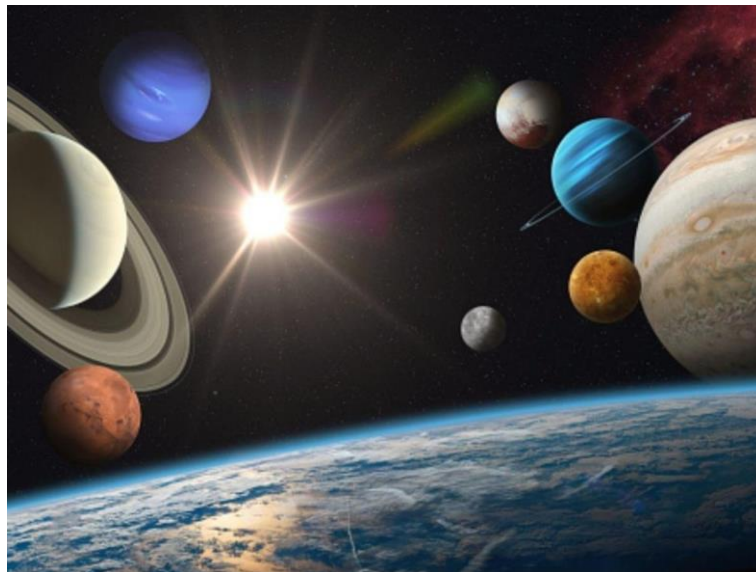


OŠ Brinje Grosuplje
Ljubljanska cesta 40a, Grosuplje

Gibanje planetov v našem Osončju in medsebojni vpliv nebesnih teles

Raziskovalna naloga

Področje: astronomija



Avtorja: Svit Verhovšek in Svit Selan

9. razred

Mentor: Matej Kastelic

Grosuplje, februar 2024

Vsebina

1. POVZETEK	6
2. UVOD	7
3. NAŠE OSONČJE	8
3.1 Sonce	8
3.2 Planeti	9
3.2.1 Merkur.....	9
3.2.2 Venera	10
3.2.3 Zemlja.....	12
3.2.4 Mars	13
3.2.5 Jupiter.....	14
3.2.6 Saturn	14
3.2.7 Uran.....	15
3.2.8 Neptun	16
3.3 Pritlikavi planeti.....	16
3.4 Kometi	17
3.5 Asteroidi.....	17
3.6 Meteoroidi	17
4. ZGODOVINA ODKRIVANJA NAŠEGA OSONČJA	18
4.1 Aristotel	18
4.2 Aristarh.....	18
4.3 Ptolemaj	18
4.4 Nikolaj Kopernik	19
4.5 Galileo Galilei	20
4.6 Johannes Kepler	21
4.6.1 Keplerjevi zakoni	21
4.7 Isaac Newton.....	22
4.7.1 Newtonovi zakoni.....	23
5. PROGRAMSKA KNJIŽNICA ASTRONOMY	25
5.1 Model NOVAS C 3.1.....	26
5.2 Model VSOP97	26
5.3 NASA JPL Horizons.....	27
5.4 Testiranje knjižnice.....	27
5.4.1 Ideja testiranja	27
5.4.2 Razvoj spletnega programa.....	27

5.4.3 Rezultat spletnega programa	28
6. PRVA HIPOTEZA: PLANETI SE GIBLJEJO V GEOCENTRIČNEM SISTEMU PO PTOLEMEJU	29
6.1 Ideja potrditve.....	29
6.2 Razvoj spletnega programa.....	29
6.3 Rezultat spletnega programa	30
7. DRUGA HIPOTEZA: PLANETI SE GIBLJEJO V HELIOCENTRIČNEM SISTEMU PO KOPERNIKU	32
7.1 Ideja potrditve.....	32
7.2 Razvoj programa	32
7.3 Rezultat programa.....	33
8. TRETJA HIPOTEZA: PLANETI SE GIBLJEJO V HELIOCENTRIČNEM SISTEMU PO KEPLERJU.....	34
8.1 Prva ideja potrditve.....	34
8.1.1 Razvoj programa	34
8.1.2 Rezultat programa	35
8.2 Druga ideja potrditve	35
8.2.1 Razvoj programa	36
8.2.3 Napaka	36
8.2.4 Rezultat programa	37
9. ČETRTA HIPOTEZA: VSAKO NEBESNO TELO VPLIVA NA ZEMLJINO TIRNICO.....	38
9.1 Ideja potrditve.....	38
9.2 Razvoj programa	39
9.3 Rezultat programa.....	39
10 TRIDIMENZIONALNI PRIKAZ OSONČJA	40
10.1 Ideja.....	40
10.2 VR očala.....	40
10.3 Unreal Engine 4	41
10.4 Razvoj VR aplikacije.....	41
10.4.1 Vtičnik za knjižnico Astronomy	41
10.4.2 Vesolje.....	42
10.4.3 Izračunavanja	43
11 ZAKLJUČEK.....	45
PRILOGA A: VIRI.....	46
PRILOGA B: PODATKI O PLANETIH NAŠEGA OSONČJA	48
PRILOGA C: JAVASCRIPT APLIKACIJA ZA PRIKAZ ANIMACIJE OSONČJA V HELIOCENTRIČNIH KOORDINATAH ZA TEST KNJIŽNICE.....	49
PRILOGA D: JAVASCRIPT APLIKACIJA ZA PRIKAZ ANIMACIJE OSONČJA V GEOCENTRIČNIH KOORDINATAH ZA POTRDIŠTEV PRVE HIPOTEZE	51

PRILOGA E: PYTHON APLIKACIJA ZA IZRAČUN KOORDINAT ZEMLJE OKOLI SONCA ZA POTRDITEV DRUGE HIPOTEZE.....	54
PRILOGA F: REZULTATI PYTHON APLIKACIJE ZA IZRAČUN KOORDINAT ZEMLJE OKOLI SONCA ZA POTRDITEV DRUGE HIPOTEZE	55
PRILOGA G: PYTHON APLIKACIJA ZA IZRAČUN KOORDINAT ZEMLJE OKOLI SONCA ZA POTRDITEV TRETJE HIPOTEZE (PRVA IDEJA).....	56
PRILOGA H: REZULTATI PYTHON APLIKACIJE ZA IZRAČUN KOORDINAT ZEMLJE OKOLI SONCA ZA POTRDITEV TRETJE HIPOTEZE (PRVA IDEJA).....	57
PRILOGA I: PYTHON APLIKACIJA ZA IZRIS GIBANJA ZEMLJE OKOLI SONCA ZA POTRDITEV TRETJE HIPOTEZE (DRUGA IDEJA)	58
PRILOGA J: PYTHON APLIKACIJA ZA IZRAČUN SIL MED ZEMLJO IN DRUGIMI NEBESNIMI TELESII ZA POTRDITEV ČETRTE HIPOTEZE.....	59
PRILOGA K: REZULTATI PYTHON APLIKACIJE ZA IZRAČUN SIL MED ZEMLJO IN DRUGIMI NEBESNIMI TELESII ZA POTRDITEV ČETRTE HIPOTEZE.....	60

Kazalo slik

Slika 1: Naše Osončje.....	8
Slika 2: Ptolemajev geocentrični model Osončja	19
Slika 3: Kopernikov heliocentrični model Osončja	20
Slika 4: Gibanje planetov po Keplerju	22
Slika 5: Prikaz testnega spletnega programa.....	28
Slika 6: Transformacija koordinatnega sistema.....	30
Slika 7: Gibanje teles v heliocentričnem modelu, kjer je Zemlja v središču.....	31
Slika 8: Krožnica.....	32
Slika 10: Kroženje Zemlje v Python aplikaciji.....	35
Slika 9: Gibanje po elipsi.....	35
Slika 11: Naklon krožnic notranjih planetov - slika ne izraža pravih naklonov in je namenjena razlagi.....	38
Slika 12: Postavitev planetov za najin izračun sil na planet Zemlja.....	38
Slika 13: Meta Quest 2 VR očala.....	40
Slika 14: Najina grafična komponenta Astro Calc za izračun koordinate nebesnega telesa	42
Slika 15: Modeliranje nebesnih teles	42
Slika 16: Globalne spremenljivke	43
Slika 17: Ob zagonu	43
Slika 18: Izračunavanje novih koordinat nebesnega telesa.....	43
Slika 19: Povečanje časa	44

KLJUČNE BESEDE

Osončje, gibanje planetov, nebesna telesa, heliocentrični sistem, geocentrični sistem, VR očala, Java Script, Python, C, Unreal Engine 4.

1. POVZETEK

V raziskovalni nalogi sva s pomočjo računalniških simulacij v programskem jeziku Python in JavaScript poskušala potrditi ali ovreči različne teorije o gibanju planetov v našem Osončju, ki so se pojavljale skozi zgodovino (Ptolemajeva teorija, Kopernikova teorija in Keplerjevi zakoni).

Teorije so se precej spreminjale, pri čemer so znanstveniki najprej trdili, da Zemlja predstavlja središče vesolja in vsa nebesna telesa krožijo okoli nje. Ljudje smo potrebovali 14 stoletij, da smo v središče postavili Sonce.

Izdelala sva 2D računalniški prikaz gibanja planetov okoli Sonca. Poskušala sva narediti tudi 3D simulacijo na VR očalih, kjer pa so nastopile težave zaradi razmerij med razdaljami, velikosti nebesnih teles ter slabe ločljivosti zaslonov VR očal.

Pri programiranju sva uporabila računalniško knjižnico Astronomy, ki je zasnovana tako, da zna hitro in do ene kotne minute natančno določiti pozicije najpomembnejših nebesnih teles našega Osončja. Temelji na dobro preizkušenih modelih VSOP87 in NOVAS C 3.1 ter podpira programske jezike Python, JavaScript in C. Knjižnica je dobro testirana na vojaškem sistemu NOVAS, na Nasinem sistemu JPL Horizons in na drugih zanesljivih tablicah pozicij nebesnih teles.

2. UVOD

Ko je človek še živel v prazgodovini, je planet Zemljo videl kot središče vsega znanega, planete, zvezde in druga nebesna telesa pa je videl kot duhove in kasneje kot bogove. Zemljo si je predstavljal kot raven svet.

V starem veku so pri opazovanju narave (npr. jader ladij v daljavi, senc na Luni ...) ugotovili, da je Zemlja okrogla kot Luna in Sonce. Prav tako so ugotovili, da so takrat znani planeti krožili okoli Sonca. Toda še vedno so verjeli, da je Zemlja v središču vesolja. To je takratnim znanstvenikom otežilo določanje in izračunavanje tirnic nebesnih teles. Toda vsak poskus zamenjave modela našega Osončja je bil zatrt s strani Cerkve in mnogo znanstvenikov je bilo zaradi tega usmrčenih.

V novem veku pa so štirje znanstveniki Nikolaj Kopernik, Galileo Galilei, Johannes Kepler in Isaac Newton dokazali, da je Sonce v središču našega Osončja, da se planeti gibljejo po elipsah, kjer je Sonce v enem od gorišč elipse, in da je gravitacijska sila tista, ki povzroča kroženje planetov in drugih nebesnih teles okoli Sonca.

V raziskovalni nalogi bova poskušala raziskati naše Osončje, zgodovino odkrivanja njenega modela ter ugotoviti, ali hipoteze naših znanstvenikov od starega veka naprej držijo.

Te hipoteze so:

- Ptolemajeva hipoteza, da je Zemlja v središču Osončja oz. vesolja,
- Kopernikova hipoteza, da planeti krožijo okoli Sonca po krožnici,
- Keplerjeva hipoteza, da planeti krožijo okoli Sonca po elipsi in hitrost planetov ni konstantna.

Hipoteze bova potrdila ali ovrgla s pomočjo računalniških simulacij, ki jih bova sama razvila. Pri tem bova poskušala uporabiti znanje matematike devetega razreda, v skrajnih primerih pa bova uporabila enačbe iz literature ali drugih virov.

Prav tako bova poskušala ugotoviti, kako velika nebesna telesa v našem Osončju vplivajo na Zemljo in na njeno gibanje okoli Sonca. Predvidevava, da vse gravitacijske sile med Zemljo in drugimi planeti vplivajo na Zemljino tirnico, saj sva v knjigi *Astrofizika za vse, ki se jim mudi*[29] našla zapis, da planeti okoli Sonca dejansko krožijo po elipsah, pa še te so zgolj približek bolj zapletene tirnice.

3. NAŠE OSONČJE

Na začetku raziskovalne naloge sva hotela dobro spoznati naše Osončje in ugotoviti, kako je sestavljeno.

Naše Osončje[1] je sestav astronomskih (nebesnih) teles, ki ga sestavljajo zvezda Sonce in množica drugih nebesnih teles, ki krožijo okrog nje. Med temi telesi je osem planetov, izmed katerih je le planet Zemlja naseljen. Poleg planetov sestavlja naše Osončje še vsaj 158 naravnih satelitov, ki krožijo okrog teh planetov, ter večje število preostalih majhnih teles, kot so pritlikavi planeti, asteroidi, kometi in meteoroidi.

Naše Osončje leži v spiralni galaksiji, imenovani Rimska cesta. Obhodni čas našega Osončja okoli galaksije je eno galaktično leto oz. 225 do 250 milijonov zemeljskih let.



Slika 1: Naše Osončje

3.1 Sonce

Sonce[2] je edina zvezda našega Osončja, ki je v njegovem središču in je plinasta krogla, ki sveti zato, ker se v njej vodikova in druga lahka atomska jedra zlivajo v težja jedra. Temu procesu rečemo tudi fuzija[3].

Sonce je 1,3 milijon-krat večje od Zemlje. V Soncu je zbrane 99,8 % vse mase Osončja. Preostanek mase se večinoma nahaja v Jupitru, le majhen del si je delijo ostala nebesna telesa Osončja. Ta podatek je za najino raziskovalno nalogo zelo pomemben, ker bi lahko razložil zanemarljiv vpliv drugih teles na gibanje Zemlje okoli Sonca.

Sedanje Sonce je sestavljeno iz 70 % vodika, 28 % helija in preostalih kemijskih elementov. Sonce počasi pretvarja vodik v helij. Pri tem se sproščajo različna valovanja, ki jih kot toploto, svetlobo in različna žarčenja zaznamo na Zemlji. Sonce se vrti okrog svoje osi. A ker je velika plinasta krogla, se njegovi deli vrtijo različno hitro. V sredini ima jedro, katerega premer meri 25 % njegovega celotnega premera. Jedro se enakomerno vrti in se obnaša kot čvrsto telo.

Fotosfera je Sončeva površina, ki jo vidimo. Temperatura fotosfere je 5800 K. Včasih na površju opazimo temnejše Sončeve pege, ki imajo temperaturo 3800 K. Sončeve pege nastajajo zaradi vpliva Sončevega magnetnega polja. Nad fotosfero se razprostira še tanka kromosfera. Nad njo je še skrajno razredčena korona. Ta se razprostira milijone kilometrov daleč v vesolje. Lepo je vidna ob Sončnem mrku kot bleščeč obroč.

Sončevo magnetno polje je izredno močno in sega daleč do Plutona in še dlje. Domnevajo, da na robu tega polja leži Oortov oblak ledenih nebesnih teles, ki so skrajni rob našega Osončja. Poleg toplote in svetlobe Sonce oddaja tudi slab tok naelektrenih delcev. To so v glavnem elektroni in protoni. Imenujemo jih Sončev veter. Sonce jih seva enakomerno s hitrostjo 450 km/s. Le ob večjih izbruhih, ki so vidni kot velikanske ognjene bakle ali protuberance, se jakost Sončevega vetra poveča. Sončne pege in protuberance se pojavljajo v dokaj enakomernem 11-letnem ciklusu.

Sonce je staro 4,5 milijarde let, prav toliko kot naše Osončje. Od nastanka je porabilo okrog 50 % vodika. Tako predvidevajo, da bo sijalo enako kot doslej še naslednjih 5 milijard let. Ob koncu svoje dobe se bo razširilo za polovico sedanjega obsega. Ko bo porabilo ves svoj vodik, se bo radikalno spremenilo in vase pogoltnilo vse svoje planete.

3.2 Planeti

V našem Osončju kroži osem planetov: Merkur, Venera, Zemlja, Mars, Jupiter, Saturn, Uran in Neptun.

Tabela[16] v prilogi B prikazuje podatke o planetih našega Osončja. Za najino raziskovalno nalogo so pomembni naslednji podatki, ki jih potrebujeva za izračune po enačbi Newtonovega gravitacijskega zakona:

- razdalja med planeti in Soncem,
- masa Sonca in
- masa planetov.

3.2.1 Merkur

Merkur[4] je najmanjši in Soncu najbližji planet v Osončju. Sonce obkroži v 88 dneh. Svetlost njegovega navideznega sija se giblje med $-2,0$ in $5,5$, vendar se ga le stežka opazi, saj znaša njegova največja kotna oddaljenost od Sonca le $28,3^\circ$. Vidi se ga lahko v jutranjem ali večernem mraku.

Merkur po videzu spominja na Luno, saj je močno prepreden z udarnimi kraterji. Naravnih satelitov ali gostejše atmosfere nima. Ima veliko železno jedro, ki ustvarja magnetno polje z

močjo približno 0,1 % Zemljinega. Površinske temperature na planetu znašajo med 90 in 700 K (−180 °C do 430 °C).

Merkur je eden od štirih zemeljskih planetov, kar pomeni, da je tako kot Zemlja kamninsko telo. S premerom 4879 km na ekvatorju je najmanjši med njimi. Sestoji iz približno 70 % kovinske in 30 % silikatne snovi. Z gostoto $5,43 \text{ g/cm}^3$ je na drugem mestu v Osončju, takoj za Zemljo.

Površje Merkurja je po videzu zelo podobno površju Lune, saj so na njem obširne morjem podobne ravnine in številni kraterji, kar kaže, da je planet že več milijard let geološko neaktiven. Merkur je premajhen, da bi s svojo šibko gravitacijo dlje časa zadržal znatnejšo atmosfero. Vendarle pa ima redko atmosfero, ki vsebuje vodik, helij, kisik, natrij, kalcij in kalij. Ta ni stabilna – atomi se neprestano izgubljajo v vesolje in iz različnih virov nadomeščajo. Atomi vodika in helija verjetno izvirajo iz Sončevega vetra, difundirajo v magnetosfero in nato spet ubežijo v vesolje. Dodaten vir helija, pa tudi vir natrija in kalija, je radioaktivno razpadanje elementov v skorji. Verjetno je del atmosfere tudi vodna para, ki jo prinašajo kometi.

Čeprav se Merkur vrti počasi, ima razmeroma močno magnetno polje z močjo približno 0,1 % Zemljinega. Tako kot pri Zemlji bi ga lahko ustvarjala krožeča tekoča snov v jedru. Vendar pa znanstveniki niso prepričani, da je Merkurjevo jedro še vedno v tekočem stanju.

Merkurjevo magnetno polje je dovolj močno, da preusmerja Sončev veter okrog planeta in s tem ustvarja magnetosfero, v katero Sončev veter ne prodre. Nasprotno Luna nima atmosfere, saj ima prešibko magnetno polje, da bi preprečilo prodor Sončevega vetra do njene površine.

Merkur ima med vsemi pravimi planeti najbolj izsreden tir, saj je od Sonca oddaljen med 46 in 70 milijoni kilometrov, v povprečju pa je Merkur oddaljen 57 milijonov km ali 0,38 astronomske enote. Tir zaključí v 88 dneh.

Merkurjev tir je na Zemljin tir (ekliptiko) nagnjen za 7° . Zaradi tega pride do prehodov Merkurja preko Sončeve ploskve le takrat, ko Merkur prečka ravnino ekliptike ravno ob času, ko leži med Zemljo in Soncem. To se v povprečju zgodi vsakih sedem let.

3.2.2 Venera

Venera[5] je notranji, drugi planet od Sonca v Osončju. Po Zemljini Luni je drugi najsvetlejši objekt na nočnem nebu, navidezni sij doseže $-4,6$. Ker je Venera notranji planet, se iz gledišča Zemlje nikoli ne oddalji preveč od Sonca, elongacija doseže največ $47,8^\circ$. Venera doseže svojo največjo svetlost malo pred sončnim vzhodom ali malo po sončnem zahodu, zato je včasih imenovana (zvezda) Danica ali Večernica. Kadar je vidna, je najsvetlejša točka na nebu in jo nepoznavalci zamenjujejo z zvezdo.

Je zemeljski planet, po velikosti in obsegu zelo podoben Zemlji. Zaradi teh podobnosti ga včasih imenujejo Zemljin sestrski planet. Je edini planet v osončju, ki se vrti v vzvratno smer.

Znanstveniki domnevajo, da je tako zaradi trka z asteroidom v času nastajanja. Planet je pokrit z neprozorno plastjo bleščečih oblakov, zato njegovo površje iz vesolja ni vidno v vidni svetlobi.

Venera ima od vseh zemeljskih planetov najgostejšo atmosfero, ki je sestavljena večinoma iz ogljikovega dioksida, zračni tlak na površini pa je 90-krat večji kot na Zemlji. Na površju je moč najti dokaze obsežnega ognjeniškega delovanja, nekateri ognjeniki pa so mogoče aktivni še danes. V nasprotju s stalnim gibanjem skorje na Zemlji pa Venera najverjetneje doživlja občasna obdobja premikanja plošč, kjer se skorja hitro podriva v nekaj milijonih let, ločena s stabilnimi obdobji, trajajočimi več sto milijonov let.

Venera je eden od štirih zemeljskih planetov, kar pomeni, da je, podobno kot Zemlja, skalnato telo. Njena masa in velikost sta zelo podobna Zemljini, zato se pogosto opisuje kot njena dvojčica. Premer Venere je le 650 km manjši od Zemljinega, masa pa je 80 % Zemljine. Vendar pa so razmere na Venerinem površju popolnoma drugačne kot na Zemljinem zaradi goste atmosfere iz ogljikovega dioksida.

Na Veneri je skoraj tisoč udarnih kraterjev, ki so bolj ali manj enakomerno razporejeni po njeni površini. Na drugih krateriziranih telesih, kot sta Zemlja in Luna, kraterji prikazujejo stanje erozije, s tem pa neprekinjen proces degradacije. Na Luni se degradacija odvija z nadaljnjimi udarci, na Zemlji pa z erozijo vetra in vode. Na Veneri pa je približno 85 % kraterjev v prvotni obliki. Venerini kraterji merijo med 3 in 280 km v premeru. Kraterjev, manjših od 3 km, na Veneri ni zaradi učinka goste atmosfere na vstopajoče objekte. Objekti s premajhno kinetično energijo so v atmosferi tako upočasnjeni, da ne ustvarijo udarnega kraterja.

Zaradi velike količine ogljikovega dioksida v atmosferi je na Veneri velik učinek tople grede, ki dvigne temperaturo preko 400 °C. Zato je Venerino površje bolj vroče od površine Merkurja, čeprav je Venera skoraj dvakrat bolj oddaljena od Sonca in prejme samo 25 % sončnega obsevanja.

Venera pa ima zelo šibko globalno magnetno polje moči približno 0,1 % Zemljinega, kar je premalo za odbijanje Sončevega vetra. Šibkost magnetnega polja je posledica zelo počasnega vrtenja Venere okrog svoje osi, ki ni dovolj velika, da bi ustvarila učinek dinamama.

Venera obkroža Sonce na povprečni oddaljenosti približno 106 milijonov kilometrov, tirnico pa zaključi na 224,7 dneva. Čeprav so vse planetne tirnice eliptične, je Venerina še najbolj podobna krožnici, saj ima izsrednost manjšo od enega odstotka. Ko se Venera nahaja med Zemljo in Soncem v položaju, imenovanem notranja konjunkcija, je takrat najbližje Zemlji od vseh planetov, saj oddaljenost znaša približno 40 milijonov km. Venera pride v notranjo konjunkcijo vsakih 584 dni.

Venera se okrog svoje osi zavrti vsakih 243 zemeljskih dni, kar je najpočasnejša vrtilna doba od vseh planetov. Če gledamo iznad Sončevega severnega tečaja, se vsi planeti gibljejo v nasprotni smeri urinega kazalca. Poleg tega se vsi planeti okrog svoje osi vrtijo v enaki smeri, razen Venere, ki se giblje v vzvratni smeri.

3.2.3 Zemlja

Zemlja[6] je eden izmed planetov Osončja ter planet, na katerem se nahajata življenje, tekoča voda in človeštvo. Po oddaljenosti od Sonca je tretji, po velikosti pa peti planet Sončevega sistema. Predstavlja največji trdni planet in edini prostor v vesolju, na katerem je znan obstoj življenja. Zemlja se je oblikovala pred približno 4,57 milijarde let, njen edini naravni satelit Luna pa pred približno 4,53 milijarde let. Od svojega nastanka je Zemlja prešla množico geoloških in bioloških razvojnih faz, zaradi česar so se sledi njene prvotne podobe večinoma izbrisale.

Zemljina notranjost je sestavljena iz več razmeroma aktivnih plasti, med katerimi se nahaja verjetno trdno železovo jedro, ki ustvarja Zemljino magnetno polje, ter tekoči plašč, v zgornjih plasteh pa trda skorja. Nad tem se nahajata površina Zemlje in atmosfera, ki sta danes močno preoblikovani zaradi bioloških in človeških dejavnikov. Približno 70 odstotkov zemeljske površine pokrivajo oceani s slano vodo, preostanek pa zapolnjujejo celine ter otoki.

Pri določanju starosti planeta Zemlja in tudi njegovega naravnega satelita ter Sonca in drugih planetov obstajajo mnoge nejasnosti in spori, a je danes bolj ali manj uveljavljena domneva, da so vsa ta telesa nastala pred približno 4,6 milijarde let.

Notranji sloji Zemlje dosegajo temperature med 4.000 in 7.000 kelvinov. Za to potrebna toplota je nastala ob stvaritvi Zemlje, nadalje pa jo ustvarja sevanje radioaktivnih elementov, kot so uran, torij in kalij. Dodaten vir toplote pa je tudi sončna energija.

Novonastale kamnine si neprestano utirajo pot na zemeljsko površje skozi ognjenike in podoceanske razpoke na razmikajočih se (divergentnih) prelomnicah tektonskih plošč. Mnoge kamnine so stare manj od 100 milijonov let, nekatera najstarejša najdena mineralna zrna pa so nastala pred 4,4 milijarde let, kar kaže na to, da že najmanj toliko časa obstaja trdna skorja.

Zemlja v sončnem sistemu predstavlja edini planet, ki na svoji površini premore tekočo vodo. Ta prekriva 71 % celotnega površja, in sicer v 97 % slana voda. Svetovne vode so porazdeljene med pet oceanov, ki obdajajo sedem celin. Celotna masa hidrosfere je približno $1,4 \times 10^{21}$ kg ali približno 0,023 % skupne mase Zemlje. Plasti ozračja okoli Zemlje so razmeroma debele, saj najredkejše plasti zraka segajo do približno tisoč kilometrov visoko nad površino planeta. Atmosfero sestavlja več slojev, in sicer troposfera, stratosfera, mezosfera, termosfera in eksosfera. Debelina teh slojev je odvisna od svoje lokacije, pa tudi od sezonskih dejavnikov. Skupna masa atmosfere je ocenjena na $5,1 \times 10^{18}$ kg oz. 0,9 milijoninke celotne mase Zemlje. Sloju, v katerem najdemo življenje, rečemo tudi biosfera.

Zemlja ima obliko podobno elipsoidu[32], dejanski obliki Zemlje rečemo tudi geoid. Geoid je telo, ki ga omejuje zunanja ploskev, ki je na vsakem mestu pravokotna na smer sile teže; ta ni povsod usmerjena popolnoma v središče Zemlje, saj je teža na različnih mestih zemeljske površine zaradi nesorazmerne razporeditve notranjih mas različna. Še nekoliko natančneje se Zemlja prilagaja obliki kardioda, ki je na severnem tečaju izbočeno, na južnem pa vbočeno telo.

Gibanje Zemlje ima več oblik in vpliva na množico pojavov, ki zadevajo zlasti površje Zemlje; tako je vzrok letnim časom, menjavanju dneva in noči ter njunim dolžinam, pa tudi različnim

podnebnim pasovom, določanju časa in več drugim predmetnostim. Osnovni gibanji Zemlje sta njena rotacija in revolucija. Prva pomeni vrtenje planeta okoli njegove osi z obodno hitrostjo na ekvatorju 465,12 m/s, kar pomeni zasuk za 360° v enem dnevu oz. 23h 56m 4s. Neposredna posledica tega vrtenja je menjavanje dneva in noči. Revolucija Zemlje pa pomeni gibanje po tiru okoli Sonca s srednjo hitrostjo 30,287 km/s, kar za celoten obrat terja eno leto oz. 365,24 zemeljskih dni.

Edini Zemljin naravni satelit je Luna.

3.2.4 Mars

Mars[7] je četrti planet od Sonca v Osončju in sedmi po velikosti. Imenuje se po rimskem bogu vojne Marsu zaradi značilne rdeče barve, ki je posledica prisotnosti železovega oksida na njegovem površju. Mars ima dve majhni luni: Fobos in Deimos. Obe sta nepravilnih oblik in sta verjetno zajeta asteroida. Druga teorija pravi, da sta dela večje lune, ki se je raztreščila, ker se je preveč približala planetu.

Na Marsu so skoraj najugodnejši pogoji za življenje poleg Zemlje. Je tudi zadnji notranji planet. Ti so v nasprotju z zunanji gosti in trdi, vrtijo se počasneje ter so toplejši. Razdalja med Marsom in Zemljo se občutno spreminja, prav tako tudi njegova vidljivost. V nekaterih trenutkih je tretje najbolj svetlo telo na nočnem nebu, prekosita ga le Venera in Luna. Mars se okoli svoje osi vrtili nagnjen za 25,19°, v nasprotni smeri urinega kazalca.

Mars je trden planet, ki ga sestavljajo kovinska sredica, ki jo obdajata kamniti plašč in zunanja skorja. Relief je zelo pester. Na njem so velike puščave s peščenimi sipinami in skalami, visoke gore, ogromne doline, vulkanski kraterji, kanjoni itd. Na površju so dobro vidne posledice padcev meteoritov. Na Marsu je tudi največji kanjon v Osončju (imenovan Valles Marineris).

Mars je pred približno 4 milijardami let izgubil magnetosfero. Zato lahko Sončev veter direktno vpliva na njegovo ionosfero in odnaša atome iz tega sloja, s tem pa tanjša atmosfero. Tlak na površini Marsa je zelo nizek (manj kot 1 % zemeljskega). Atmosfera je sestavljena iz 95 % ogljikovega dioksida, 3 % dušika, 1,6 % argona in manjših deležev kisika in vode. Hkrati vsebuje tudi dosti prahu, delce s premerom približno 1,5 μm, zaradi katerih ima Marsovo nebo, gledano iz površja, rjavkasto-rumeno barvo.

Oblaki nastajajo poleti nad večjimi ognjeniki. Tam nastanejo zato, ker se topli zrak dviga in ohlaja. Tvorijo se tudi nad polarnima kapama. Mars je suh in mrzel planet, zato tam nikoli ne dežuje. Oblaki odlagajo ivje, morda pa tudi sneži.

3.2.5 Jupiter

Jupiter[8] je zunanji, peti planet od Sonca in je največji planet znotraj našega Osončja. Plinaste orjake Jupiter, Saturn, Uran in Neptun včasih imenujejo tudi jupitrovski planeti. Ime je dobil po rimskem bogu Jupitru. Ta plinasti orjak je 2,5-krat masivnejši kot vsi ostali planeti Osončja skupaj, čeprav ima samo 1/1047 Sončeve mase. Ker ima tako veliko maso, leži masno središče Jupitra in Sonca nad Sončevo površino, 1,068 Sončevega polmera od središča Sonca. Jupiter je 318-krat masivnejši od Zemlje s premerom, 11-krat večjim od Zemlje, in s 1310-kratno Zemljino prostornino. Ima 10-krat manjši premer kot Sonce in skoraj enako srednjo gostoto.

Jupiter se tudi najhitreje vrti okoli svoje osi kot katerikoli drug planet v Osončju z vrtilno hitrostjo 12.700 m/s. Zaradi tega je njegov disk precej sploščen, kar se da lepo videti skozi daljnogled. Polarni premer je več kot 10.000 km manjši od ekvatorskega premera. Od planetov je le Saturn še bolj sploščen. Njegova najbolj znana zunanja oblika je verjetno Velika rdeča pega, ki je nevihta, večja od Zemlje. Planet je neprestano prekrit s plastjo oblakov.

Jupiter je za opazovalca z Zemlje ob opoziciji četrto najsvetlejšo nebesno telo na nebu za Soncem, Luno in Venero. Včasih je svetlejši le še Mars. Jupiter je znan že iz pradavnine.

Jupiter je v glavnem sestavljen iz dokaj majhnega skalnatega jedra, ki ga obdaja kovinski vodik, tega obdaja tekoči vodik, vse skupaj pa plinski vodik.

Jupitrovo atmosfero sestavlja 86 % vodika in 14 % helija. Atmosfera vsebuje sledi metana, vodne pare, amonijaka in skalnate snovi. Poleg tega so prisotne majhne količine ogljika, etana, vodikovega sulfida, neona, kisika, fosfatov in žvepla. Ta sestava atmosfere je zelo podobna sestavi sončne meglice.

Jupiter ima šibek sestav planetnega obroča. Obroč sestavljajo prašni delci, ki so jih z lun odnesli meteorji. Glavni obroč je nastal iz prahu s satelitov Adrasteje in Metisa.

Jupiter ima zelo veliko in močno magnetosfero. Če bi lahko videli njegovo magnetno polje z Zemlje, bi bilo na nebu navidezno 5-krat večje od ščipa, kljub temu da je veliko dlje. To magnetno polje zadržuje velik tok sevanja delcev v Jupitrovih sevalnih pasovih, kjer tudi nastaja ogromen plinski kolobar in valj toka, povezan z satelitom Io. Da je Jupiter močan vir radijskih valov, so po naključju odkrili ameriški raziskovalci leta 1955.

Celotno število znanih Jupitrovih lun je trenutno 80, največje pa so Ganimed, Kalisto, Io in Evropa.

3.2.6 Saturn

Saturn[9] je zunanji, šesti planet od Sonca v Osončju. Imenuje se po rimskem bogu Saturnu. Je plinasti orjak, po velikosti drugi največji za Jupitrom. Poleg Jupitra, Urana in Neptuna spada v skupino jupitrovskih planetov. Že od nekdaj je najbolj znan po svojih značilnih obročih.

Njegova luna Titan je druga največja luna v Osončju za Jupitrovo luno Ganimed. Titan je edina luna z gosto atmosfero.

Planet je sestavljen večinoma iz vodika (75 %) in helija (25 %). Domnevajo, da ima v notranjosti sredico iz železa, niklja in skal (silikatnih spojin in oksidov), ki jo obkrožajo notranja plast kovinskega vodika v kapljevinskem stanju, vmesna plast kapljevinnastega vodika in helija ter zunanja, plinasta plast. Bledo rumena obarvanost je posledica prisotnosti amonijaka v sledih v zgornjih plasteh atmosfere.

Najočitnejša Saturnova značilnost je sistem obročev, ki ga obdaja v razdalji od 6.630 km do 120.700 km nad ekvatorjem. Sistem sestavlja devet sklenjenih in trije nesklenjeni obroči povprečne debeline približno 20 m, ki so v glavnem iz koščkov ledu.

Nastanek obročev ni povsem jasen. Po eni od teorij so nastali ob razpadu ledene lune, ki se je preveč približala planetu, po drugi pa vsebujejo prvobitno snov, ki se zaradi bližine planeta ni mogla združiti v eno samo telo.

Če ne upoštevamo stotine večjih delcev v obročih, ima Saturn 62 naravnih satelitov, od tega je 53 uradno poimenovanih. Največja luna Titan je večja od Merkurja in je edini naravni satelit v Osončju, ki ima omembe vredno atmosfero.

3.2.7 Uran

Uran^[10] je zunanji, sedmi planet od Sonca v Osončju. Je ledeni orjak, tretji največji po premeru in četrti največji po masi. Imenuje se po grškem bogu neba in praočetu drugih bogov Uranu. Odkril ga je William Herschel.

Uran je prvi planet, odkrit v sodobnem času. Herschel ga je uradno odkril 13. marca 1781, do takrat pa so bili iz antike znani samo klasični planeti od Merkurja do Saturna. Odkritje Urana je prvič v sodobni človeški zgodovini razširilo meje Osončja. Prav tako je bil to prvi planet, odkrit z uporabo tehnologije (z daljnogledom), čeprav je kot klasični planeti viden s prostim očesom.

Notranja sestava Urana je podobna Neptunovi, oba pa se po kemični sestavi razlikujeta od drugih dveh plinastih orjakov, Jupitra in Saturna. Zaradi tega ju astronomi razvrščajo v drugo kategorijo ledenih orjakov. Uranova atmosfera, čeprav v osnovni sestavi vsebnosti vodika in helija podobna Jupitrovi in Saturnovi, vsebuje več vrst ledov, kot je vodni led, amonijak in metan, ter sledi ogljikovodikov. Njegova atmosfera je v Osončju najhladnejša z najnižjo temperaturo 49 K (−224 °C). Zgradba oblakov je kompleksna in plastna. V najnižjih oblakih se verjetno nahaja voda, v najvišjih pa metan. Notranjost Urana v glavnem sestavlja ledovi in skale.

Uran je sestavljen pretežno iz plina in različnih ledov. Ozračje vsebuje približno 85 % vodika, 15 % helija in 2 % metana ter sledove acetilena, notranjost planeta pa je bogatejša s težjimi elementi, najverjetneje s spojinami kisika, ogljika in dušika ter s kamnitimi materiali. To je

drugače kot pri Jupitru in Saturnu, ki sta sestavljena večinoma iz vodika in helija. Uran je (podobno kot Neptun) zelo podoben jedroma Jupitra in Saturna, če ne upoštevamo obsežne ovojnice iz kovinskega vodika. Uranova barva je sinja zaradi absorpcije rdeče svetlobe v metanu. Temperatura površja oblačnega pokrova je približno 55 K (−218 °C).

Ena najvidnejših značilnosti Urana je njegov nagib vrtilne osi za skoraj devetdeset stopinj. Zaradi tega je v njegovi tirnici okrog Sonca en pol nekaj časa obrnjen proti Soncu, drugi pa je obrnjen stran. Na drugi strani Sonca se osvetlitev polov zamenja.

Uranovo magnetno polje je precej posebno, saj ne izhaja iz geometričnega središča planeta in je za približno 60 ° nagnjeno od osi vrtenja. Verjetno se generira z gibanjem znotraj Urana v precej majhnih globinah. Neptun ima podobno zamaknjeno magnetno polje, kar nakazuje, da tako magnetno polje ni nujno posledica nagiba Uranove osi. Magnetni rep je zaradi planetovega vrtenja zavrt v obliko dolgega vijaka, ki sega za planet. Vir magnetnega polja je neznan.

Uran ima šibek sistem planetnih obročev, ki so sestavljeni iz temnih delcev premera do 10 metrov.

Uran ima 27 znanih naravnih satelitov.

3.2.8 Neptun

Neptun[11] je zunanji, po oddaljenosti od Sonca osmi planet v Osončju. Je tudi najbolj oddaljeni ledeni orjak (do leta 1990 je spadal v kategorijo plinastih orjakov) v Osončju. Čeprav je najmanjši od plinastih orjakov, ima večjo maso kot Uran, ker ga je njegovo močnejše gravitacijsko polje stisnilo v večjo gostoto. Zaradi svojega modrega videza se planet imenuje po rimskem bogu morja Neptunu. Neptun je bil odkrit 23. septembra 1846.

Okrog tega modrega planeta so bili odkriti šibki temni obroči, ki pa so manj izdatni kot Saturnovi. Ob njihovem odkritju so sprva domnevali, da niso zaključeni, vendar so podatki z vesoljskega plovila Voyager 2 to domnevo ovrgli. Neptun ima tudi vetrove, ki pihajo s hitrostjo 2000 km/h, v ozračju pa so znatne količine vodika, helija in metana, ki dajejo planetu značilno modro barvo. Neptun obkroža 14 lun. Za njegovo največjo luno Triton so značilni njen vzratni tir, izredno nizke temperature (38 K) in zelo redka (14 mikrobarov) atmosfera iz dušika in metana.

3.3 Pritlikavi planeti

Pritlikavi planet[12] je po definiciji Mednarodne astronomske zveze manjše nebesno telo, ki je v tiru okrog Sonca, ima zadostno maso, da zaradi lastne gravitacije premaga toge materialne

sile in s tem privzame hidrostatično ravnovesno (približno okroglo) obliko, ni izpraznilo okolice svojega tira in ni naravni satelit. Potrjeni pritlikavi planeti v našem Osončju so: Cerera, Pluton, Erida, Makemake in Haumea. Trenutno je v Osončju znanih še dvanajst teles, ki bi se jih lahko po gornji kategoriji uvrstilo med pritlikave planete, vendar še niso potrjena.

3.4 Kometi

Komet[13] (repatica) je majhno astronomsko telo, podobno asteroidu, vendar sestavljeno pretežno iz ledu. Skoraj vsa masa komete je v njegovem jedru, ki je sestavljeno iz kamenja in niklja ter železa. Ti delci so med seboj povezani z ledom. Ko se komet približa Soncu, se ta led spremeni v plin. Ta plinasti oblak se potem razporedi okrog jedra komete in nastane koma. Koma je plinasta in prašna ovojnica jedra. Sončev veter potem odbija delce prahu iz kome in pojavi se dolg rep, ki je dolg tudi do 100.000 km in je usmerjen stran od Sonca. Najbolj znan komet je Halleyjev komet, ki ima obhodno dobo 76 let.

3.5 Asteroidi

Asteroid[14] je majhno, trdno nebesno telo v našem Osončju, ki kroži okoli Sonca. Asteroid je vrsta malega planeta (oz. planetoida) in je veliko manjši od planetov. Za večino asteroidov verjamemo, da so ostanki protoplanetnega diska, ki se pri nastanku Osončja niso razvili oz. vključili v planete. Nekateri asteroidi imajo tudi lune. Večina asteroidov se nahaja znotraj asteroidnega pasu z eliptičnimi tirnicami med Marsom in Jupitrom.

3.6 Meteoroidi

Meteoroid[15] je majhno, okoli Sonca krožeče telo, ki ima velikost od prašnega delca (nekaj mikronov) do skale (nekaj metrov) in je manjše od asteroidov. Nekateri med njimi prečkajo tirnico Zemlje in zaidejo tudi v zemeljsko ozračje. Vidno pot meteoridov v ozračju imenujemo meteor ali zvezdni utrinek. Veliko meteorjev pripada meteorskim rojem (meteorski dež), ki se periodično ponavljajo ob določenem času.

4. ZGODOVINA ODKRIVANJA NAŠEGA OSONČJA

V raziskovalni nalogi sva zatem poskušala ugotoviti, kako so v preteklosti mislili, da je naše Osončje videti, in kdo so bili pomembni znanstveniki, ki so prišli do pravega dognanja.

Človeštvo je potrebovalo nekaj tisoč let, da je spoznalo, da so svetleča telesa na nebu planeti, zvezde, galaksije in druga nebesna telesa, in ne duhovi ali bogovi. Največji krivec za zaviranje razvoja v astronomiji sta bili religija in Cerkev, ki sta prepričevali vernike, da je človek edino pametno bitje na svetu in je zato Zemlja v središču našega vesolja. Če to ne bi držalo, potem človek ne bi bil pomembno bitje.

4.1 Aristotel

Grški mislec in filozof Aristotel[17] (384 pr. n. št.–322 pr. n. št.) si je v svoji knjigi *O nebu* izmislil planetarni sistem. V njem je svet okrogle oblike, kar je zaključil na podlagi opazovanja zaokroženih senc na Luni v času njenega mrka. Svojo domnevo, da je Zemlja okrogla, je pojasnjeval z opazovanjem ladij. Če nekdo opazuje ladjo, ki izpluje na odprto morje, bo opazil, da ladijski trup izgine izpred oči na obzorju veliko prej, kot izginejo njena jadra. V Aristotelovi geocentrični viziji je bila Zemlja nepremična, planeti Merkur, Venera, Mars, Jupiter in Saturn ter Sonce in Luna pa so uprizarjali krožne orbite okoli nje. Aristotel je verjel, da so zvezde pripete na nebesno sfero, ki po njegovih merilih ni mogla biti daleč naprej od Saturnove orbite.

4.2 Aristarh

Aristarh (pribl. 310 pr. n. št.–230 pr. n. št.) je bil starogrški astronom in matematik, ki je prvi verjel, da Zemlja kroži okrog Sonca in da so planeti podobni Zemlji in prav tako krožijo okrog Sonca.

4.3 Ptolemaj

Egipčan Ptolemaj[17] (87 n. št. –150 n. št.) je ustvaril model vesolja, ki je veliko bolj natančno predvidel gibanje in delovanje nebesnih teles. Tudi on je verjel, da je Zemlja nepremična, in ker predmeti vedno padajo proti središču Zemlje, mora biti Zemlja postavljena v središče vesolja. Ptolemaj je dokončno izdelal sistem, v katerem se nebesna telesa gibljejo po obodu lastnih epiciklov (krožnica, po kateri se giblje planet in katere središče se giblje po obodu druge

večje krožnice). Da bi dopolnil to sliko, je postavil Zemljo rahlo iz središča vesolja in to novo točko imenoval ekvant. Z namernim prilagajanjem velikosti krožnic je Ptolemaj bolje kot kdorkoli prej določil gibanje nebesnih teles. S tem pa se je njegov geocentrični model znašel v rahlem sporu z zahodnim krščanstvom. Kljub temu je Cerkev na koncu potrdila njegov model vesolja kot resničen, saj je za fiksnim zvezdnim nebom dopuščal odprta vrata za urejanje nebes in pekla.



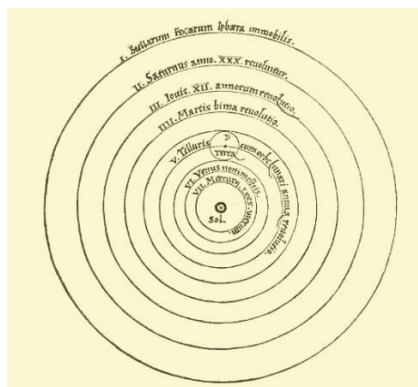
Slika 2: Ptolemajev geocentrični model Osončja

4.4 Nikolaj Kopernik

Leta 1514 je poljski duhovnik Nikolaj Kopernik[17][18] (1473–1543) oživil idejo o heliocentričnem modelu vesolja. Ta model je najprej predlagal zgolj za izračunavanje položajev planetov. Vedel je namreč, da bi ga Cerkev verjetno označila za heretika, če bi model predlagal kot opis realnosti. Da je Zemlja le eden izmed planetov in da je Sonce v središču vesolja, je Kopernik spoznal, ko je natanko proučil gibanje planetov. Njegova hipoteza je postala znana kot heliocentrični model.

Vendar pa so bili starejši kolegi duhovniki neodločni pri zagovarjanju njegove teorije, saj so se bali odziva cerkvenih avtoritet. Zaradi tega je Kopernik svoje delo dolgo skrival in ga pokazal le redkim astronomom. Njegovo delo *O revolucijah* je bilo objavljeno šele leta 1543, ko je že ležal na svoji smrtni postelji. Njegovo življenje je ugasnilo, še preden bi lahko bil priča kaosu, ki ga je povzročil njegov heliocentrični sistem.

Koperniku je prvemu uspelo pravilno umestiti Venero in Merkur ter z neverjetno natančnostjo dognati njuna položaja ter razdaljo do obeh planetov. Uvidel je, da sta oba veliko bližje Soncu, ter opozoril, da znotraj Zemljine orbite očitno krožita z večjo hitrostjo.



Slika 3: Kopernikov heliocentrični model Osončja

4.5 Galileo Galilei

Galilej Galileo[17][19] (1564–1642) dognal, da je Rimska cesta v resnici prostran zbor posamičnih zvezd. Prav tako je opazil štiri lune okoli Jupitra, odkritje, ki je izredno vplivalo na mnoge geocentrično naravnane posameznike, tiste, ki so zagovarjali, da se nebesna telesa vrtijo izključno okoli Zemlje. Isto leto je objavil delo *Zvezdni glasnik*, v katerem je naznanil svoja odkritja, ki so ga med sodobniki postavila na čelo astronomije. Odtlej ni več želel poučevati Aristotelove teorije, njegova slava pa mu je omogočila, da je v Firencah ob velikem vojvodu Toskane zasedel mesto glavnega matematika in filozofa.

Galilej se je tako prost vseh dolžnosti poučevanja lahko posvetil opazovanju neba. Kmalu je opazil Venerine mene, kar je samo potrdilo Kopernikovo teorijo, da planeti krožijo okoli Sonca. Prav tako je zabeležil Saturnovo podolgovato obliko, kar je sam pripisal številnim lunam, ki krožijo okoli planeta, saj njegov teleskop tedaj še ni bil zmožen prikazati Saturnovih prstanov.

Naslednjih šest let je Galilej delal na objavi *Dialogov o dveh velikih sistemih sveta* - knjigi, zaradi katere se je pozneje znašel v ujetništvu. Delo je oblikovano v obliki polemičnih razprav med zagovornikom Kopernika ter zaščitnikom Aristotela in Ptolemaja, kjer vsak izmed njiju poskuša s svojo filozofijo premagati drugega. Galilej je v predgovoru zapisal izjavo, s katero je podprl razglas iz leta 1616, z razdelitvijo vlog v knjigi, ki so predstavile njegov pogled, pa se je lahko izognil odprti podpori ene ali druge strani. Ne glede na to je javnost opazila, da je Galilej prezirljiv do aristotelizma. Knjiga je dosegla velik uspeh, čeprav so ob njeni objavi ostro protestirali. S tem ko je bila napisana v domači italijanščini in ne v latinščini, je Galilej omogočil, da je bila dostopna vsem.

Leta 1633 je bil na procesu v Rimu Galilejev nauk spoznan za heretičnega. Moral se je javno odreči svojim nazorom in preživeti zadnja leta življenja v hišnem zaporu, kjer je izkoristil čas in napisal eno svojih najvplivnejših del *Razprave o dveh novih znanostih*.

4.6 Johannes Kepler

Johannes Kepler[17][20] (1571–1630) je študiral teologijo in klasiko na Univerzi v Tübingenu. Tam je nanj vplivala Kopernikova teorija. Kepler jo je takoj sprejel, saj je verjel, da mora biti enostavnost Kopernikovih tirnic božje delo. Leta 1594 je odšel v Gradec, kjer je začel delati na obsežni geometrijski domnevi, ki se je nanašala na oddaljenosti planetov. V letu 1596 je objavil svoje prvo astronomsko delo *Kozmografska nedoumljivost*. To delo je pomembno, ker je predstavljalo prvo razumljivo in neizpodbitno poročilo geometrijskih prednosti Kopernikove teorije.

Leta 1601 je Kepler postal cesarski dvorni astronom in kraljevi matematik Rudolfa II., svetega rimskega kralja. V svoji knjigi *Nova astronomija*, ki je bila objavljena leta 1609, je pojasnil svoj zakon o ravninah, ki ga je odkril leta 1602, in zakon o eliptičnem gibanju, ki ga je odkril leta 1605.

V Linzu je leta 1619 izdal knjigo *Ubranost sveta*, v kateri je pojasnil svoj 3. Keplerjev zakon o gibanju planetov. S pomočjo vrednosti Napierjevih logaritmov za funkcijo sinus je izračunal numerično-logaritemske tabele. V tem času je začel z objavo knjige *Epitom Kopernikovi astronomiji*, ki je izšla 3 leta pozneje. V njej so bili zbrani vsi njegovi zakoni. Pomembna je tudi zato, ker je bila to prva astronomska knjiga na osnovi Kopernikovih načel.

Kasneje je izdal svoje tabele, ki so temeljile na de Braheovih podatkih, in z njihovo pomočjo so se zmanjšale glavne napake resničnih položajev planetov od 5° na samo 10'. Newton se je pri oblikovanju svojega splošnega gravitacijskega zakona zelo zanašal na Keplerjevo teorijo in opazovanja.

4.6.1 Keplerjevi zakoni

Prvi Keplerjev zakon:

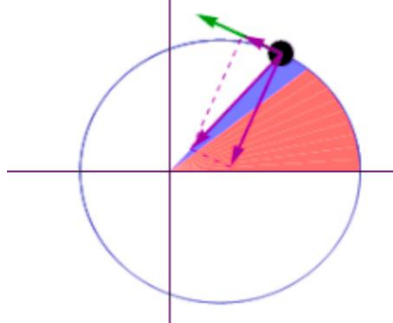
Planet se giblje okrog Sonca po elipsi. Sonce je v njenem gorišču. Kepler je ugotovil, da se planet ne giblje po krožnici, kot so prvotno mislili, temveč okrog Sonca po elipsi ter da se Sonce nahaja v enem izmed gorišč te elipse. Točko na elipsi, ki je najbližje Soncu, je poimenoval perihelij, točko, ki je najbolj oddaljena od Sonca pa odsončje (afelij).

Matematična formula za ta zakon se glasi:

$$r = \frac{p}{1 + \varepsilon \cdot \cos \theta}$$

Drugi Keplerjev zakon:

Zveznica planeta in Sonca pokrije v enakih časih enake ploščine. Nadalje je ugotovil, da se planeti okrog Sonca po elipsi ne gibljejo enakomerno, saj se takrat ko so bližje Soncu, gibljejo hitreje, kot takrat ko so od Sonca bolj oddaljeni.



Slika 4: Gibanje planetov po Keplerju

Tretji Keplerjev zakon:

Kub velike polosi in kvadrat obhodnega časa sta za vse planete v enakem razmerju. Kepler je na podlagi poskusov in napak, ki jih je pri tem izvedel, ugotovil, da se planeti po elipsi ne gibljejo s konstantno hitrostjo in da je hitrost planeta odvisna od njegove lege na tirnici. Vzrok za to je bila po njegovem mnenju gravitacijska sila Sonca. Predvideval je, da je kub velike polosi planetove krožnice enak kvadratu obhodnega časa, lahko pa se ga pojasni tudi tako, da je kvocient med kvadratom obhodnega časa planeta in kubom velike polosi njegove tirnice konstanten za vse planete. Tega zakona Kepler ni nikoli dokazal, kasneje pa je to uspelo Isaacu Newtonu.

4.7 Isaac Newton

Isaac Newton[17][21] (1642–1727) je bil čudežni otrok, ki je bil po priporočilu strica poslan v Cambridge študirat. V tistem času so zaradi kuge camabriško univerzo za poldrugo leto zaprli. Preživel je prisilne počitnice v domači vasi, kjer je imel veliko časa za razmišljanje, in tedaj naj bi odkril infinitezimalni račun in splošni gravitacijski zakon ter razstavil belo svetlobo na mavrico.

Ker je njegov učitelj Barrow šel predčasno v pokoj, je svoje profesorsko mesto prepustil Newtonu. Newton se je lotil raziskovanja svetlobe in uspehi pri tem so mu leta 1672 odprli pot na narodno akademijo znanosti Združenega kraljestva. Zaradi svojih poskusov s svetlobo je tu prišel v spor z znanstvenikom Hookom. Hooke je kritiziral dve optični razpravi, ki ju je Newton predložil Kraljevi družbi. To je Newtona vznejevoljilo, tako da je zagrozil z izstopom iz družbe. Spor so komaj zgladili. Zaradi tega je Newton odložil pisanje knjige o optiki. Vendar se je po Hookovi zaslugi proti koncu leta 1679 začel podrobno zanimati za gibanje planetov.

Leta 1687 je izšla njegova knjiga z naslovom *Matematična načela naravoslovja*.

4.7.1 Newtonovi zakoni

Prvi Newtonov zakon:

Poznan je kot zakon o vztrajnosti. Zakon se formulira tako, da se telo giblje premo enakomerno, če je vsota vseh sil, ki deluje na telo, enaka nič. Ta zakon implicira, da na planete, ki krožijo okrog Sonca, deluje neka sila, saj je enakomerno kroženje pospešeno in ne premo gibanje.

Drugi Newtonov zakon:

Najpomembnejši od treh zakonov se pogosto imenuje kar Newtonov zakon. Zapiše se ga z enačbo:

$$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}$$

Pri tem je F sila, ki deluje na telo z maso m . Pod vplivom te sile se telo giblje s pospeškom a . Sila in pospešek sta vektorja, kjer ima pospešek smer sile.

Tretji Newtonov zakon:

Ta zakon je znan kot zakon o vzajemnem učinku ali zakon o akciji in reakciji.

Delovanje zakona si najlažje predstavimo z dvema drsalcema na ledu. Če prvi drsalec odrine drugega in s tem deluje nanj z določeno silo, bo tudi drugi drsalec deloval na prvega z enako, a nasprotno silo. Čeprav sta sili enaki, pa drsalca ob tem nimata nujno enakega pospeška, saj je pospešek vsakega drsalca (po drugem Newtonovem zakonu) obratno sorazmeren njegovi masi.

Splošni gravitacijski zakon:

Ta zakon v fiziki pojasnjuje, da gravitacijska sila pojema z razdaljo. Poleg tega teorija pokaže, da kadar je masa telesa večja, je večja tudi njegova gravitacijska sila. Isaac Newton je zapisal zakon v svoji knjigi *Matematična načela naravoslovja*, potrebno pa je poudariti, da ni iznašel gravitacije. Določil jo je samo matematično. Uporabil je svoj zakon skupaj s svojimi tremi zakoni gibanja, da bi nadomestil Keplerjeve zakone gibanja planetov.

Vsako telo v Vesolju privlači vsako drugo telo s silo, katere smer leži na zveznici njunih težišč in je sorazmerna zmnožku njunih mas in obratno sorazmerna kvadratu razdalje med njima. Dve telesi se privlačita s silo, ki je premo sorazmerna produktu njunih mas in obratno sorazmerna kvadratu razdalje med njima.

Matematična formula za ta zakon se glasi:

$$F = k \cdot \frac{m_z \cdot m_{nt}}{r^2}$$

Pri tem je F sila, ki deluje med Zemljo z maso m_z in drugim nebesnim telesom z maso m_{nt} ter je med njima razdalja r . Pri tem je k gravitacijska konstanta, včasih označena tudi kot G .

Ta enačba bo postala osnova najine raziskovalne naloge.

5. PROGRAMSKA KNJIŽNICA ASTRONOMY

Odločila sva se, da bova za simulacije Osončja uporabila knjižnico Astronomy in programirala v programskih jezikih Python in JavaScript.

Astronomy[22] je nabor odprtokodnih računalniških knjižnic, ki jih je razvil Don Cross in ki ponujajo izračunavanje pozicij Sonca, Lune in planetov našega Osončja. Knjižnica zna tudi napovedovati Lunine faze, mrke, enakonočja, čase sončnega vzhoda in zahoda ter druge zanimive astronomske dogodke. Prav tako ponuja podporo za matematične vektorje in pretvorbe v kotne koordinate. Je majhna in hitra ter dosega natančnost do ene kotne minute. Knjižnica podpira naslednje programske jezike: C, C#, JavaScript, Java in Python. Temelji na prevladujočih in dobro preizkušenih astronomskih modelih VSOP87 in NOVAS C 3.1.

Knjižnica ima naslednje lastnosti:

- zna zagotavljati izračune za Sonce, Luno, Merkur, Venero, Zemljo, Mars, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun in Pluton,
- zna izračunavati za katerikoli koledarski datum in čas za tisočletja nazaj in naprej,
- zna zagotavljati heliocentrične in geocentrične kartezične vektorje,
- zna določiti navidezne položaje za opazovalca kjerkoli na Zemlji glede na zemljepisno širino, dolžino in nadmorsko višino opazovalca (izbirno popravi atmosferski lom),
- zna izračunavati čas vzhoda, zahoda in kulminacije Sonca, Lune in planetov,
- zna poiskati navtične in astronomske čase somraka,
- zna najti datum in čas Luninih men,
- zna napovedovati Lunine in Sončeve mrke,
- zna napovedovati prehode Merkurja in Venere,
- zna napovedati datume, ure in razdalje Luninega apogeja in perigeja,
- zna napovedati datum in čas enakonočij ter solsticijev za dano koledarsko leto,
- zna določiti navidezne vizualne magnitude,
- zna napovedati datume planetarnih konjunkcij, opozicij in apsid,
- zna napovedati datume največje vizualne magnitude Venere,
- zna napovedati datume največjega raztezka za Merkur in Venero,
- zna izračunati položaje štirih največjih Jupitrovih lun: Io, Evropa, Ganimed in Kalisto,
- omogoča prilagojeno simulacijo gibanja uporabniško določenih majhnih teles, kot so asteroidi in kometi, skozi sončni sistem,
- zna pretvarjati kotne in vektorske koordinate med različnimi orientacijami (ekvatorialni J2000, ekliptični J2000, IAU 1958, itd.),
- zna določiti, katero ozvezdje vsebuje določeno točko na nebu,
- zna izračunati libracijo Lune in
- zna izračunati osno in rotacijsko orientacijo za Sonce, Luno in planete.

Avtor knjižnice je za svoje izračune in algoritme uporabil naslednje vire:

1. spletno stran Paula Schlyterja[23],
2. knjigo *Practical Astronomy with Your Calculator*[24] in
3. knjigo *Astronomy on the Personal Computer* [25].

Kasneje je avtor preučil, kako profesionalni astronomi in vesoljske agencije opravljajo svoje izračune z uporabo knjižnice NOVAS C 3.1 pomorskega observatorija Združenih držav Amerike. Ker pa bi bila knjižnica prevelika za uporabo na spletnih brskalnikih, je preučil tudi model Francoskega urada za zemljepisne dolžine VSOP87, ki potrebuje več računanja, vendar z manjšimi podatki. Tudi ta model je bil še vedno prevelik za brskalnike. Avtor je na koncu uporabil oskubljeni model VSOP87, ki pa je bil testiran z uporabo NOVAS C 3.1 na DE405 efemeridah in v drugih virih (npr. v orodju JPL Horizons). Z uporabo VSOP87 in drugih neodvisnih preverjenih virov ta knjižnica dosega željeno natančnost.

5.1 Model NOVAS C 3.1

NOVAS [26] je integrirani paket funkcij za programski jezik C za izračun številnih pogosto potrebnih količin v pozicijski astronomiji. Paket lahko v enem ali dveh funkcijskih klicih posreduje trenutne koordinate katere koli zvezde ali telesa sončnega sistema v različnih koordinatnih sistemih. Na nižji ravni NOVAS nudi tudi astrometrične uporabne transformacije, kot so tiste za precesijo, aberacijo, paralakso in gravitacijski odklon svetlobe. Za najino raziskovalno nalogo taka natančnost ne bo potrebna.

5.2 Model VSOP97

Polanalitična planetarna teorija VSOP[27] je matematični model, ki opisuje dolgoročne spremembe v orbitah planetov od Merkurja do Neptuna. Najzgodnejši moderni znanstveni model je upošteval le gravitacijsko privlačnost med Soncem in vsakim planetom, pri čemer so bile nastale orbite nespremenljive Keplerjeve elipse. V resnici vsi planeti drug na drugega izvajajo rahle sile, kar povzroča počasne spremembe v obliki in orientaciji teh elips.

Ta podatek je potrdil, da vsa telesa med seboj v resnici vplivajo na gibanje posameznega nebesnega telesa, kar bova poskusila preveriti.

5.3 NASA JPL Horizons

JPL Horizons [28] je spletna storitev za podatke o sončnem sistemu, ki omogoča dostop do ključnih podatkov sončnega sistema in prilagodljivo izdelavo zelo natančnih efemerid za objekte sončnega sistema (1,2 milijona asteroidov, 3851 kometov, 212 planetarnih satelitov, 8 planetov, Sonca in drugih teles). Storitve Horizons zagotavlja Solar System Dynamics Group iz Laboratorija za reaktivni pogon (NASA).

5.4 Testiranje knjižnice

Odločila sva se, da bova za testiranje knjižnice razvila spletno aplikacijo, ki bo prikazala kroženje planetov okoli Sonca. Aplikacija bo napisana v JavaScriptu in bo uporabljala ogrodje za razvoj igrice, ki sva ga spoznala na poletnem taboru iz računalništva (ZOTKS). Izvorno kodo aplikacije bova prenesla na najino GitHub stran[30].

5.4.1 Ideja testiranja

Ker bova razvila spletno aplikacijo, se bo ta prikazovala v brskalniku. Osončje bova prikazovala v 2D, zato bova ignorirala os Z. Sonce in Zemlja imata koordinato Z vedno nič, pri ostalih planetih pa je majhna napaka, pri tem ima Merkur največji naklon 7° .

Pri programu bova imela naslednje omejitve:

- prikaz bo v 2D,
- zaslon bo imel 800 pik višine in širine,
- razdalja med Soncem in Neptunom je 400 pik, kar je 30 a. e.,
- premeri teles niso v pravih razmerjih, da se jih lažje vidi, in
- 1 dan traja 10 milisekund, tako da Zemlja obkroži Sonce v 3,65 sekunde.

5.4.2 Razvoj spletnega programa

Glavni del aplikacije se nahaja v datoteki *main.js* (priloga C).

Knjižnica za astronomijo *astronomy.browser.js* se naloži v datoteki *index.html*, ki nato pokliče najino JavaScript aplikacijo.

Program se začne v *main()* funkciji, kjer najprej pridobi najin zaslon tipa *canvas*. Prav tako pridobiva kontekst na 2D grafiko, preko katere lahko riševa.

Nato naloživa posamezne slike planetov, ki so velike 10 pik v širino in višino.

S funkcijo *setXY()* nastaviva koordinate vseh teles na trenutni dan in uro (Sonce in 8 planetov) s klicem knjižnice *Astronomy.HelioState()*, ki za vsako telo izračuna položaj (X, Y in Z) ter hitrost gibanja (v_x , v_y in v_z).

Nato nastaviva časovnik, ki na vsakih 10 milisekund poveča čas izračuna za 1 dan.

Izris na zaslon izvedeva s funkcijo *draw()*. Ozadje slike je črno. Nebesna telesa imajo preračunane koordinate glede na prave vrednosti v astronomskih enotah in število točk na zaslonu.

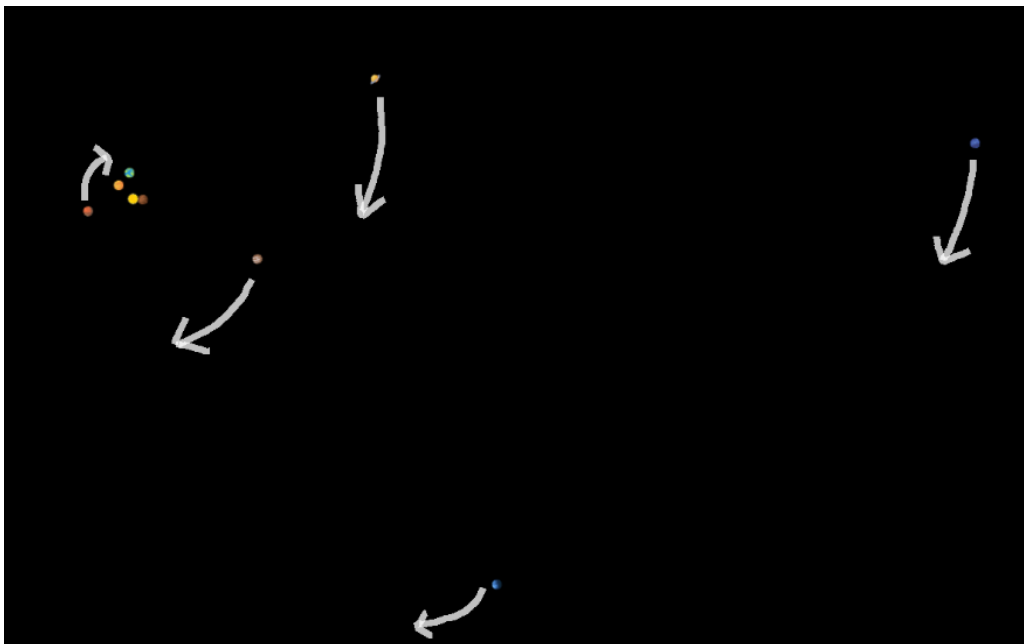
5.4.3 Rezultat spletnega programa

Aplikacijo zaženeva tako, da odpreva datoteko *index.html* z brskalnikom.

Najina spletna aplikacija prikazuje Sonce v središču slike, ostali planeti pa krožijo okoli njega.

Videoposnetek najine aplikacije sva prenesla na najino YouTube stran[31].

Na aplikaciji vidimo, da Zemlja obkroži Sonce v dobrih treh sekundah in pol, Merkur obkroži v 1 sekundi, Venera v 2,1 sekundah, itd.



Slika 5: Prikaz testnega spletnega programa

Ker veva, da ima naše Osončje Sonce v sredini, ostali planeti pa krožijo okoli Sonca, sva s tem preverila delovanje aplikacije. Prav tako se ujemajo obhodni časi s tistimi iz najine tabele v prilogi B.

6. PRVA HIPOTEZA: PLANETI SE GIBLJEJO V GEOCENTRIČNEM SISTEMU PO PTOLEMEJU

Egipčan Ptolemaj je predstavil svoj model osončja, ki pravi, da je Zemlja v središču vesolja. Cerkev je to pograbila, saj je verjela, da je človek najbolj razvito bitje in s tem Zemlja središče vesolja. Drugačne trditve so bile bogokletne in vse nasprotnike takega Osončja so kaznovali in usmrtili.

S pomočjo knjižnice bova poskušala to hipotezo potrditi ali ovreči.

6.1 Ideja potrditve

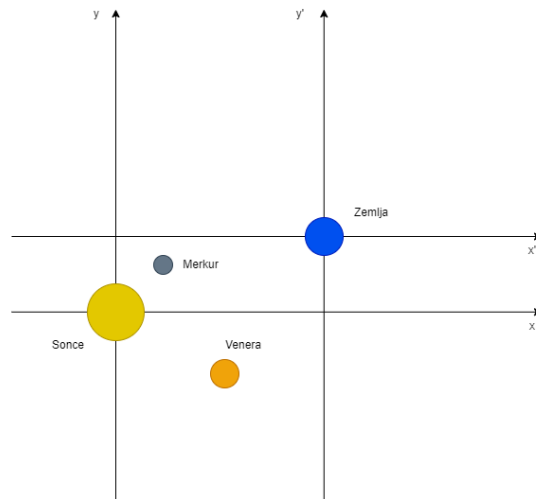
Za potrditev te hipoteze bova uporabila najino testno aplikacijo, pri čemer bova poskrbela, da bo lokacija Zemlje vedno na $X = 0$, $Y = 0$ in $Z = 0$. Pri tem bova opazovala, kako se ostala telesa gibljejo okoli Zemlje.

Če se bodo vsa ostala telesa gibala okoli Zemlje po krožnicah, potem bo hipoteza potrjena.

6.2 Razvoj spletnega programa

Program (priloga D) je zelo podoben testnemu spletnemu programu, le vsem koordinatam spremeniva njihove vrednosti tako, da odštejeva koordinate Zemlje. S tem poskrbiva, da je Zemlja vedno v sredini koordinatnega sistema.

Za ta program veljajo enake omejitve kot za testni program.



Slika 6: Transformacija koordinatnega sistema

Primer izračuna novih koordinat za Sonce, pri čemer je ena astronomska enota na zaslonu velika 26 pik.

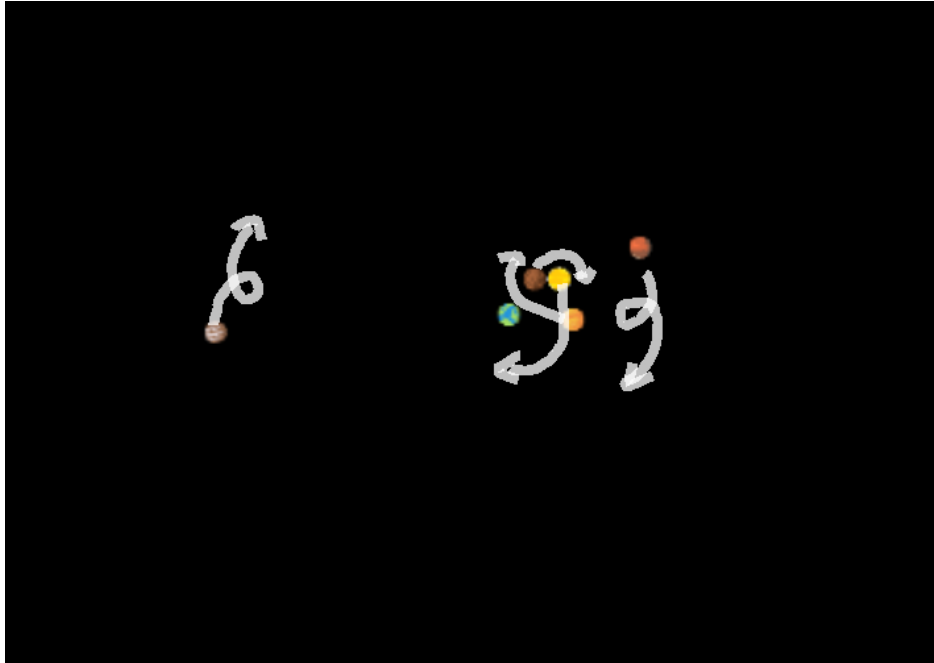
6.3 Rezultat spletnega programa

Aplikacijo zaženeva tako, da odpreva datoteko *index.html* z brskalnikom.

Najina spletna aplikacija prikazuje Zemljo v središču slike, ostali planeti pa krožijo po svoje. Merkur in Venera krožita okoli Sonca. Sonce kroži okoli Zemlje. Ostali planeti pa krožijo okoli Zemlje po čudni poti, ki je v obliki zank. V resnici vsi planeti delajo zanke, kar predstavlja navidezno gibanje planetov[16].

Videoposnetek najine aplikacije sva prenesla na najino YouTube stran[32].

Na aplikaciji vidimo, da Sonce obkroži Zemljo v dobrih treh sekundah in pol, kar je enako kot prej pri Zemlji okoli Sonca.



Slika 7: Gibanje teles v heliocentričnem modelu, kjer je Zemlja v središču

Ker se telesa v spletnem programu ne gibljejo po krožnici, razen seveda Sonca, je hipoteza ovržena.

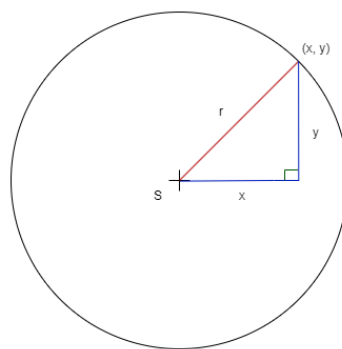
7. DRUGA HIPOTEZA: PLANETI SE GIBLJEJO V HELIOCENTRIČNEM SISTEMU PO KOPERNIKU

Kopernik je predlagal heliocentrični model našega Osončja, kjer planeti krožijo okoli Sonca po pravih krožnicah. Preverila bova Kopernikovo hipotezo, tako da bova poskušala to potrditi s pomočjo knjižnice Astronomy.

Aplikacija bo napisana v Pythonu in bo na zaslon izpisovala številčne vrednosti.

7.1 Ideja potrditve

Pri šolskem predmetu matematika smo definirali pojem krožnica. Krožnica je sklenjena krivulja, ki ima središče, in vse točke na krivulji so od središča enako oddaljene.



Slika 8: Krožnica

Pri uporabi knjižnice Astronomy dobiva X, Y in Z vrednosti od koordinat. Polmer (radij) krožnice izračunava iz Pitagorovega izreka, kjer velja:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

Če bo v celem letu, ko Zemlja obkroži Sonce, razdalja vedno enaka, bo hipoteza potrjena.

7.2 Razvoj programa

Odločila sva se, da bova hipotezo preverila na planetu Zemlja (priloga E).

Najprej naloživa potrebne knjižnice:

- sistemsko knjižnico *sys*,
- matematično knjižnico *math* za izračunavanje kvadratnega korena s funkcijo *sqrt()* in izračunavanje kvadrata s funkcijo *pow()* in

- astronomsko knjižnico *Astronomy*, iz katere potrebujeva objekt *Body* za nebesna telesa, objekt *Time* za časovne operacije, objekt *HelioVector* za koordinate in hitrosti teles ter konstanto *KM_PER_AU* za pretvarjanje med kilometrom in astronomsko enoto.

Program začne izračunavanje s 1. januarjem 2024 in izračunava vrednosti za naslednjih 31.536.000 sekund (365 dni).

Med izvajanjem programa iščeva datum, vse tri koordinate in oddaljenost Zemlje od Sonca, ko je Zemlja najbližje in najdlje od Sonca. Razdaljo prikazuje v astronomskih enotah. Vsak novi izračun se izvede za eno sekundo kasneje.

Pri tem programu sva tudi preverila, kdaj je Zemlja najbližje Soncu in kdaj je najdlje oddaljena od njega.

Postopek programa:

1. Čas nastaviva na 1. 1. 2024.
2. Ponoviva 31.536.000-krat:
 - a. Izračunava lokacijo Zemlje.
 - b. Iz lokacije izračunava razdaljo do Sonca.
 - c. Izpiševa čas, koordinate Zemlje in razdaljo.
 - d. Čas povečava za eno sekundo.

7.3 Rezultat programa

Aplikacijo zaženeva z ukazom:

```
python hipoteza2.py
```

Rezultate izračunov vidiva v prilogi F.

Zemlja je najbližje Soncu 3. januarja 2024 ob 00:38:25, ko je oddaljenost 0,9833008 astronomske enote, najdlje pa je 5. julija ob 04:43:09, ko je oddaljenost 1,0167289 astronomske enote.

Iz tega sledi, da se Zemlja ne giblje po krožnici in zato hipoteza ne drži.

Prav tako vidimo, da Zemlja ni najbližje Soncu, ko je poletje, in da so letni časi odvisni od naklona Zemlje in ne od oddaljenosti od Sonca.

Iz razmerja najkrajše razdalje z najdaljšo lahko tudi na hitro izračunava, da je najmanjša razdalja za 3,289 % krajša od najdaljše razdalje.

8. TRETJA HIPOTEZA: PLANETI SE GIBLJEJO V HELIOCENTRIČNEM SISTEMU PO KEPLERJU

Kepler je predlagal heliocentrični model našega Osončja, kjer planeti krožijo okoli Sonca po pravih elipsah, kjer je Sonce v enem od dveh gorišč. Pri tem bi rada omenila, da je krožnica v resnici elipsa, kjer sta obe gorišči združeni v eno točko, ki se imenuje središče krožnice.

Preverila bova Keplerjevo hipotezo, tako da bova poskušala to potrditi s pomočjo knjižnice Astronomy.

Aplikacija bo prav tako napisana v Pythonu in bo izpisovala številčne vrednosti na zaslon.

8.1 Prva ideja potrditve

Python ima knjižnico Turtle, s katero lahko riševa na zaslon. Ker lahko s knjižnico Astronomy dobiva koordinate Zemlje, lahko riševa pozicijo Zemlje za vsak dan za naslednjih 20 let. Torej morava izrisati 7305 pozicij, če upoštevava še prestopna leta.

8.1.1 Razvoj programa

Odločila sva se, da bova tudi tu hipotezo preverila le na planetu Zemlja (priloga I).

Najprej spet naloživa potrebne knjižnice:

- sistemsko knjižnico sys,
- knjižnica za želvo turtle in
- knjižnico Astronomy, iz katere potrebujeva objekt Body za nebesna telesa, objekt Time za časovne operacije, objekt HelioVector za koordinate in hitrosti teles ter konstanto KM_PER_AU za pretvarjanje med kilometrom in astronomsko enoto.

Zaslon sva nastavila na širino in višino 1000 točk.

Zaslon deluje kot koordinatni sistem, ki ima v sredini zaslona točko (0, 0). To pomeni, da so vrednosti X in Y med -500 in 500.

Na sredini narediva odtis Sonca.

Najprej s pomočjo knjižnice Astronomy dobiva pozicijo Zemlje 1. 1. 2024, nato pa v zanki riševa črte med pozicijami prvega novega leta in trenutnega.

Postopek programa je podoben tistemu pri drugi hipotezi, le da tu izračunava lokacijo Zemlje po dnevih (za 20 let).

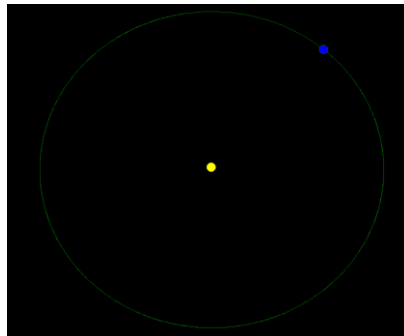
8.1.2 Rezultat programa

Aplikacijo zaženeva z ukazom:

```
python hipoteza3.py
```

Videoposnetek najine aplikacije sva prenesla na najino YouTube stran[33].

Na zaslonu se prikaže kroženje Zemlje okoli Sonca, pri tem pa so odstopanja tako majhna, da je videti, kot da Zemlja kroži po pravilnih elipsah.



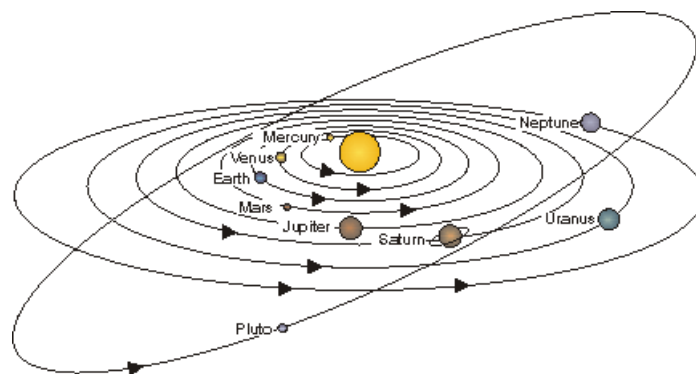
Slika 9: Kroženje Zemlje v Python aplikaciji

Če ne bi poznala rezultatov najine prve ideje, bi lahko rekla, da tretja hipoteza drži.

Če nisva dovolj natančna, bi lahko rekla, da je tretja hipoteza delno potrjena.

8.2 Druga ideja potrditve

Če se nebesno telo giblje po elipsi, bi morala Zemlja po enem letu priti nazaj na isto točko. V najinem programu bova izračunavala koordinate za prvi dan v letu, in to za naslednjih 60 let. Prvi izračun bo za 1. 1. 2024. Pri tem bova pazila, da je eno Zemljino leto dolgo 365,256 dni, zato imava vsaka 4 leta prestopni dan.



Slika 10: Gibanje po elipsi

8.2.1 Razvoj programa

Odločila sva se, da bova tudi tu hipotezo preverila na planetu Zemlja (priloga G).

Najprej spet naloživa potrebne knjižnice:

- sistemsko knjižnico *sys*,
- matematično knjižnico *math* za izračunavanje kvadratnega korena s funkcijo *sqrt()* in izračunavanje kvadrata s funkcijo *pow()* in
- knjižnico *Astronomy*, iz katere potrebujeva objekt *Body* za nebesna telesa, objekt *Time* za časovne operacije, objekt *HelioVector* za koordinate in hitrosti teles ter konstanto *KM_PER_AU* za pretvarjanje med kilometrom in astronomsko enoto.

Program začne izračunavanje s 1. januarjem 2024 in izračunava vrednosti za naslednjih 60 let, kjer čas skače po 365,256 dni.

Izpisujeva datum, vse tri koordinate, oddaljenost Zemlje od Sonca in spremembo pozicije Zemlje po enem letu glede na prvo leto. Razdaljo prikazujeva v astronomskih enotah, za pomoč pa spremembo prikazujeva tudi v kilometrih.

Vsak novi izračun se izvede za eno leto kasneje.

Tudi tu uporabljava Pitagorov izrek.

Postopek programa:

1. Čas nastaviva na 1. 1. 2024.
2. Ustvariva spremenljivke koordinat Zemlje iz prejšnjega leta. Na začetku so 0.
3. Ponoviva 60-krat:
 - a. Izračunava lokacijo Zemlje.
 - b. Če pozna prejšnje koordinate, iz obeh lokacij izračunava razdaljo med letošnjo koordinato in koordinato prvega leta.
 - c. Zapomniva si najdaljšo trenutno spremembo.
 - d. Čas povečava za eno leto, kar je 365,256 dni.

8.2.3 Napaka

Pri knjižnici *Astronomy* naju je zmotilo to, da je natančna do ene kotne minute. Zato sva se odločila, da izračunava, kako natančna sva lahko pri Zemlji.

Praviloma bi morala izračunati napako pri elipsi, česar v devetem razredu še ne znava. Toda ker razdalja med goriščema Zemljine tirnice odstopa le za 3%, bova rekla, da je to kar krožnica. Formula za obseg krožnice je $o = 2\pi r$. Če je razdalja do Sonca 150.000.000 km, potem je obseg 942.477.796 km.

Pri eni stopinji kotne napake bi bila napaka $\frac{1}{360}$ te razdalje, ker pa gre za eno kotno minuto, je ta še 60-krat manjša.

Napaka je zato lahko ± 21.805 km.

8.2.4 Rezultat programa

Aplikacijo zaženeva z ukazom:

```
python hipoteza3.py
```

Rezultate izračunov vidiva v prilogi H.

Opaziva, da so koordinate X, Y in Z vsako leto drugačne, vendar se razdalja od prve koordinate počasi povečuje.

Ugotavljava, da gibanje ni po pravi elipsi, domnevava pa, da je gibanje nek njen približek. Prav tako sprememb lokacij ni možno preprosto določiti po enačbi, ker so razdalje včasih večje, včasih pa manjše.

Predpostavljava, da je to zaradi tega, ker med vsemi nebesnimi telesi deluje gravitacijska sila, ki vpliva na gibanje nebesnih teles okoli Sonca.

Hipoteza ni bila potrjena.

9. ČETRTA HIPOTEZA: VSAKO NEBESNO TELO VPLIVA NA ZEMLJINO TIRNICO

Po Newtonovem gravitacijskem zakonu vsako telo deluje na drugo telo z gravitacijsko silo, saj ima vsako telo svojo maso in ker je med dvema telesoma vedno neka razdalja. V najini četrta hipotezi trdimo, da se planeti zaradi medsebojnega vpliva ne gibljejo po pravih elipsah.

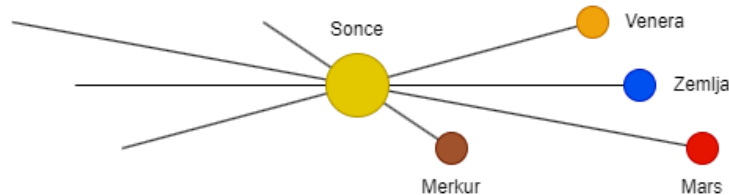
Preverila bova Newtonovo hipotezo, tako da bova poskušala to potrditi s pomočjo knjižnice Astronomy.

Aplikacija bo prav tako napisana v Pythonu in bo izpisovala številčne vrednosti na zaslon.

9.1 Ideja potrditve

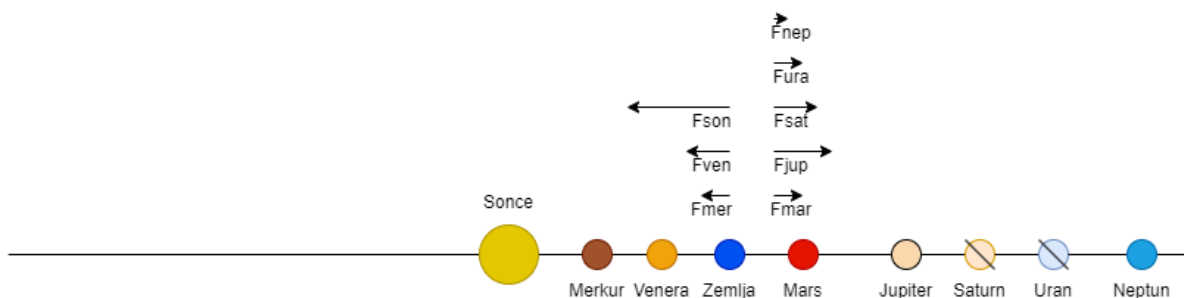
Za potrditev te hipoteze si bova izmislila situacijo, ki se v resnici ne more nikoli zgoditi, lahko pa z njo dobro prikaževa morebitno ovržbo hipoteze.

Krožnice planetov so vedno med seboj nagnjene, zato se ne more nikoli zgoditi, da bi bili vsi planeti na isti strani na skupni osi.



Slika 11: Naklon krožnic notranjih planetov - slika ne izraža pravih naklonov in je namenjena razlagi

V najinem primeru pa bova zaradi najinega omejenega znanja vse planete postavila na isto os in s tem za najine izračune določila naklon krožnic 0° .



Slika 12: Postavitev planetov za najin izračun sil na planet Zemlja

Če bo hipoteza ovržena, potem bo ovržena tudi za drugačne pozicije planetov, ker je sila takrat manjša kot v najinem primeru.

9.2 Razvoj programa

Odločila sva se, da bova uporabila povprečne razdalje planetov od Sonca (priloga J).

Za Newtonov gravitacijski zakon se uporablja naslednja matematična formula:

$$F = k \cdot \frac{m_z \cdot m_{nt}}{r^2}$$

Pri tem je F sila, ki deluje med Zemljo z maso m_z in drugim nebesnim telesom z maso m_{nt} ter je med njima razdalja r . Pri tem je k gravitacijska konstanta, včasih označena tudi kot G .

Za knjižnico sva uporabila le `sys`, saj nisva potrebovala lokacij planetov in njihovih hitrosti.

Za gravitacijsko konstanto sva uporabila vrednost $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

V programu imava vrednosti razdalj Sonca in planetov od Zemlje, njihove mase in smeri sile. Sonce, Merkur in Venera v najinem primeru vlečejo Zemljo v eno smer, ostali planeti pa v drugo.

Za vsako nebesno telo izračunava sile, s katero vlečejo Zemljo. Prav tako izračunava razmerje te sile v primerjavi s Soncem.

9.3 Rezultat programa

Aplikacijo zaženeva z ukazom:

```
python hipoteza4.py
```

Rezultati izračunov se vidijo v prilogi K. Iz izračunov vidiva, da ima Sonce najmočnejšo silo.

Drugi najmočnejši je Jupiter, a njegova sila je 18.484-krat šibkejša od Sončeve sile.

Sledi Venera, katere sila je 31.250-krat šibkejša od Sončeve sile.

Pri Saturnu imamo že 256.410-krat šibkejšo silo.

Ostali planeti pa so še šibkejši.

Iz podatkov vidiva, da sile so in imajo nek vpliv na Zemljo, a je ta vpliv res majhen, zato so tudi odstopanja zelo majhna (za 1. januar v naslednjih 20 letih) pri najini tretji hipotezi.

S tem programom in s programom za potrjevanje tretje hipoteze sva potrdila najino četrto hipotezo.

10 TRIDIMENZIONALNI PRIKAZ OSONČJA

Za konec raziskovalne naloge sva hotela razviti še 3D simulacijo našega Osončja na VR očalih. Tako bi lahko videla, kako se planeti v resnici gibljejo.

10.1 Ideja

Pred tremi leti sva napisala raziskovalno nalogo o razvoju igrice z orodjem Unreal Engine 4, predlani pa sva razvila aplikacijo za daljinsko vodenje avtomobila preko VR očal. Ker sva pri tem dobila veliko znanja, sva se odločila, da ga bova ponovno uporabila pri najini simulaciji.

Pri tem sva se odločila naslednje:

1. Razmerje med razdaljami in velikostmi nebesnih teles bo pravo.
2. Aplikacija bo kazala le gibanje planetov okoli Sonca, ne pa rotacije planetov, njihovega naklona in reliefa.
3. En dan bo trajal eno desetinko sekunde.
4. Poskušala bova izvesti upravljanje pogleda.

10.2 VR očala

Za VR očala (očala za navidezno resničnost) sva uporabila Meta Quest 2[34]. Ta VR očala imajo to prednost, da so cenovno ugodna, za operacijski sistem pa uporabljajo Android. Zato omogočajo zagon 3D aplikacij brez zunanega računalnika in USB kabla.



Slika 13: Meta Quest 2 VR očala

10.3 Unreal Engine 4

Za razvoj sva izbrala razvojno orodje Unreal Engine 4[35]. To je priljubljeno programersko orodje, ki ga uporablja veliko razvijalcev igrice. Z njim je Epic Games razvil igrico Fortnite, ki je ena izmed najbolj priljubljenih strelskih igrice na svetu. Uporablja pa se tudi drugje, npr. pri snemanju nadaljevanke Mandalorian. Prav tako je eden od dveh najbolj priljubljenih razvojnih orodij za VR očala.

Da lahko uporablja to orodje, je potrebno namestiti naslednje programe:

- Android Studio (SDK in NDK),
- Unreal Engine 4.27,
- Visual Studio 2022 in
- Meta Quest Developer Hub.

Pred razvojem sva opravila dva spletna tečaja za razvoj VR aplikacij na portalu Udemy[36][37].

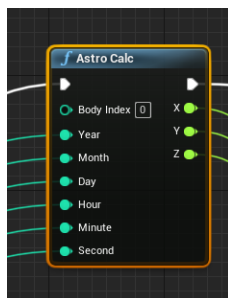
10.4 Razvoj VR aplikacije

Pri razvoju VR aplikacije sva morala narediti naslednje:

1. Razviti vtičnik za knjižnico Astronomy, da sva jo lahko uporabljala kot blueprint. Blueprint je grafična komponenta, ki predstavlja del programa.
2. Ustvariti sva morala vesolje, v katerem bo eno sonce in osem planetov. Nebesna telesa sva predstavila s preprostimi krogli, ki so imele polmer v razmerju s pravimi vrednosti (npr. Sonce je bilo 106-krat večje od Zemlje).
3. Razviti sva morala časovnik, ki vsakokrat izračuna nove koordinate nebesnih teles in jih preračuna na velikost VR zaslona.

10.4.1 Vtičnik za knjižnico Astronomy

Za razvoj vtičnika sva sledila navodilom videoposnetka na YouTube kanalu[38]. Knjižnico Astronomy C sva z zunanjo pomočjo pretvorila v kodo C++ in jo dala v blueprint vtičnik, ki sva ga sama ustvarila in poimenovala Astro Calc. Dobila sva grafično komponento, kateri podava številko nebesnega telesa in datum izračuna, ki ima ločene številke za leto, mesec, dan, uro, minute in sekunde. Komponenta vrne koordinate nebesnega telesa: X, Y in Z.

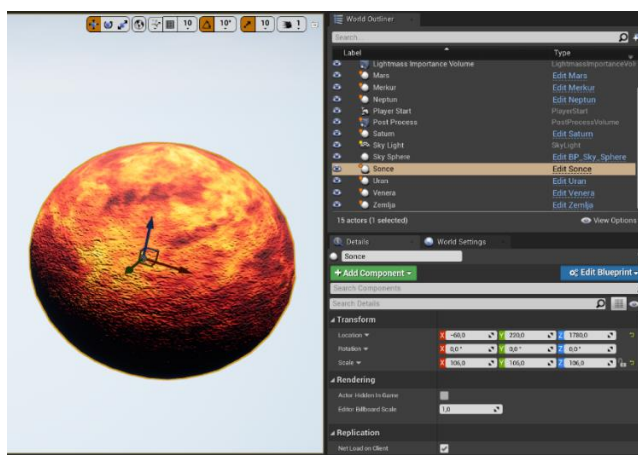


Slika 14: Najina grafična komponenta Astro Calc za izračun koordinate nebesnega telesa

Vrednosti za izbrano nebesno telo so 0 za Sonce, 1 za Merkur, 2 za Venero, 3 za Zemljo, 4 za Mars, 5 za Jupiter, 6 za Saturn, 7 za Uran in 8 za Neptun.

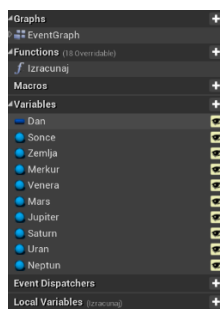
10.4.2 Vesolje

Vesolje predstavlja stopnjo (level) v razvojnem okolju Unreal Engine 4. To okolje je namenjeno predvsem razvoju igrice, zato ima nenavadno poimenovane komponente. V tem vesolju sva ustvarila 9 nebesnih teles, ki so krogle, in sva jim nastavila velikosti ter barve. Da so ti liki vidni, sva jim dodala svetila, saj pri najini simulaciji Sonce ni vir svetlobe.



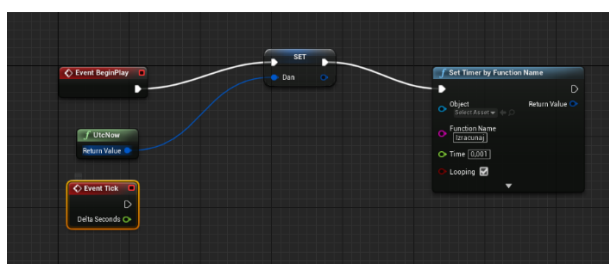
Slika 15: Modeliranje nebesnih teles

Aplikaciji sva dodala globalne spremenljivke za čas in za like vseh nebesnih teles, zato da lahko časovnik (timer) dostopa do njihovih vrednosti.



Slika 16: Globalne spremenljivke

Ko se aplikacija zažene, nastavi čas na današnji dan in uro (Greenwich zimski čas) in nato zažene časovnik, ki v intervalih kliče funkcijo *Izracunaj()*.

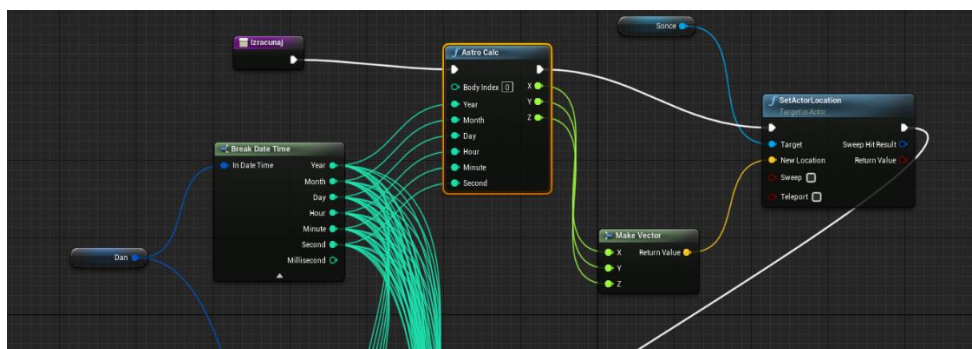


Slika 17: Ob zagonu

10.4.3 Izračunavanja

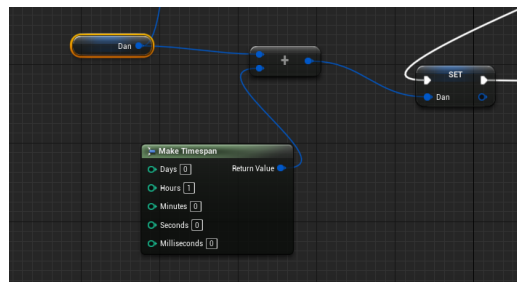
Funkcija za izračunavanje novih koordinat najprej razdeli vrednost časa na posamezne komponente (leto, mesec, dan, ura, minute in sekunde), ki jih uporabi v najini komponenti Astro Calc. To komponento pokliče 9-krat, za vsako nebesno telo enkrat, pri tem pa Body Index uporablja številko nebesnega telesa.

X, Y in Z iz te komponente pretvoriva v vektor, jih po potrebi preračunava v točke in nastaviva najini kroglji, ki predstavlja nebesno telo.



Slika 18: Izračunavanje novih koordinat nebesnega telesa

Na koncu povečava čas za eno uro.



Slika 19: Povečanje časa

Na koncu sva dodala še možnost gibanja po vesolju.

11 ZAKLJUČEK

Raziskovalna naloga je bila za naju kar velik izziv, saj sva bila omejena z znanjem 9. razreda, hotela pa sva tudi uporabiti in razširiti najino znanje iz računalništva (programiranja), ki sva ga pridobila na poletnem taboru ZOTKS-a.

Najprej sva predelala teorijo: kakšno je naše Osončje, kako se planeti gibljejo okoli Sonca ter kako smo ljudje razumeli Osončje v preteklosti in kako ga razumemo zdaj.

Poskušala sva potrditi hipoteze treh svetovno znanih znanstvenikov iz naše zgodovine (Ptolemaja iz starega veka, Kopernika in Keplerja) oz. jih ovreči. Za konec sva dodala še eno hipotezo, s katero sva hotela preveriti, ali planeti ne vplivajo na gibanje drug drugega, kar bi pomenilo, da se ne gibljejo po elipsah. Pri tem sva se držala Newtonovega gravitacijskega zakona.

Te hipoteze sva poskušala potrditi s pomočjo napisanih programov v JavaScriptu in Pythonu ter ročnega izračunavanja. Obe hipotezi, Ptolemajevo in Kopernikovo, sva uspešno ovrgla. Zaradi nenatančnosti računalniške knjižnice Astronomy pa nisva mogla niti potrditi niti ovreči Keplerjeve hipoteze. Dokazala sva tudi, da vsa nebesna telesa vplivajo drugo na drugega, toda Sonce je zdaleč najmočnejše pri silah, saj ima 98% vse mase našega Osončja.

V raziskovalni nalogi sva ugotovila, da je gibanje mnogo bolj kompleksno. Pri tem sva spremljala gibanja planetov v najinih simulacijah. Zanimalo naju je, kako ostala nebesna telesa vplivajo drugo na drugega, kar je glavni razlog za ovržbo Keplerjevih zakonov.

Na koncu nama je uspelo razviti 3D aplikacijo za VR očala, ki prikazuje, kako se planeti v resnici gibljejo okoli Sonca.

- [1] Osončje – Wikipedija. Dosegljivo: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Oson%C4%8Dje>. Zadnji popravek: 2022. [Dostopno: 21.1.2023]
- [2] Sonce – Wikipedija. Dosegljivo: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Sonce>. Zadnji popravek: 2022. [Dostopno: 21.1.2023]
- [3] Jedrsko zlivanje – Wikipedija. Dosegljivo: https://sl.wikipedia.org/wiki/Jedrsko_zlivanje. Zadnji popravek: 2023. [Dostopno: 21.1.2023]
- [4] Merkur – Wikipedija. Dosegljivo: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Merkur>. Zadnji popravek: 2023. [Dostopno: 22.1.2023]
- [5] Venera – Wikipedija. Dosegljivo: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Venera>. Zadnji popravek: 2022. [Dostopno: 22.1.2023]
- [6] Zemlja – Wikipedija. Dosegljivo: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Zemlja>. Zadnji popravek: 2022. [Dostopno: 22.1.2023]
- [7] Mars – Wikipedija. Dosegljivo: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Mars>. Zadnji popravek: 2022. [Dostopno: 22.1.2023]
- [8] Jupiter – Wikipedija. Dosegljivo: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Jupiter>. Zadnji popravek: 2022. [Dostopno: 22.1.2023]
- [9] Saturn – Wikipedija. Dosegljivo: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Saturn>. Zadnji popravek: 2022. [Dostopno: 22.1.2023]
- [10] Uran – Wikipedija. Dosegljivo: [https://sl.wikipedia.org/wiki/Uran_\(planet\)](https://sl.wikipedia.org/wiki/Uran_(planet)). Zadnji popravek: 2023. [Dostopno: 22.1.2023]
- [11] Neptun – Wikipedija. Dosegljivo: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Neptun>. Zadnji popravek: 2023. [Dostopno: 22.1.2023]
- [12] Pritlikavi planet – Wikipedija. Dosegljivo: https://sl.wikipedia.org/wiki/Pritlikavi_planet. Zadnji popravek: 2022. [Dostopno: 22.1.2023]
- [13] Komet – Wikipedija. Dosegljivo: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Komet>. Zadnji popravek: 2022. [Dostopno: 22.1.2023]
- [14] Asteroid – Wikipedija. Dosegljivo: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Asteroid>. Zadnji popravek: 2021. [Dostopno: 22.1.2023]
- [15] Meteoroid – Wikipedija. Dosegljivo: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Meteoroid>. Zadnji popravek: 2022. [Dostopno: 22.1.2023]
- [16] Avsec, F. in Prosen, M. (1971). *Astronomija za 4. razred gimnazije*. Ljubljana: DZS.
- [17] Hawking, S. (2005). *Na ramenih velikanov*. Tržič: Učila International, založba, d.o.o.
- [18] Nikolaj Kopernik – Wikipedija. Dosegljivo: https://sl.wikipedia.org/wiki/Nikolaj_Kopernik. Zadnji popravek: 2022. [Dostopno: 22.1.2023]

- [19] Galileo Galilei – Wikipedija. Dosegljivo: https://sl.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei. Zadnji popravek: 2023 [Dostopno: 22.1.2023]
- [20] Galileo Galilei – Wikipedija. Dosegljivo: https://sl.wikipedia.org/wiki/Johannes_Kepler. Zadnji popravek: 2020 [Dostopno: 22.1.2023]
- [21] Isaac Newton – Wikipedija. Dosegljivo: https://sl.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton. Zadnji popravek: 2022 [Dostopno: 22.1.2023]
- [22] Astronomy– Github. Dosegljivo: <https://github.com/cosinekitty/astronomy>. Zadnji popravek: 2022 [Dostopno: 22.1.2023]
- [23] How to compute planetary positions – Spletna stran. Dosegljivo: <http://www.stjarnhimlen.se/comp/ppcomp.html>. [Dostopno: 22.1.2023]
- [24] Duffett-Smith, P. (1988). Practical Astronomy with your Calculator 3rd Edition. Cambridge: Cambridge University Press.
- [25] Pfleger, T. (2000). Astronomy on the Personal Computer 4th Edition. ZDA: Springer
- [26] NOVAS C 3.1 – Github. Dosegljivo: <https://github.com/indigo-astronomy/novas>. Zadnji popravek: 2022 [Dostopno: 22.1.2023]
- [27] VSOP model – Wikipedija. Dosegljivo: https://en.wikipedia.org/wiki/VSOP_model. Zadnji popravek: 2023 [Dostopno: 22.1.2023]
- [28] Horizons System – Spletna stran. Dosegljivo: <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons/>. [Dostopno: 22.1.2023]
- [29] deGrasse Tyson, N. (2018). Astrofizika za vse, ki se jim mudi. Tržič: Učila International, založba, d.o.o.
- [30] GitHub stran Svita Verhovška – Spletna stran. Dosegljivo: <https://github.com/svitv/osoncje.git>. [Dostopno: 22.1.2023]
- [31] YouTube stran Svita Verhovška – Heliocentrični model našega Osončja. Dosegljivo: <https://www.youtube.com/watch?v=2GsoqDS04ck>. [Dostopno: 22.1.2023]
- [32] YouTube stran Svita Verhovška – Heliocentrični model našega Osončja – Zemlja je v središču. Dosegljivo: <https://www.youtube.com/watch?v=QMH3TVHBrRY>. [Dostopno: 22.1.2023]
- [33] YouTube stran Svita Verhovška – Kroženje Zemlje okoli Sonca v 2D z uporabo knjižnice Astronomy in jezika Python. Dosegljivo: <https://youtu.be/cekkf9qwJVM>. [Dostopno: 22.1.2023]
- [34] Meta Quest 2. Dosegljivo: <https://www.meta.com/quest/products/quest-2/>. [Dostopno: 22.1.2023]
- [35] Unreal Engine. Dosegljivo: <https://www.unrealengine.com/en-US>. [Dostopno: 22.1.2023]
- [36] Udemy - Unreal Engine Blueprints: The Ultimate Developer Course. Stephen Ulibarri. Dosegljivo: <https://www.udemy.com/course/unreal-engine-blueprints-the-ultimate-developer-course/>. [Dostopno: 22.1.2023]

[37] Udemy - Unreal Engine VR Development Fundamentals. Tevfik Ufuk Demirbas. Dosegljivo: <https://www.udemy.com/course/unreal-engine-vr-development-fundamentals/>. [Dostopno: 22.1.2023]

[38] YouiTube stran - Unreal Engine: How to expose C++ functions to Blueprints. Valsogard Enterprise. Dosegljivo: <https://www.youtube.com/watch?v=rBP3Lz5tmP0>. [Dostopno: 22.1.2023]

PRILOGA B: PODATKI O PLANETIH NAŠEGA OSONČJA

Ime	Obhodni čas (zemelj. leto)	Oddaljenost od Sonca (a.e.)	Povp. hitrost tira (km/s)	Polmer ekv. (km)	Masa (razmerje do Zemlje)	Naklon tira (° ')	Naklon ekv. (° ')
Merkur	0,2408	0,3871	47,9	2420	0,054	7°	7°
Venera	0,6152	0,7233	35,0	6200	0,815	3° 24'	2°
Zemlja	1	1	28,8	6378	1	0° 0'	23° 27'
Mars	1,8809	1,5237	24,1	3380	0,108	1° 51'	25° 12'
Jupiter	11,8622	5,2028	13,1	71350	317,8	1° 18'	3° 7'
Saturn	29,4577	9,540	9,6	60400	95,2	2° 29'	26° 45'
Uran	84,013	19,18	6,8	23800	14,5	0° 46'	98°
Neptun	164,79	30,07	5,4	22200	17,2	1° 46'	29°

PRILOGA C: JAVASCRIPT APLIKACIJA ZA PRIKAZ ANIMACIJE OSONČJA V HELIOCENTRIČNIH KOORDINATAH ZA TEST KNJIŽNICE

Datoteka main.js

```
// Globalne spremenljivke za risanje
var canvas, context, sun, mer, v, e, mar, j, sat, u, n;

// Fizikalni podatki o nebesnih telesih
var sunX = 0, sunY = 0, sunRotation = 0;
var merX = 0, merY = 0, merRotation = 0;
var vX = 0, vY = 0, vRotation = 0;
var eX = 0, eY = 0, eRotation = 0;
var marX = 0, marY = 0, marRotation = 0;
var jX = 0, jY = 0, jRotation = 0;
var satX = 0, satY = 0, satRotation = 0;
var uX = 0, uY = 0, uRotation = 0;
var nX = 0, nY = 0, nRotation = 0;

// Stanja nebesnih teles od knjižnice Astronomy
var sunState, mercuryState, venusState, earthState, marsState, jupiterState, saturnState,
uranusState, neptuneState;

// Čas zdaj
var watchDate = new Date();

// Izračuna ponovno fizikalne podatke
function setXY() {
    sunState = Astronomy.HelioState("Sun", watchDate);
    mercuryState = Astronomy.HelioState("Mercury", watchDate);
    venusState = Astronomy.HelioState("Venus", watchDate);
    earthState = Astronomy.HelioState("Earth", watchDate);
    marsState = Astronomy.HelioState("Mars", watchDate);
    jupiterState = Astronomy.HelioState("Jupiter", watchDate);
    saturnState = Astronomy.HelioState("Saturn", watchDate);
    uranusState = Astronomy.HelioState("Uranus", watchDate);
    neptuneState = Astronomy.HelioState("Neptune", watchDate);
}

// Funkcijo pokliče časovnik za spremembo časa za +1 dan in ponovni izračun fizikalnih
// podatkov
function nextCalc() {
    watchDate.setDate(watchDate.getDate() + 1);
    setXY();
}

// Glavna funkcija
function main() {
    // Naloži slike
    canvas = document.getElementById("canvas");
    context = canvas.getContext("2d");

    e = document.createElement("img");
    e.src = "data/earth.png";
    e.height = 10
    e.width = 10

    v = document.createElement("img");
    v.src = "data/venus.png";
    v.height = 10
    v.width = 10

    mar = document.createElement("img");
    mar.src = "data/mars.png";
    mar.height = 10
    mar.width = 10

    mer = document.createElement("img");
    mer.src = "data/mercury.png";
```

```

mer.height = 10
mer.width = 10

j = document.createElement("img");
j.src = "data/jupiter.png";
j.height = 10
j.width = 10

sat = document.createElement("img");
sat.src = "data/saturn.png";
sat.height = 10
sat.width = 10

n = document.createElement("img");
n.src = "data/neptune.png";
n.height = 10
n.width = 10

u = document.createElement("img");
u.src = "data/uranus.png";
u.height = 10
u.width = 10

sun = document.createElement("img");
sun.src = "data/sun.png";
sun.width = 10;
sun.height = 10;

    // Začni animaciju
    setXY();
    setInterval(nextCalc, 10);
    tick();
}

// Časovnik
function tick() {
    // Izrisovanje
    update();
    draw();
    requestAnimationFrame(tick);
}

function update() {
}

// Izris
function draw() {
    context.fillStyle = "Black";
    context.fillRect(0, 0, canvas.width, canvas.height);

    drawImageRotated(context, sun, 26 * sunState.x + canvas.width / 2 - sun.width / 2,
        26 * sunState.y + canvas.height / 2 - sun.height / 2, sun.width, sun.height,
        sunRotation);
    drawImageRotated(context, mer, 26 * mercuryState.x + canvas.width / 2 - mer.width/2,
        26 * mercuryState.y + canvas.height / 2 - mer.height / 2, mer.width, mer.height,
        merRotation);
    drawImageRotated(context, v, 26 * venusState.x + canvas.width / 2 - v.width / 2,
        26 * venusState.y + canvas.height / 2 - mer.height/2, v.width, v.height, vRotation);
    drawImageRotated(context, e, 26 * earthState.x + canvas.width / 2 - e.width / 2,
        26 * earthState.y + canvas.height / 2 - e.height / 2, e.width, e.height, eRotation);
    drawImageRotated(context, mar, 26 * marsState.x + canvas.width / 2 - mar.width/2,
        26 * marsState.y + canvas.height / 2 - mar.height/2, mar.width, mar.height,
        marRotation);
    drawImageRotated(context, j, 26 * jupiterState.x + canvas.width / 2 - j.width/2,
        26 * jupiterState.y + canvas.height / 2 - j.height/2, j.width, j.height, jRotation);
    drawImageRotated(context, sat, 26 * saturnState.x + canvas.width / 2 - sat.width/2,
        26 * saturnState.y + canvas.height / 2 - sat.height/2, sat.width, sat.height,
        satRotation);
    drawImageRotated(context, u, 26 * uranusState.x + canvas.width / 2 - u.width/2,
        26 * uranusState.y + canvas.height / 2 - u.height/2, u.width, u.height, uRotation);
    drawImageRotated(context, n, 26 * neptuneState.x + canvas.width / 2 - n.width/2,
        26 * neptuneState.y + canvas.height / 2 - n.height/2, n.width, n.height, nRotation);
}

```

PRILOGA D: JAVASCRIPT APLIKACIJA ZA PRIKAZ ANIMACIJE OSONČJA V GEOCENTRIČNIH KOORDINATAH ZA POTRDITEV PRVE HIPOTEZE

Datoteka main.js

```
// Globalne spremenljivke za risanje
var canvas, context, sun, mer, v, e, mar, j, sat, u, n;

// Fizikalni podatki o nebesnih telesih
var sunX = 0, sunY = 0, sunRotation = 0;
var merX = 0, merY = 0, merRotation = 0;
var vX = 0, vY = 0, vRotation = 0;
var eX = 0, eY = 0, eRotation = 0;
var marX = 0, marY = 0, marRotation = 0;
var jX = 0, jY = 0, jRotation = 0;
var satX = 0, satY = 0, satRotation = 0;
var uX = 0, uY = 0, uRotation = 0;
var nX = 0, nY = 0, nRotation = 0;

// Stanja nebesnih teles od knjižnice Astronomy
var sunState, mercuryState, venusState, earthState, marsState, jupiterState, saturnState,
uranusState, neptuneState;

// Čas zdaj
var watchDate = new Date();

// Izračuna ponovno fizikalne podatke - Zemlja je v srediču koordinatnega sistema
function setXY() {
    sunState = Astronomy.HelioState("Sun", watchDate);
    mercuryState = Astronomy.HelioState("Mercury", watchDate);
    venusState = Astronomy.HelioState("Venus", watchDate);
    earthState = Astronomy.HelioState("Earth", watchDate);
    marsState = Astronomy.HelioState("Mars", watchDate);
    jupiterState = Astronomy.HelioState("Jupiter", watchDate);
    saturnState = Astronomy.HelioState("Saturn", watchDate);
    uranusState = Astronomy.HelioState("Uranus", watchDate);
    neptuneState = Astronomy.HelioState("Neptune", watchDate);
}

// Funkcijo pokliče časovnik za spremembo časa za +1 dan in ponovni izračun fizikalnih
// podatkov
function nextCalc() {
    watchDate.setDate(watchDate.getDate() + 1);
    setXY();
}

// Glavna funkcija
function main() {
    // Naloži slike
    canvas = document.getElementById("canvas");
    context = canvas.getContext("2d");

    e = document.createElement("img");
    e.src = "data/earth.png";
    e.height = 10
    e.width = 10

    v = document.createElement("img");
    v.src = "data/venus.png";
    v.height = 10
    v.width = 10

    mar = document.createElement("img");
    mar.src = "data/mars.png";
    mar.height = 10
    mar.width = 10

    mer = document.createElement("img");
    mer.src = "data/mercury.png";
```

```

mer.height = 10
mer.width = 10

j = document.createElement("img");
j.src = "data/jupiter.png";
j.height = 10
j.width = 10

sat = document.createElement("img");
sat.src = "data/saturn.png";
sat.height = 10
sat.width = 10

n = document.createElement("img");
n.src = "data/neptune.png";
n.height = 10
n.width = 10

u = document.createElement("img");
u.src = "data/uranus.png";
u.height = 10
u.width = 10

sun = document.createElement("img");
sun.src = "data/sun.png";
sun.width = 10;
sun.height = 10;

// Začni animacijo
setXY();
setInterval(nextCalc, 10);
tick();
}

// Časovnik
function tick() {
    // Izrisovanje
    update();
    draw();
    requestAnimationFrame(tick);
}

function update() {
}

// Izris
function draw() {
    context.fillStyle = "White";
    context.fillRect(0, 0, canvas.width, canvas.height);

    deltax = 26 * earthState.x;
    deltay = 26 * earthState.y;

    drawImageRotated(context, sun, 26 * sunState.x + canvas.width / 2 - sun.width / 2 -
        deltax, 26 * sunState.y + canvas.height / 2 - sun.height / 2 - deltay, sun.width,
        sun.height, sunRotation);
    drawImageRotated(context, mer, 26 * mercuryState.x + canvas.width / 2 - mer.width/2 -
        deltax, 26 * mercuryState.y + canvas.height / 2 - mer.height / 2 - deltay, mer.width,
        mer.height, merRotation);
    drawImageRotated(context, v, 26 * venusState.x + canvas.width / 2 - v.width / 2 -
        deltax, 26 * venusState.y + canvas.height / 2 - mer.height/2 - deltay, v.width,
        v.height, vRotation);
    drawImageRotated(context, e, 26 * earthState.x + canvas.width / 2 - e.width / 2 -
        deltax, 26 * earthState.y + canvas.height / 2 - e.height / 2 - deltay, e.width,
        e.height, eRotation);
    drawImageRotated(context, mar, 26 * marsState.x + canvas.width / 2 - mar.width/2 -
        deltax, 26 * marsState.y + canvas.height / 2 - mar.height/2 - deltay, mar.width,
        mar.height, marRotation);
    drawImageRotated(context, j, 26 * jupiterState.x + canvas.width / 2 - j.width/2 -
        deltax, 26 * jupiterState.y + canvas.height / 2 - j.height/2 - deltay, j.width,
        j.height, jRotation);
    drawImageRotated(context, sat, 26 * saturnState.x + canvas.width / 2 - sat.width/2 -
        deltax, 26 * saturnState.y + canvas.height / 2 - sat.height/2 - deltay, sat.width,
        sat.height, satRotation);
    drawImageRotated(context, u, 26 * uranusState.x + canvas.width / 2 - u.width/2 - deltax,
        26 * uranusState.y + canvas.height / 2 - u.height/2 - deltay, u.width, u.height,
        uRotation);
}

```

```
drawImageRotated(context, n, 26 * neptuneState.x + canvas.width / 2 - n.width/2 -  
    deltax, 26 * neptuneState.y + canvas.height / 2 - n.height/2 - deltay, n.width,  
    n.height, nRotation);  
}
```

PRILOGA E: PYTHON APLIKACIJA ZA IZRAČUN KOORDINAT ZEMLJE OKOLI SONCA ZA POTRDITEV DRUGE HIPOTEZE

Datoteka `hipoteza2.py`

```
# Avtorji: Svit Selan, Svit Verhovšek
# OŠ Brinje Grosuplje

import sys
from astronomy import Body, Time, HelioVector, KM_PER_AU
from math import sqrt, pow

# Glavna funkcija
if __name__ == '__main__':
    ura = Time.Parse('2024-01-01T00:00:00.000Z')

    pX = 0
    pY = 0
    pZ = 0

    # Minimalne vrednosti
    minUra = {}
    minX = 0.0
    minY = 0.9
    minZ = 0.0
    minRazdalja = sys.float_info.max

    # Maksimalne vrednosti
    maxUra = {}
    maxX = 0.0
    maxY = 0.0
    maxZ = 0.0
    maxRazdalja = 0.0

    # Izpiši celo leto po koraku ene sekunde
    for x in range(365 * 24 * 60 * 60):
        zemlja = HelioVector(Body.Earth, ura)

        # Razdalja je izračunana po Pitagorovem izreku
        razdalja = sqrt(pow(zemlja.x, 2) + pow(zemlja.y, 2) + pow(zemlja.z, 2))

        if razdalja < minRazdalja:
            minRazdalja = razdalja
            minX = zemlja.x
            minY = zemlja.y
            minZ = zemlja.z
            minUra = ura

        if razdalja > maxRazdalja:
            maxRazdalja = razdalja
            maxX = zemlja.x
            maxY = zemlja.y
            maxZ = zemlja.z
            maxUra = ura

        ura = ura.AddDays(1 / (24 * 60 * 60))
        pX = zemlja.x
        pY = zemlja.y
        pZ = zemlja.z

    # Izpiši za določeni dan
    print('DATUM - MIN          X (AE)          Y (AE)          Z (AE)          RAZDALJA (AE)')
    print('{:} {:.10.7f} {:.10.7f} {:.10.7f} {:.10.7f}'.format(minUra, minX, minY, minZ,
minRazdalja))
    print("")
    print('DATUM - MAX          X (AE)          Y (AE)          Z (AE)          RAZDALJA (AE)')
    print('{:} {:.10.7f} {:.10.7f} {:.10.7f} {:.10.7f}'.format(maxUra, maxX, maxY, maxZ,
maxRazdalja))
    sys.exit(0)
```

PRILOGA F: REZULTATI PYTHON APLIKACIJE ZA IZRAČUN KOORDINAT ZEMLJE OKOLI SONCA ZA POTRDITEV DRUGE HIPOTEZE

DATUM - MIN	X (AE)	Y (AE)	Z (AE)	RAZDALJA (AE)
2024-01-03T00:38:25.013Z	-0.2006836	0.8831929	0.3828537	0.9833008
DATUM - MAX	X (AE)	Y (AE)	Z (AE)	RAZDALJA (AE)
2024-07-05T04:43:09.232Z	0.2343793	-0.9077277	-0.3934902	1.0167289

PRILOGA G: PYTHON APLIKACIJA ZA IZRAČUN KOORDINAT ZEMLJE OKOLI SONCA ZA POTRDITEV TRETJE HIPOTEZE (PRVA IDEJA)

Datoteka **hipoteza3.py**

```
# Avtorji: Svit Selan, Svit Verhovšek
# Oš Brinje Grosuplje

import sys

from astronomy import Body, Time, HelioVector, KM_PER_AU
from math import sqrt, pow

if __name__ == '__main__':
    ura = Time.Parse('2024-01-01T00:00:00.000Z')
    pX = 0
    pY = 0
    pZ = 0
    razdalja = 0.0
    maxDelta = 0.0
    delta = 0.0

    print('DATE                X (AE)        Y (AE)        Z (AE)        D (AE)        DELTA (AE)
DELTA* (km)')

    for x in range(60):
        earth = HelioVector(Body.Earth, ura)

        if pX != 0:
            razdalja = sqrt(pow(earth.x, 2) + pow(earth.y, 2) + pow(earth.z, 2))
            delta = sqrt(pow(earth.x - pX, 2) + pow(earth.y - pY, 2) + pow(earth.z - pZ, 2))
        else:
            pX = earth.x
            pY = earth.y
            pZ = earth.z

        if delta > maxDelta:
            maxDelta = delta

        print('{:} {::10.7f} {::10.7f} {::10.7f} {::10.7f} {::10.7f} {::10.7f}'.format(ura,
earth.x, earth.y, earth.z, razdalja, delta, delta * KM_PER_AU))

        ura = ura.AddDays(365.256)

    print('')
    print('Max:', maxDelta * KM_PER_AU)
    sys.exit(0)
```


PRILOGA H: REZULTATI PYTHON APLIKACIJE ZA IZRAČUN KOORDINAT ZEMLJE OKOLI SONCA ZA POTRDITEV TRETJE HIPOTEZE (PRVA IDEJA)

DATE	X (AE)	Y (AE)	Z (AE)	D (AE)	DELTA (AE)	DELTA* (km)
2024-01-01T00:00:00.000Z	-0.1658646	0.8892651	0.3854858	0.0000000	0.0000000	0.0000000
2024-12-31T06:08:38.400Z	-0.1658864	0.8893122	0.3855038	0.9833655	0.0000549	8213.9829896
2025-12-31T12:17:16.800Z	-0.1658939	0.8892834	0.3854889	0.9833348	0.0000346	5183.1874927
2026-12-31T18:25:55.200Z	-0.1658455	0.8892996	0.3854936	0.9833432	0.0000402	6016.5592780
2028-01-01T00:34:33.600Z	-0.1658887	0.8893009	0.3854918	0.9833510	0.0000436	6521.5259784
2028-12-31T06:43:12.000Z	-0.1659215	0.8892602	0.3854717	0.9833118	0.0000588	8803.1573444
2029-12-31T12:51:50.400Z	-0.1658770	0.8893109	0.3854913	0.9833578	0.0000477	7141.2042556
2030-12-31T19:00:28.800Z	-0.1658702	0.8892746	0.3854731	0.9833167	0.0000168	2512.5048314
2032-01-01T01:09:07.200Z	-0.1658215	0.8892328	0.3854526	0.9832627	0.0000633	9464.1557044
2032-12-31T07:17:45.600Z	-0.1657776	0.8893084	0.3854830	0.9833355	0.0000972	14536.9467908
2033-12-31T13:26:24.000Z	-0.1657859	0.8893026	0.3854781	0.9833298	0.0000876	13097.3572423
2034-12-31T19:35:02.400Z	-0.1657447	0.8893108	0.3854792	0.9833307	0.0001285	19223.9195697
2036-01-01T01:43:40.800Z	-0.1657811	0.8893298	0.3854851	0.9833563	0.0001057	15810.2405083
2036-12-31T07:52:19.200Z	-0.1658204	0.8892898	0.3854653	0.9833190	0.0000546	8173.7770356
2037-12-31T14:00:57.600Z	-0.1657468	0.8893506	0.3854893	0.9833710	0.0001457	21790.1887188
2038-12-31T20:09:36.000Z	-0.1657665	0.8893454	0.3854847	0.9833678	0.0001268	18973.2057389
2040-01-01T02:18:14.400Z	-0.1657885	0.8892886	0.3854576	0.9833095	0.0000845	12642.9006429
2040-12-31T08:26:52.800Z	-0.1657855	0.8893458	0.3854800	0.9833695	0.0001132	16931.6686368
2041-12-31T14:35:31.200Z	-0.1658380	0.8893140	0.3854639	0.9833433	0.0000599	8956.3351979
2042-12-31T20:44:09.600Z	-0.1657644	0.8892844	0.3854486	0.9832982	0.0001086	16244.6616338
2044-01-01T02:52:48.000Z	-0.1657334	0.8893188	0.3854611	0.9833289	0.0001439	21520.5055753
2044-12-31T09:01:26.400Z	-0.1657471	0.8892948	0.3854483	0.9833045	0.0001268	18974.2487443
2045-12-31T15:10:04.800Z	-0.1656434	0.8893592	0.3854738	0.9833553	0.0002407	36004.3449550
2046-12-31T21:18:43.200Z	-0.1656725	0.8893714	0.3854767	0.9833723	0.0002197	32873.4004149
2048-01-01T03:27:21.600Z	-0.1656974	0.8893025	0.3854444	0.9833015	0.0001762	26366.5273711
2048-12-31T09:36:00.000Z	-0.1656539	0.8893650	0.3854692	0.9833605	0.0002338	34977.1848448
2049-12-31T15:44:38.400Z	-0.1657031	0.8893618	0.3854654	0.9833644	0.0001893	28322.9309910
2050-12-31T21:53:16.800Z	-0.1656522	0.8893309	0.3854496	0.9833217	0.0002253	33708.1852286
2052-01-01T04:01:55.200Z	-0.1656726	0.8893717	0.3854649	0.9833680	0.0002207	33010.5537556
2052-12-31T10:10:33.600Z	-0.1657614	0.8893296	0.3854442	0.9833368	0.0001286	19234.5699576
2053-12-31T16:19:12.000Z	-0.1656752	0.8893494	0.3854504	0.9833426	0.0002103	31461.5077014
2054-12-31T22:27:50.400Z	-0.1656733	0.8893618	0.3854534	0.9833547	0.0002168	32431.7026448
2056-01-01T04:36:28.800Z	-0.1656615	0.8892955	0.3854222	0.9832805	0.0002150	32163.1025051
2056-12-31T10:45:07.200Z	-0.1655731	0.8893718	0.3854529	0.9833466	0.0003121	46695.4951474
2057-12-31T16:53:45.600Z	-0.1656202	0.8893978	0.3854618	0.9833815	0.0002791	41757.7935550
2058-12-31T23:02:24.000Z	-0.1655891	0.8893516	0.3854393	0.9833257	0.0002925	43757.6950661
2060-01-01T05:11:02.400Z	-0.1655841	0.8893939	0.3854553	0.9833694	0.0003102	46402.4082978
2060-12-31T11:19:40.800Z	-0.1656575	0.8893660	0.3854408	0.9833509	0.0002347	35114.8306710
2061-12-31T17:28:19.200Z	-0.1655572	0.8893821	0.3854454	0.9833503	0.0003315	49584.8279396
2062-12-31T23:36:57.600Z	-0.1655622	0.8894179	0.3854585	0.9833887	0.0003400	50857.1212639
2064-01-01T05:45:36.000Z	-0.1656283	0.8893407	0.3854227	0.9833160	0.0002560	38297.7013869
2064-12-31T11:54:14.400Z	-0.1655786	0.8893794	0.3854370	0.9833482	0.0003119	46656.4184553
2065-12-31T18:02:52.800Z	-0.1656340	0.8893920	0.3854401	0.9833701	0.0002672	39970.1298050
2067-01-01T00:11:31.200Z	-0.1655858	0.8893216	0.3854071	0.9832854	0.0002951	44152.5286959
2068-01-01T06:20:09.600Z	-0.1655074	0.8893779	0.3854292	0.9833318	0.0003789	56678.4625238
2068-12-31T12:28:48.000Z	-0.1655680	0.8893862	0.3854303	0.9833499	0.0003251	48633.1576987
2069-12-31T18:37:26.400Z	-0.1654734	0.8894014	0.3854346	0.9833494	0.0004174	62441.9466948
2071-01-01T00:46:04.800Z	-0.1654752	0.8894500	0.3854532	0.9834010	0.0004323	64673.1502775
2072-01-01T06:54:43.200Z	-0.1655594	0.8893760	0.3854188	0.9833348	0.0003316	49602.8415674
2072-12-31T13:03:21.600Z	-0.1654753	0.8894104	0.3854313	0.9833566	0.0004191	62696.6544129
2073-12-31T19:12:00.000Z	-0.1655239	0.8894523	0.3854470	0.9834089	0.0003907	58447.1109781
2075-01-01T01:20:38.400Z	-0.1655229	0.8893805	0.3854135	0.9833306	0.0003678	55024.7727129
2076-01-01T07:29:16.800Z	-0.1654853	0.8894180	0.3854274	0.9833636	0.0004132	61808.4105656
2076-12-31T13:37:55.200Z	-0.1656008	0.8894091	0.3854211	0.9833726	0.0003074	45991.4440237
2077-12-31T19:46:33.600Z	-0.1655058	0.8893779	0.3854052	0.9833221	0.0003846	57539.5134743
2079-01-01T01:55:12.000Z	-0.1654465	0.8894198	0.3854209	0.9833562	0.0004505	67397.9638031
2080-01-01T08:03:50.400Z	-0.1654867	0.8893675	0.3853959	0.9833058	0.0004017	60095.9191397
2080-12-31T14:12:28.800Z	-0.1653685	0.8894078	0.3854109	0.9833283	0.0005216	78028.3127490
2081-12-31T20:21:07.200Z	-0.1654131	0.8894757	0.3854380	0.9834078	0.0005005	74875.6001574
2083-01-01T02:29:45.600Z	-0.1654369	0.8894036	0.3854043	0.9833335	0.0004569	68358.1465468

Max: 78028.31274902652

PRILOGA I: PYTHON APLIKACIJA ZA IZRIS GIBANJA ZEMLJE OKOLI SONCA ZA POTRDITEV TRETJE HIPOTEZE (DRUGA IDEJA)

Datoteka **hipoteza3.py**

```
# Avtorji: Svit Selan, Svit Verhovšek
# OŠ Brinje Grosuplje

import sys
import turtle

from astronomy import Body, Time, HelioVector, KM_PER_AU
from math import sqrt, pow

if __name__ == '__main__':
    s = turtle.getscreen()
    s.title("Raziskovalna naloga")
    s.bgcolor("black")
    s.setup(1000, 1000)
    turtle.shape("circle")
    turtle.pencolor("white")
    turtle.color("yellow", "yellow")
    turtle.stamp()
    turtle.pensize(1)

    turtle.penup()
    turtle.pencolor("white")
    turtle.color("green", "blue")
    turtle.speed(100)

    ura = Time.Parse('2023-01-01T00:00:00.000Z')
    earth = HelioVector(Body.Earth, ura)
    x = earth.x * 400
    y = earth.y * 400
    turtle.setx(x)
    turtle.sety(y)
    turtle.pendown()

    for x in range(7305):
        ura = ura.AddDays(1)
        earth = HelioVector(Body.Earth, ura)
        x = earth.x * 400
        y = earth.y * 400
        turtle.goto(x, y)

    turtle.done()

    sys.exit(0)
```

PRILOGA J: PYTHON APLIKACIJA ZA IZRAČUN SIL MED ZEMLJO IN DRUGIMI NEBESNIMI TELESI ZA POTRDIČ ČETRTE HIPOTEZE

Datoteka **hipoteza4.py**

```
# Avtorji: Svit Selan, Svit Verhovšek
# OŠ Brinje Grosuplje

import sys

if __name__ == '__main__':
    mz = 5.98E24 # Masa Zemlje
    k = 6.67E-11 # Gravitacijska konstanta

    # Nebesna telesa
    telo = ['Sonce', 'Merkur', 'Venera', 'Mars', 'Jupiter', 'Saturn', 'Uran', 'Neptun']

    # Smeri sile
    smer = [1, 1, 1, -1, -1, -1, -1, -1]

    # Mase nebesnih teles
    masa = [1.99E30, 3.29E23, 4.87E24, 6.39E23, 1.9E27, 5.68E26, 8.68E25, 1.02E26]

    # Razdalje med telesi in Zemljo v a.e.
    razdalja = [1, 0.6129, 0.2767, 0.5237, 4.2028, 8.54, 18.18, 29.07]

    # Rezultati
    sila = [0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0]

    print('TELO          SILA[N]          RAZMERJE S SONCEM')

    for i in range(8):
        sila[i] = (k * mz * masa[i] * smer[i]) / ((razdalja[i] * 150000000000) *
            (razdalja[i] * 150000000000))
        print('{:10} {:14.7e} {:10.7f}'.format(telo[i], sila[i], smer[i] * sila[i]/sila[0]))

    sys.exit(0)
```

PRILOGA K: REZULTATI PYTHON APLIKACIJE ZA IZRAČUN SIL MED ZEMLJO IN DRUGIMI NEBESNIMI TELESI ZA POTRDITEV ČETRTE HIPOTEZE

TELO	SILA[N]	RAZMERJE S SONCEM
Sonce	3.5277482e+22	1.0000000
Merkur	1.5526056e+16	0.0000004
Venera	1.1276002e+18	0.0000320
Mars	-4.1302868e+16	0.0000012
Jupiter	-1.9068681e+18	0.0000541
Saturn	-1.3806293e+17	0.0000039
Uran	-4.6556087e+15	0.0000001
Neptun	-2.1397085e+15	0.0000001