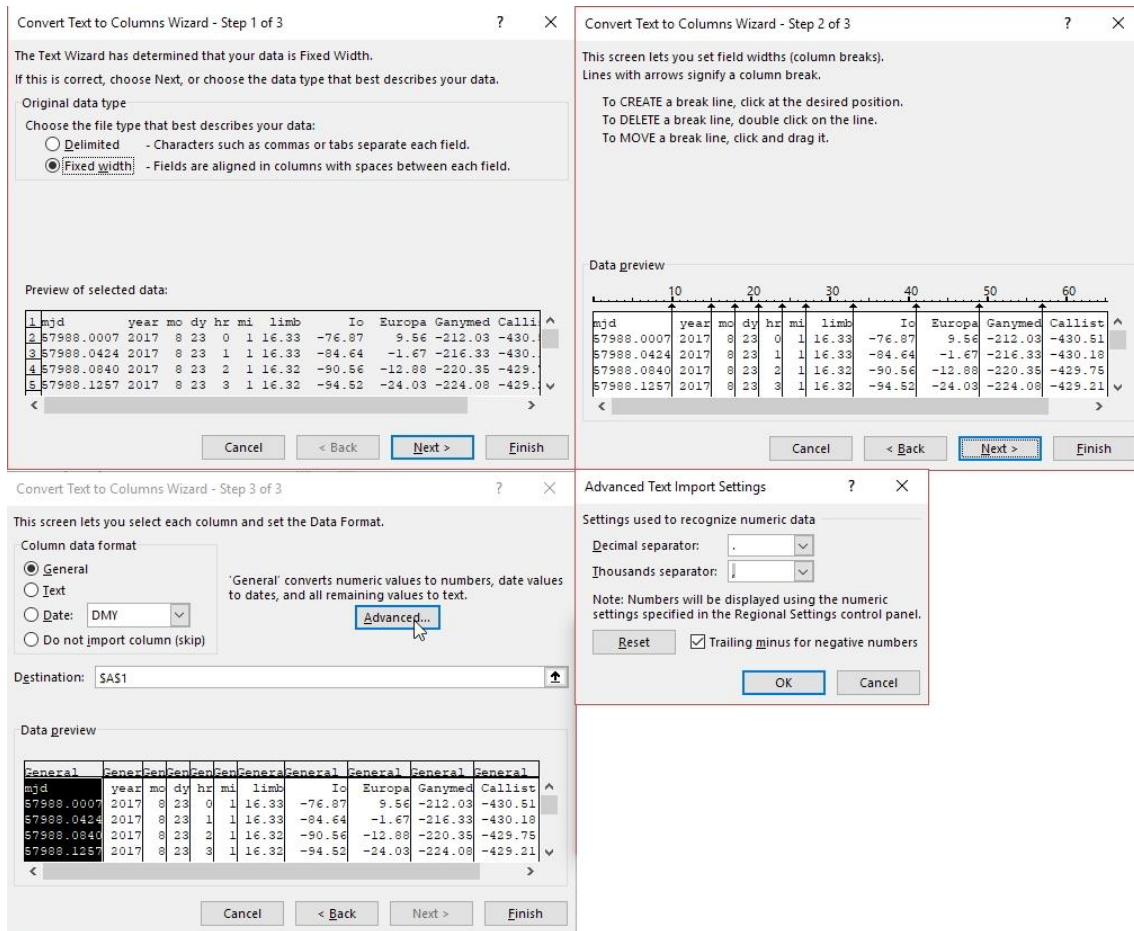
Samim kopiranjem podataka postavili smo ih sve u jedan stupac. Da bi ispravno formatirali podatke koristimo opciju „Text to Columns“ pod „Data“ na alatnoj traci, kako je prikazano na Slici 19.



Slika 19. Text to Columns opcija za formatiranje podataka

Označavamo stupac sa svim podacima te biramo opciju „Text to Columns“. Pojavljuje se meni za podešavanje parametara podataka. Što sve treba unijeti na svakom koraku opisano

je na Slici 20. Posebno treba paziti zbog načina na koji su podatci napisani da se decimalni dio brojeva odvaja točkom, a ne zarezom.



Slika 20. Opcije za ispravno formatiranje podataka

Nakon podešavanja svaki stupac podataka bi trebao biti unesen u pojedini stupac u Excel tablici.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	mjd	year	mo	dy	hr	mi	limb	Io	Europa	Ganymed	Callist
2	57988,0007	2017	8	23	0	1	16,33	-76,87	9,56	-212,03	-430,51
3	57988,0424	2017	8	23	1	1	16,33	-84,64	-1,67	-216,33	-430,18
4	57988,084	2017	8	23	2	1	16,32	-90,56	-12,88	-220,35	-429,75
5	57988,1257	2017	8	23	3	1	16,32	-94,52	-24,03	-224,08	-429,21
6	57988,1674	2017	8	23	4	1	16,32	-96,44	-35,04	-227,5	-428,57
7	57988,209	2017	8	23	5	1	16,32	-96,28	-45,86	-230,63	-427,82
8	57988,2507	2017	8	23	6	1	16,32	-94,03	-56,44	-233,45	-426,98
9	57988,2924	2017	8	23	7	1	16,32	-89,77	-66,71	-235,96	-426,03
10	57988,334	2017	8	23	8	1	16,32	-83,56	-76,61	-238,15	-424,98
11	57988,3757	2017	8	23	9	1	16,31	-75,57	-86,1	-240,03	-423,83
12	57988,4174	2017	8	23	10	1	16,31	-65,94	-95,12	-241,6	-422,57
13	57988,459	2017	8	23	11	1	16,31	-54,9	-103,62	-242,84	-421,22
14	57988,5007	2017	8	23	12	1	16,31	-42,68	-111,55	-243,76	-419,76
15	57988,5424	2017	8	23	13	1	16,31	-29,53	-118,88	-244,36	-418,21
16	57988,584	2017	8	23	14	1	16,31	-15,76	-125,55	-244,63	-416,55
17	57988,6257	2017	8	23	15	1	16,31	-1,64	-131,53	-244,59	-414,8
18	57988,6674	2017	8	23	16	1	16,31	12,51	-136,79	-244,22	-412,94
19	57988,709	2017	8	23	17	1	16,3	26,38	-141,29	-243,52	-410,99
20	57988,7507	2017	8	23	18	1	16,3	39,68	-145,02	-242,51	-408,94
21	57988,7924	2017	8	23	19	1	16,3	52,12	-147,95	-241,17	-406,79
22	57988,834	2017	8	23	20	1	16,3	63,41	-150,06	-239,52	-404,55
23	57988,8757	2017	8	23	21	1	16,3	73,32	-151,34	-237,55	-402,21
24	57988,9174	2017	8	23	22	1	16,3	81,63	-151,78	-235,27	-399,77

Slika 21. Ispravno formatirana tablica s podacima

Sljedeći korak je dobiti podatke o udaljenosti pojedinog satelita u ispravnim jedinicama. To činimo tako da podijelimo svaki podatak o udaljenosti odgovarajućim faktorom iz stupca „limb“. Odrediti ćemo 4 prazna stupca i u prvo polje upisati ime satelita te naznačiti da se radi o jedinicama Jupiterovog radijusa sa skraćenicom *JR* kao na Slici 22.

M	N	O	P
Io/JR	Europa/JR	Ganymede/JR	Callisto/JR

Slika 22. Određujemo 4 nova stupca

U prvo sljedeće prazno polje upisujemo $=\text{"Io"/"limb"}$
 „Io“ označava polje u kojem se nalazi prvi podatak o udaljenosti satelita Io, a „limb“ polje u kojem se nalazi faktor u istom retku kao i podatak o udaljenosti. U našem slučaju vidimo da su to polja H2 i G2 kako je prikazano na Slici 23.

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	mo	dy	hr	mi	limb	Io	Europa	Ganymed	Callist		Io/JR
2	8	23	0	1	16,33	-76,87	9,56	-212,03	-430,51		=H2/G2

Slika 23. Preračunavanje udaljenosti satelita u jedinice Jupiterovog radijusa

Nakon što smo izračunali podatak za prvo polje da bi dobili podatak za sva ostala polja moramo kliknuti na kvadratić u donjem desnom kutu prvog polja te mišem povući do polja u stupcu u kojem se nalazi zadnji podatak. Proces se ponavlja za svaki satelit. Sada imamo sve podatke potrebne za određivanje radijusa orbite pojedinog satelita. Vidjeli smo u prethodnom dijelu da je radijus orbite jednak maksimalnoj udaljenosti satelita od središta Jupitera. Iz dobivenih podataka maksimalna vrijednost udaljenosti za pojedini satelit lako se u Excelu dobiva funkcijom MAX. Označiti ćemo prazno polje i upisati „Radijus Io/JR“. Ispod njega upisujemo

=MAX(Io/JR : Io/JR)

gdje „Io/JR“ označava stupac u kojem se nalaze podatci o udaljenosti satelita Io u jedinicama Jupiterovog radijusa. U našem slučaju to je stupac označen slovom M pa u polje upisujemo

=MAX(M:M)

Dobiveni podatak je maksimalni iznos udaljenosti sa desne strane Jupitera. Satelit nalazimo na obje strane Jupitera pa računamo i maksimalnu udaljenost s lijeve strane. Te udaljenosti imaju negativan predznak pa koristimo funkciju MIN da bi pronašli najmanju vrijednost. Dobivena dva podatka usrednjavamo pazeći da prvo uzmemo apsolutnu vrijednost od podataka s negativnim predznakom. Podatci za sva 4 satelita prikazani su na Slici 24.

R	S	T	U
Radijus Io/JR	Radijus Europa/JR	Radijus Ganymede/JR	Radijus Callisto/JR
5,88	9,46	14,94	26,28
-5,92	-9,31	-15,00	-26,36
R srednje IO/JR	R srednje Europa/JR	R srednje Ganymede/JR	R srednje Callisto/JR
5,90	9,39	14,97	26,32

Slika 24. Srednja vrijednost radijusa pojedinih satelita

Prije samog izračuna mase Jupitera moramo pronaći periode orbita za pojedini satelit. Iz grafa na slici 15 vidimo da je udaljenost satelita u vremenu periodična funkcija, prema tome tražimo period te funkcije. Iz podataka za svaki satelit biramo dva trenutka u kojima su se našli na maksimalnim udaljenostima od Jupitera i tražimo vremenski interval koji je prošao između ta dva trenutka. Možemo to učiniti na prste te iz podataka prebrojati koliko je dana i sati prošlo između ta dva trenutka no možemo koristiti i stupac s modificiranim julijanskim kalendarom „mjd“. Oduzimanjem početnog od krajnjeg datuma dobivamo koliko je dana prošlo između. Tablica 2 prikazuje periode svih satelita.

Period Io/dan	Period Europa/dan	Period Ganymede/dan	Period Callisto/dan
1,79	3,54	7,21	16,83

Tablica 2. Periodi orbita satelita

Sada imamo sve podatke potrebne za izračun mase Jupitera no moramo ih prvo pretvoriti u ispravne jedinice. Želimo dobiti masu Jupitera u jedinicama solarne mase. Za to nam treba udaljenost u astronomskoj jedinici te period u godinama. Na internetu se lako pronađu odnosi među tim jedinicama. Podatci koje dobivamo nakon preračuna prikazani su u tablici 3.

Satelit	R_{sr}/AJ	T/god
Io	0,002757088	0,004905134
Europa	0,004386324	0,009696373
Ganymede	0,00699663	0,019735525
Callisto	0,012300763	0,046087341

Tablica 3. Podatci za pojedini satelit

Sada imamo sve podatke potrebne za izračun mase Jupitera.

5.2.5 Računanje mase Jupitera

Za izračun koristimo formulu 5.1. Dobivamo vrijednost mase Jupitera iz podataka svakog satelita.

Od satelita Io: $0,000871064 M_{\odot}$

Od satelita Europa: $0,000897601 M_{\odot}$

Od satelita Ganymede: $0,000879365 M_{\odot}$

Od satelita Callisto: $0,00087626 M_{\odot}$

Srednja vrijednost mase Jupitera: $0,000881073 M_{\odot}$

M_{\odot} je znaka za jedinicu solarne mase. Dobivene vrijednosti približne su pravoj masi Jupitera od $0,0009547919 M_{\odot}$.

6 Zaključak

Terenska nastava bitno pomaže učenju fizike. Učenici koji posjećuju mjesta gdje se odvija znanost u pravom svijetu upoznaju se s načinom na koji znanost funkcionira, upoznaju se sa znanstvenom metodom, rukuju pravim znanstvenim instrumentima i dobivaju direktan uvid u istraživanja važnih pitanja suvremene znanosti. To ih ostavlja oduševljenima i motiviranima za daljnje učenje i razvijanje prirodnoznanstvene pismenosti. Terenska nastava osim znatno veće učinkovitosti u smjeru stjecanja praktičnih i trajnih znanja ima važnu motivacijsku ulogu. U suvremenom obrazovanju, motiviranje i inspiriranje učenika je ključno za kompletan obrazovni proces, ali i za jednako važno usmjeravanje što više učenika u smjeru zanimanja 21. stoljeća baziranih na STEAM (prirodne znanosti, tehnologija, inženjerstvo, umjetnost i matematika) vještinama i znanjima.

Ovim radom Zagrebačka zvjezdarnica je detektirana kao izvrsno mjesto za izvedbu terenske nastave fizike. Dan je prikaz primjera u kome učenici istraživački orijentiranom nastavom izvode istraživanje Jupitera pomoću automatiziranog optičkog teleskopa. Korištenjem instrumenata kao što su teleskop, fotoaparati i računalo susreću se s dalekim nebeskim tijelima, opisuju njihova gibanja te stječu realno iskustvo u prikupljanju i obrađivanju podataka da bi saznali njihova temeljna svojstva.

7 Literatura

1. Braund, M.; Reiss, M. (2006). Towards a More Authentic Science Curriculum: The contribution of out-of-school learning // International Journal of Science Education Vol. 28, 12, 1373-1388.
2. Roša, D. (2011). Elementarna astronomija. 1. izdanje Zagreb : Alfa d.d.
3. Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand- student survey of mechanics test data for introductory physics courses. Am. J. Phys. 66, 64 – 74.
4. Hazelkorn E., ed. (2015). Report to the European Commission of the Expert Group on Science Education. Science Education for Responsibel Citizenship. European Union, Directorate-General for Research and Innovation.
5. Sears & Zemansky (2008). University Physics: with modern physics, - 12th ed., Hugh D. Young, Roger A. Freedman, Pearson Education, Inc.
6. URL1: Web stranica zvjezdarnice u Zagrebu, <https://zvjezdarnica.hr/> , 25.4.2018.
7. URL2: Web stranica programa za simulaciju revolucije Jupiterovih satelita, <http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/cleahome.html>, 25.4.2018.
8. URL3: Web stranica sustava za praćenje Jupiterovih satelita,
9. https://pds-rings.seti.org/tools/tracker2_jup.html, 25.4.2018.
10. URL4: <http://astro.unl.edu/classaction/animations/renaissance/ellipsoiddemo.html>, 4.5.2018.
11. URL5: <http://www.nakedeyepanets.com/jupiter.htm>, 4.5.2018.
12. URL6: https://pds-rings.seti.org/tools/tracker2_jup_help.html, 4.5.2018.