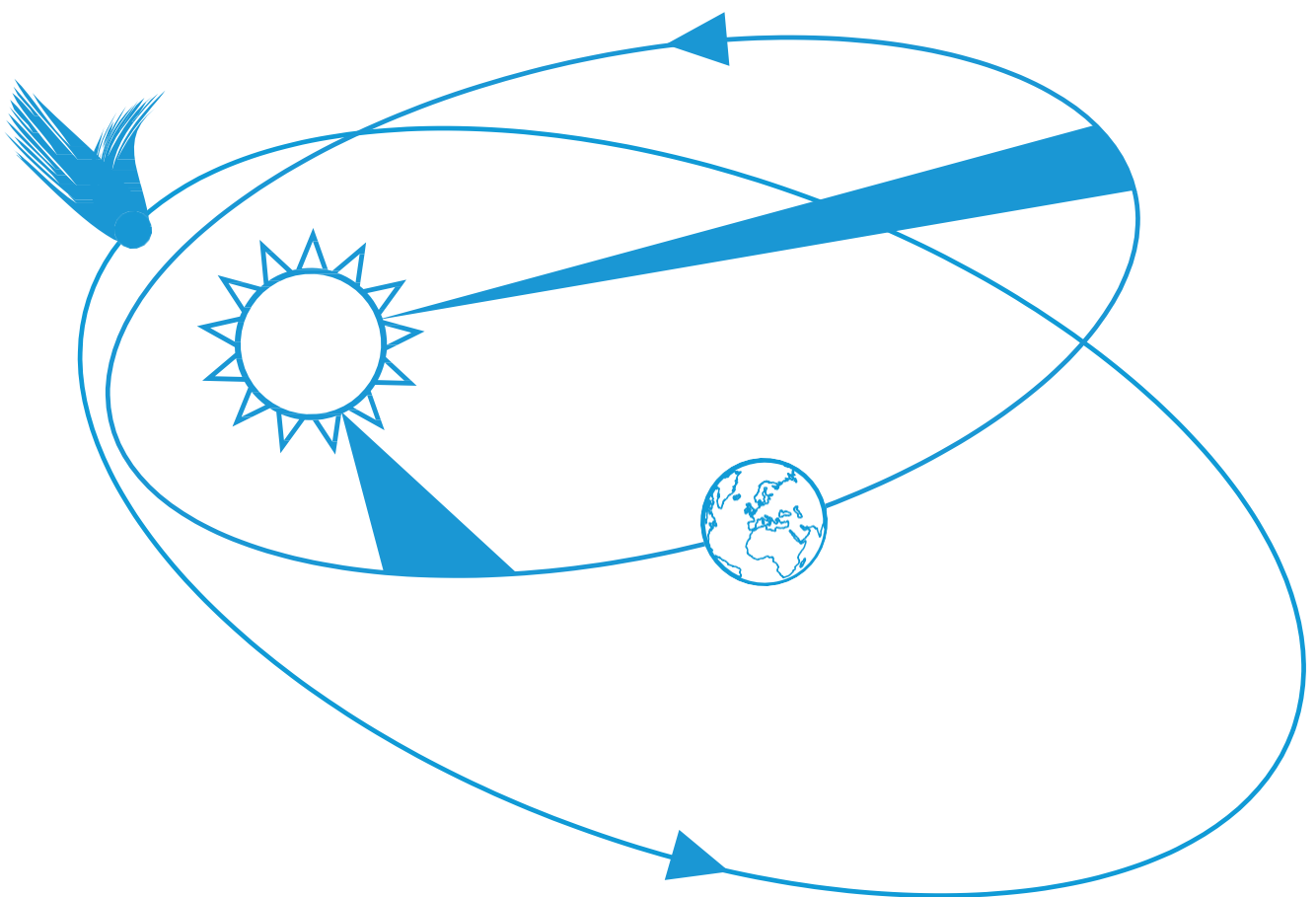


učenje z vesoljem

→ ČUDOVITE ELIPSE

Hitrost in čas kroženja teles



→ UVOD

Da bi razumeli orbite planetov, kometov in drugih nebesnih teles, moramo preučiti načela, kako gravitacija in hitrost predmeta medsebojno vplivata na ustvarjanje orbite. Učenci imajo pogosto napačno predstavo, da so orbite planetov krožne. Ta praktična dejavnost umešča grafe hitrosti in časa v vesolje. Prikazuje, kako se spreminja hitrost objektov v eliptični orbiti, ko krožijo okoli Sonca. Vključena je dodatna dejavnost, ki obravnava geometrijo elips in njihovo povezavo s fizikalnimi parametri v sončnem sistemu.

Pregled	stran 3
Osnovne informacije	stran 4
Dejavnost – Eliptična plošča	stran 12
Razprava	stran 14
Dodatna razprava	stran 16
Zaključek	stran 18
Delovni list za učence	stran 19
Vesoljski kontekst @ ESA	stran 21
Rosetta	stran 21
Mednarodna vesoljska postaja	stran 23
Priloga	stran 26
Navodila za eliptično ploščo	stran 26
Glosar	stran 33
Povezave	stran 34

→ ČUDOVITE ELIPSE

Hitrost in čas kroženja teles

HITRA DEJSTVA

Starostni razpon: 14–16 let

Tip: dejavnost za učence

Zahtevnost: srednja

Čas za pripravo učitelja: 1 ura

Čas za izvedbo dejavnosti: od 15 minut do 1 ure

Strošek: nizek (manj kot 10 evrov)

Kraj: zaprt prostor (katera koli učilnica)

Potrebujete: frnikole, ravnila, brez nevarnih materialov

Učenci bi morali že poznati

1. Pojem kinetične energije in gravitacijske potencialne energije.
2. Koncept vektorja hitrosti.

Učni cilji

1. Učenci bodo sposobni pripraviti graf hitrosti v odvisnosti od časa in ga povezati z idejami o pospešku in razdalji, da bodo razumeli načela orbitalne mehanike.
2. Učenci bodo razumeli, kako se moč gravitacije spreminja z razdaljo od planeta ali zvezde.
3. Učenci bodo to povezali s tem, kako planet ali satelit pospešuje in zavira v eliptični orbiti.

Potrebujete



↑ Videoposnetek čudovitih elips. Oglejte si razdelek s povezavami.

Povezave do učnega načrta

Fizika:

- orbite;
- sateliti;
- kometi;
- planeti;
- zvezde;
- gravitacija (spreminjanje gravitacijske moči z razdaljo);
- Keplerjevi zakoni.

Matematika:

- grafi hitrosti glede na čas;
- površina pod grafom je enaka razdalji;
- gradient na točki, ki je enak pospešku;
- risanje grafov in njihove interpretacije;
- geometrija: elipse, ekscentričnost, velika in mala os.

Povzetek

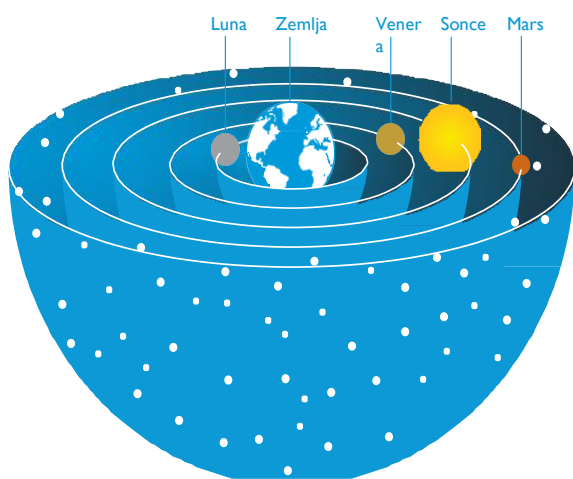
Učenci bodo pri tej dejavnosti uporabili eliptično ploščo za merjenje hitrosti in razdalje za predmet v eliptični orbiti. Rezultate bodo nato izrisali na graf hitrosti glede na čas. Tako bomo razumeli, kako gravitacija vpliva na (ali spreminja) hitrost planeta ali satelita v eliptični orbiti.

→ OSNOVNE INFORMACIJE

Kratka zgodovina geocentrizma

Tisočletja so se filozofi in astronomi prepirali o naravi zgradbe osončja in širše. Pojavila sta se dva nasprotujoča si modela našega Osončja: geocentrični (ali osredotočen na Zemljo) in heliocentrični (ali osredotočen na Sonce).

Slika 1

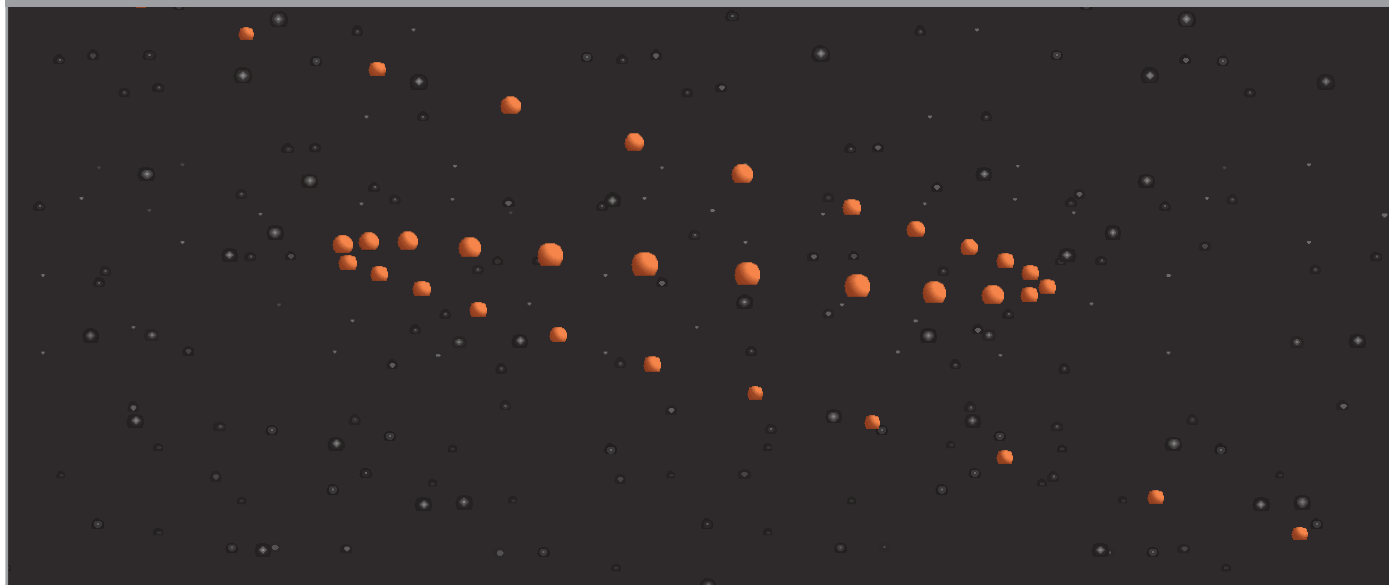


Okoli leta 200 pred našim štetjem je bil starogrški astronom Aristotel zagovornik geocentričnega modela (Slika 1). Predlagal je, da se planeti (in Sonce) gibljejo z enakomernimi hitrostmi po krožnih poteh okoli Zemlje, ki je v središču vesolja.

S tem modelom pa so bile težave. Ob opazovanju Marsa se je ob določenih trenutkih zdelo, da se na čuden način premika po nebu (Slika 2). Namesto da bi nadaljeval svojo pot, se je Mars za kratek čas vrnil nazaj, preden je nadaljeval pot na nebu. Tega učinka ni bilo mogoče razložiti s geocentričnim modelom.

↑ Geocentrični model – Zemlja leži v središču vesolja.

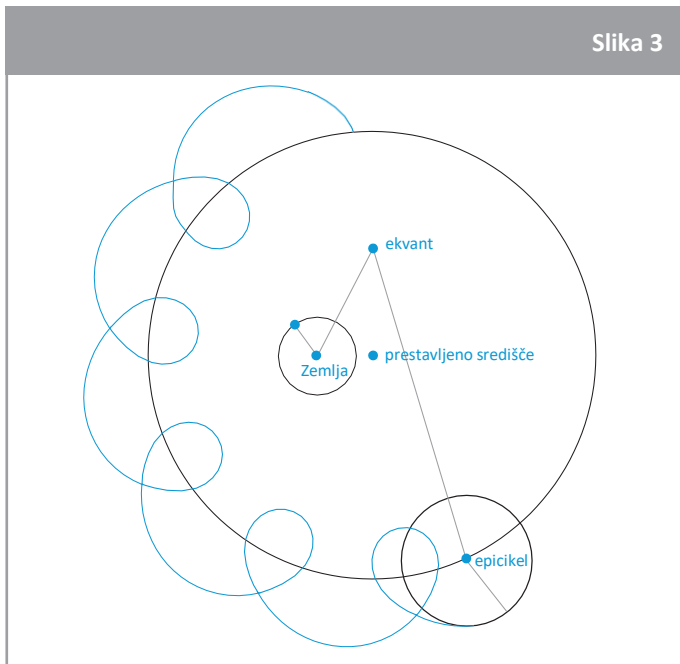
Slika 2



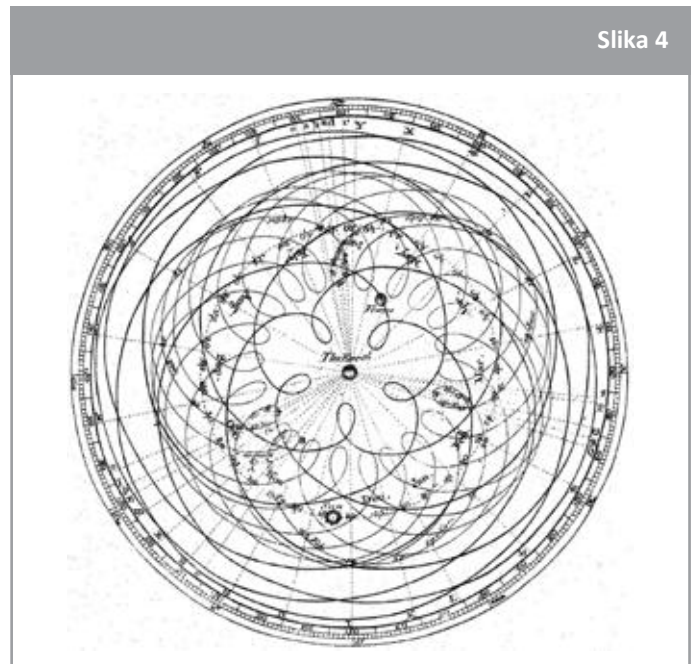
↑ Navidezno gibanje Marsa na nebu med retrogradnim gibanjem. Za animacijo, ki prikazuje gibanje Marsa na nočnem nebu, glejte razdelek Povezave.

Skoraj 400 let pozneje je Ptolemaj predstavil svojo rešitev tega problema. Zemlja je bila še vedno postavljena v središče vesolja, vendar so se planeti po svoji glavni orbitalni poti premikali s sekundarnimi orbitami, imenovanimi epicikli (Slika 3). To bi lahko delno pojasnilo in napovedalo opaženo **retrogradno gibanje***.

Za delovanje tega sistema je moral Ptolemaj zgraditi vrsto zapletenih epiciklov (Slika 4). To je bil res bolj »popravek«, da bi dokazi ustrezali geocentričnemu modelu.



↑ Epicikle lahko uporabimo za razlago retrogradnega gibanja. Za animacije o epiciklih glejte razdelek Povezave.

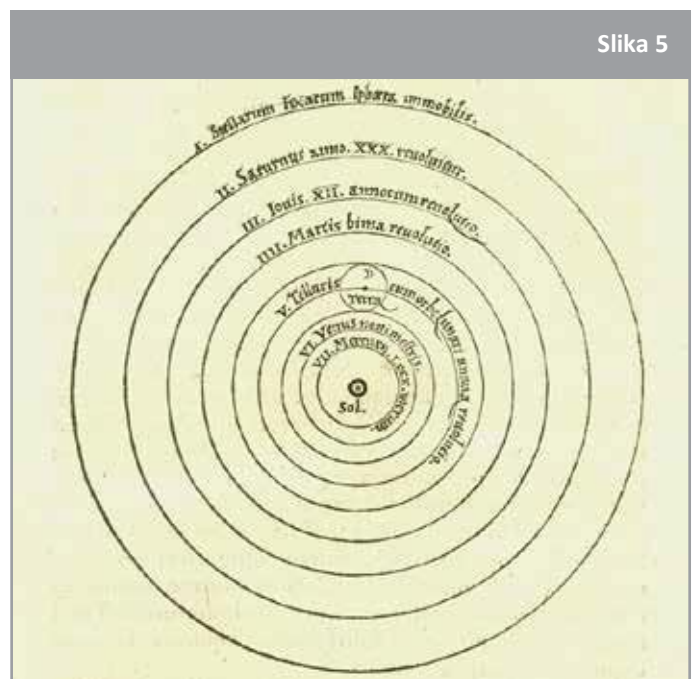


↑ Ptolemajeva celotna rešitev je bila neverjetno zapletena.

Kratka zgodovina heliocentrizma

Leta 1543 je Nikolaj Kopernik objavil delo »De revolutionibus orbium coelestium« (O revolucijah nebesnih sfer), kjer je trdil, da vesolje dejansko sledi heliocentričnemu modelu (Slika 5). S tem se je začela kopernikanska revolucija. Veliki misleci so počasi začeli prevzemati ta revolucionarni model.

Ostala je ena težava. Še vedno je veljalo prepričanje, da imajo vsa telesa krožne orbite, zato tudi heliocentrični model ni mogel pojasniti vseh opazovanj gibanja planetov. Predvsem Marsova orbita še vedno ni ustrezala omejitvam krožne orbite.



***Retrogradno gibanje planeta:** Navidezno gibanje planeta na nočnem nebu v smeri, ki je nasprotna običajnemu opazovanju (progradno gibanje).

Keplerjevo razodetje o naravi orbit

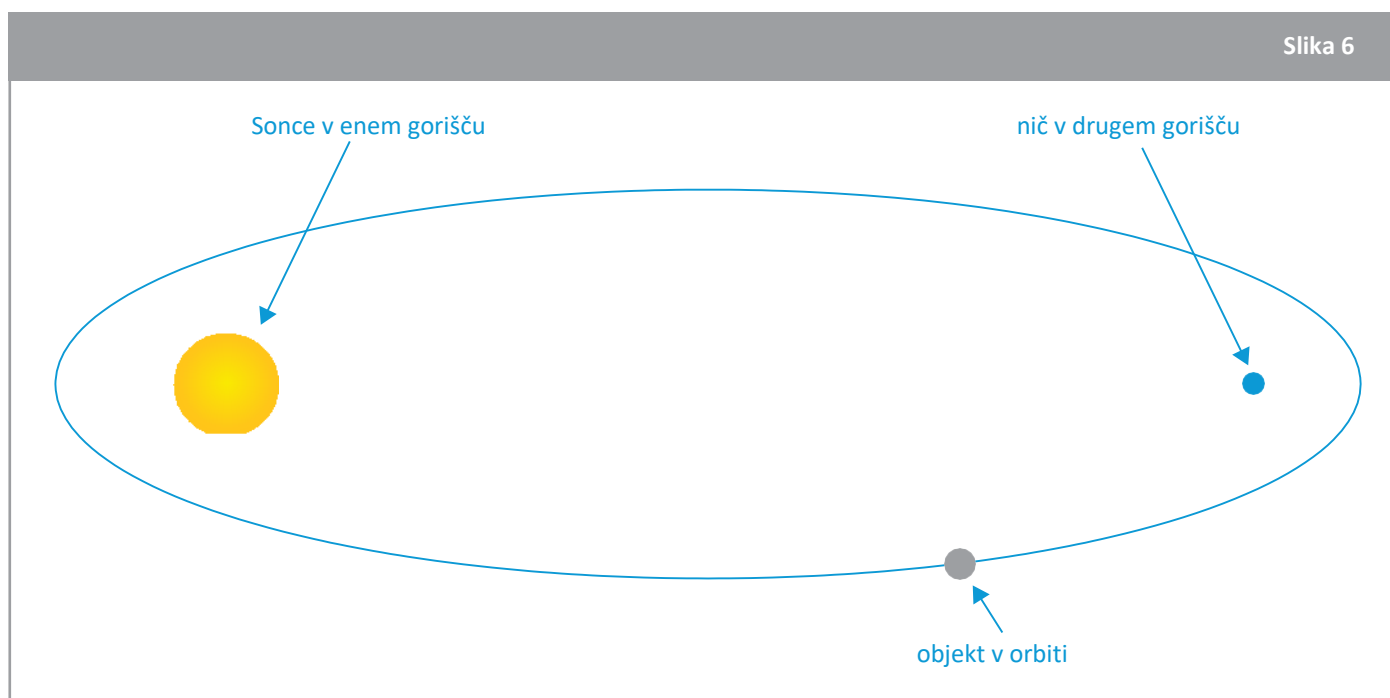
Na začetku 17. stoletja je astronom Johannes Kepler revolucioniral naš pogled na Osončje in naravo orbit. Po natančni analizi podatkov o opazovanem gibanju planeta Mars na nočnem nebu je Kepler ugotovil, da morajo biti orbite planetov eliptične in ne krožne. Z nadaljnjim preučevanjem in izračuni je Keplerju uspelo izpeljati tri zakone, ki veljajo za vse predmete v orbiti.

Keplerjevi zakoni gibanja planetov

Prvi Keplerjev zakon: Planet se okrog Sonca giblje po elipsi, tako da je Sonce v enem od gorišč elipse (Slika 6).

Drugi Keplerjev zakon: Zveznica med Soncem in planetom opiše v enakih časih enake ploščine.

Tretji Keplerjev zakon: Kvadrat **obhodnega časa*** planeta je neposredno sorazmeren s kubom velike polosi orbite.



Slika 6

↑ Kepler je prišel do revolucionarnega odkritja, da so orbite planetov eliptične.

Za dodatne informacije si oglejte animacije Keplerjevega prvega, drugega in tretjega zakona ter izobraževalni videoposnetek ESA ATV-2 Johannes Kepler' v razdelku Povezave.

Pomen teh zakonov za planetarne orbite in raziskovanje sončnega sistema v vodniku a obravnavamo kasneje.

*Obhodni čas: čas, potreben za obhod ene orbite.

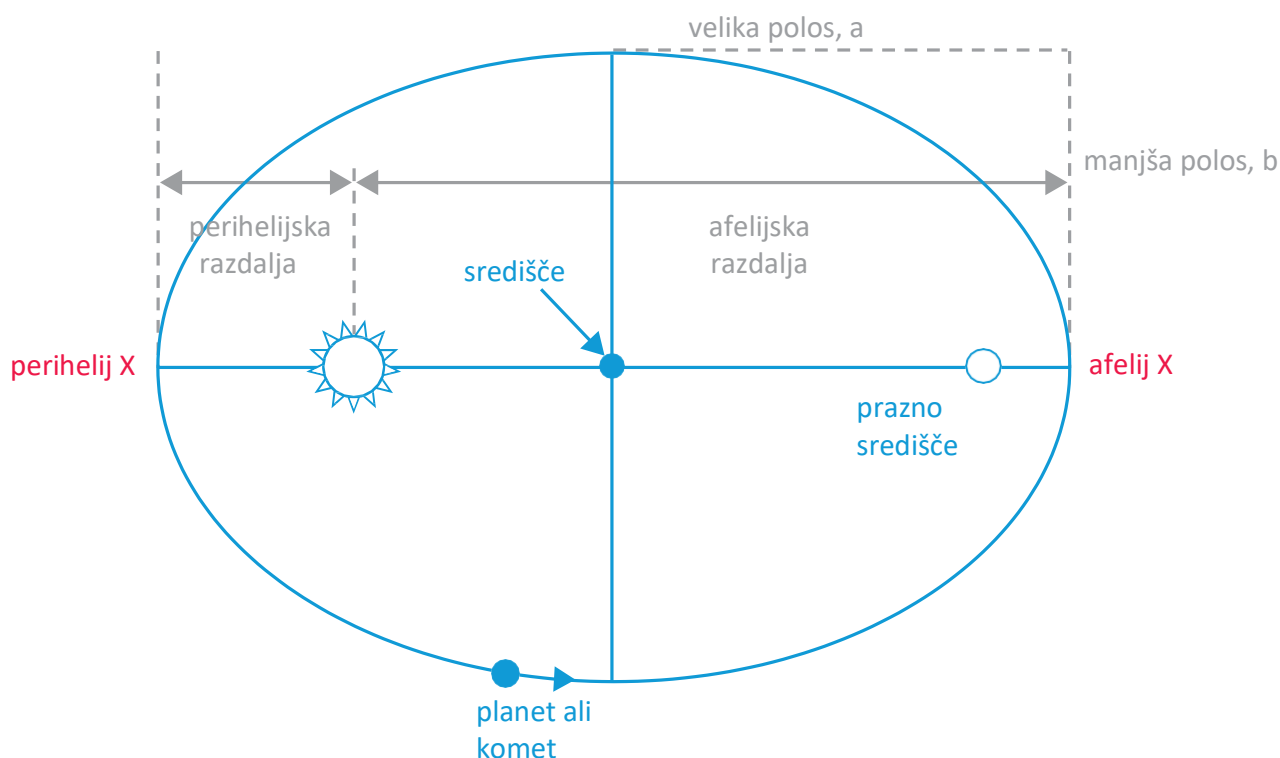
Lastnosti eliptičnih orbit

Za učinkovito analiziranje lastnosti predmeta v orbiti in smiselno uporabo Keplerjevih zakonov moramo definirati nekaj ključnih izrazov:

Osi

Elipsa je krivulja na ravnini, ki obdaja dve gorišči. Vsota razdalje od katere koli točke na elipsi do obeh gorišč vedno ostane enaka. To je mogoče prikazati s kosom vrvice (glejte Sliko A1 v razdelku Dejavnost).

Slika 7



↑ Lastnosti eliptične orbite, vključno z veliko in malo (pol)osjo ter lokacijo perihelija in afelija.

Za razumevanje orbit moramo definirati dve lastnosti – veliko os in malo os (Slika 7). Velika os predstavlja najdaljši premer elipse, ki poteka skozi dve gorišči in središče. Mala os je črta, ki razpolavlja veliko os. Obe črti in ustrezni lokaciji orbitalnega objekta na elipsi igrata pomembno vlogo pri analizi hitrosti in energije orbitalnega objekta.

Druga uporabna izraza za izračun lastnosti orbite sta velika polos in mala polos (Slika 7). Velika polos je polovica dolžine velike osi, mala polos pa polovica dolžine male osi. Za krog sta obe osi enaki, saj predstavljata polmer kroga.

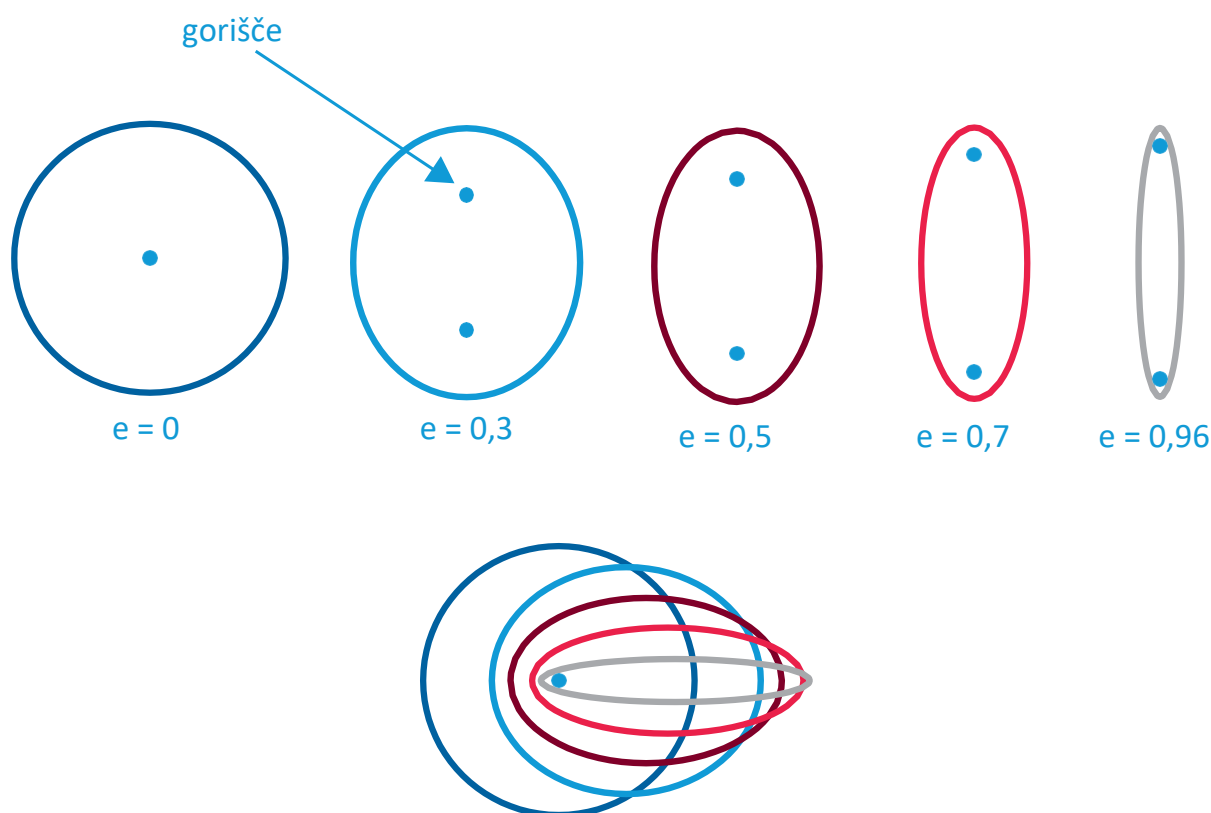
Ekscentričnost

Ekscentričnost je merilo, koliko je elipsa oddaljena od popolne krožnosti (Slika 8). Na Sliki 8 je ekscentričnost označena z »e«.

Krog je posebna elipsa, kjer se dve gorišči prekrivata in ustvarjata eno samo gorišče. Popolni krogi imajo ekscentričnost 0.

Ko postane elipsa bolj ekscentrična, se vrednost »e« poveča. Razpon za eliptično ekscentričnost je: $0 < e < 1$. Parabola ima ekscentričnost 1. Ko je $e > 1$, je krivulja hiperbola.

Slika 8



↑ Ekscentričnost različnih elips. Ko se ekscentričnost poveča, se zdi, da je elipsa bolj »stisnjena«.

Orbitalne lokacije

Ko razmišljamo o energiji in hitrosti orbitalnega predmeta, moramo razmišljati o tem, kje bo imel objekt največjo kinetično energijo (in s tem najmanjšo gravitacijsko potencialno energijo) in kje bo imel objekt najmanjšo kinetično energijo (in s tem največjo gravitacijsko potencialno energijo). Ta točka je dodatno razložena v Dodatni razpravi in na Sliki A5.

Točka, v kateri velika os seka orbitalno pot, ki je najbližja Soncu, je znana kot perihelij (Slika 7). Točka, v kateri velika os seka orbitalno pot, ki je najbolj oddaljena od Sonca, je znana kot afelij.

Kometi

Ena skupina objektov, ki lahko kroži okoli Sonca z visoko eliptičnimi (visoko ekscentričnimi) orbitami, so kometi (Slika 9). Ti majhni, ledeni svetovi izvirajo predvsem iz dveh regij Osončja. Kratkoperiodični kometi (tisti z orbitalno dobo, manjšo od 200 let) izvirajo iz Kuiperjevega pasu, diskaste zbirke zamrznjenih ostankov iz nastanka Osončja tik za orbito Neptuna.

Dolgoperiodični kometi (tisti z orbitalnimi obdobji do več deset tisoč let) naj bi izvirali iz sferičnega haloja ledenega materiala proti robu našega Osončja, znanega kot Oortov oblak. Oortov oblak sega do razdalje več tisoč **astronomskih enot (AU)*** in je predaleč, da bi ga lahko neposredno posneli. Namesto tega moramo dolgoperiodični kometovi orbiti slediti nazaj, da ugotovimo njen izvor (Slika 10).



↑ Fotografija kometa Hale-Bopp, posneta na Hrvaškem.

Kometi bodo okoli Sonca krožili po pretežno stabilnih orbitah. Na objekte Kuiperjevega pasu lahko vplivajo gravitacijska polja planetov velikanov (Jupiter, Saturn, Uran in Neptun), na objekte Oortovega oblaka pa **gravitacijske motnje***, ki so posledica gibanja drugih zvezd. Te motnje lahko občasno spremenijo orbite teh majhnih, hladnih svetov in jih pospešeno pošljejo proti notranjosti Osončja.

Ko se ti predmeti približajo Soncu, se začnejo segrevati in led v njih **sublimira***. Prvotna struktura se zdaj imenuje »jedro«. Ko se jedro segreje, oddaja plin in prah, ki tvorita tanko, a ogromno »atmosfero«, znano kot koma (Slika 11).

Ko se komet še bolj približa Soncu, interakcija kome z naraščajočimi ravnmi sončnega sevanja in sončnega vetra povzroči spektakularne »repe«, s katerimi so kometi najpogostejše povezani. Ob zelo redkih priložnostih so repi dovolj svetli, da jih lahko opazovalec na Zemlji opazi tudi podnevi.

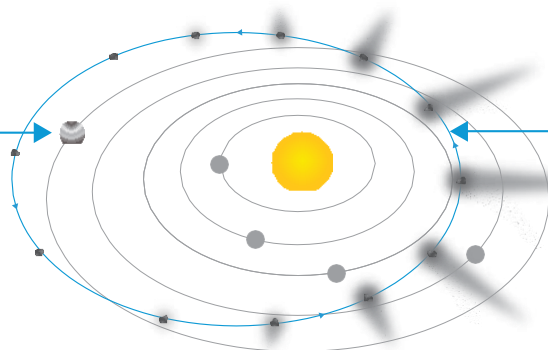
***Astronomska enota (AU)**: 1 AU je povprečna razdalja med Zemljo in Soncem ali polmer Zemljine orbite, ki znaša približno 150 milijonov km.

***Gravitacijske motnje**: spremembe tirnice nebesnega telesa (npr. planeta, komet) zaradi interakcij z gravitacijskimi polji drugih nebesnih teles (npr. planeti velikani, druge zvezde).

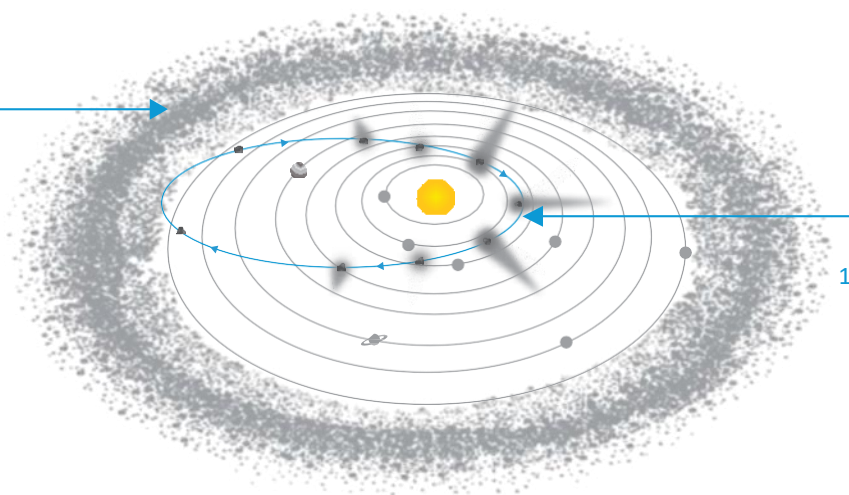
***Sončni veter**: tok visokoenergijskih delcev (plazme), ki jih oddaja zgornja atmosfera Sonca v vse smeri. Vsebuje večinoma elektrone in protone.

***Sublimat (sublimacija)**: ko segrevanje povzroči, da snov preide neposredno iz trdne faze v plinasto fazo, pri čemer preskoči tekoče stanje. Ko se plin ponovno ohladi, običajno tvori trdno usedlino.

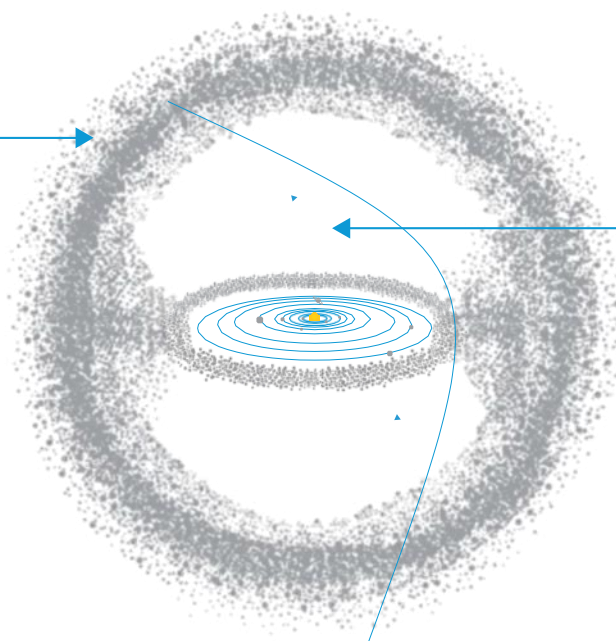
Jupiter

oddaljenost od sonca:
5,2 AUkomet 67P/
Churyumov-
Gerasimenko obdobje
= 6,5 let

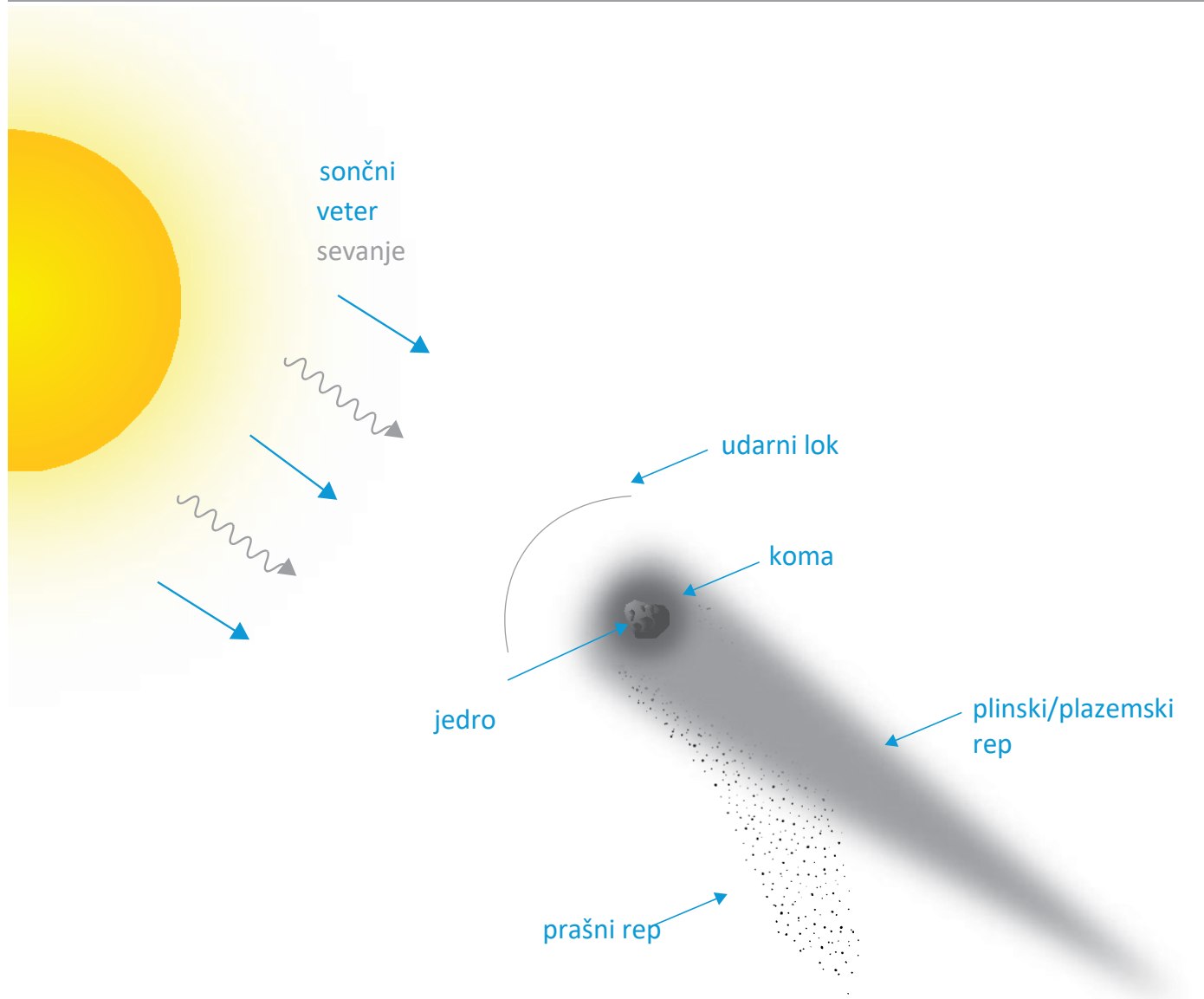
Kuiperjev pas

oddaljenost od
sonca: 30–50 AUkomet
1P/Halley obdobje
≈ 75,5 let

Oortov oblak

oddaljenost od sonca:
več tisoč AUkomet Siding Spring
(C/2013A1)
ocenjeno obdobje
= milijoni let

↑ Orbite kometov v Osončju.



↑ Anatomija kometa.

Več podrobnosti o orbitah kometov lahko najdete v razdelku Razprava.

Za več informacij o strukturi, sestavi in pomenu kometov si oglejte ESA učenje z vesoljem – kuhanje kometa | Vir učilnice P06 (glejte razdelek Povezave).

***Udarni lok (komet):** površina interakcije med ioni v komi kometa in sončnim vetrom. Udarni lok nastane, ker sta relativni orbitalni hitrosti kometa in sončnega vetra nadzvočni. Udarni lok nastane v smeri proti kometu, v smeri toka sončnega vetra. V udarnem loku se kopičijo velike koncentracije kometnih ionov in s plazmo obremenijo sončno magnetno polje. Posledica tega je, da se črte polja upognejo okoli kometa, povlečejo kometne ione in tvorijo plinski/plazemski/ionski rep.

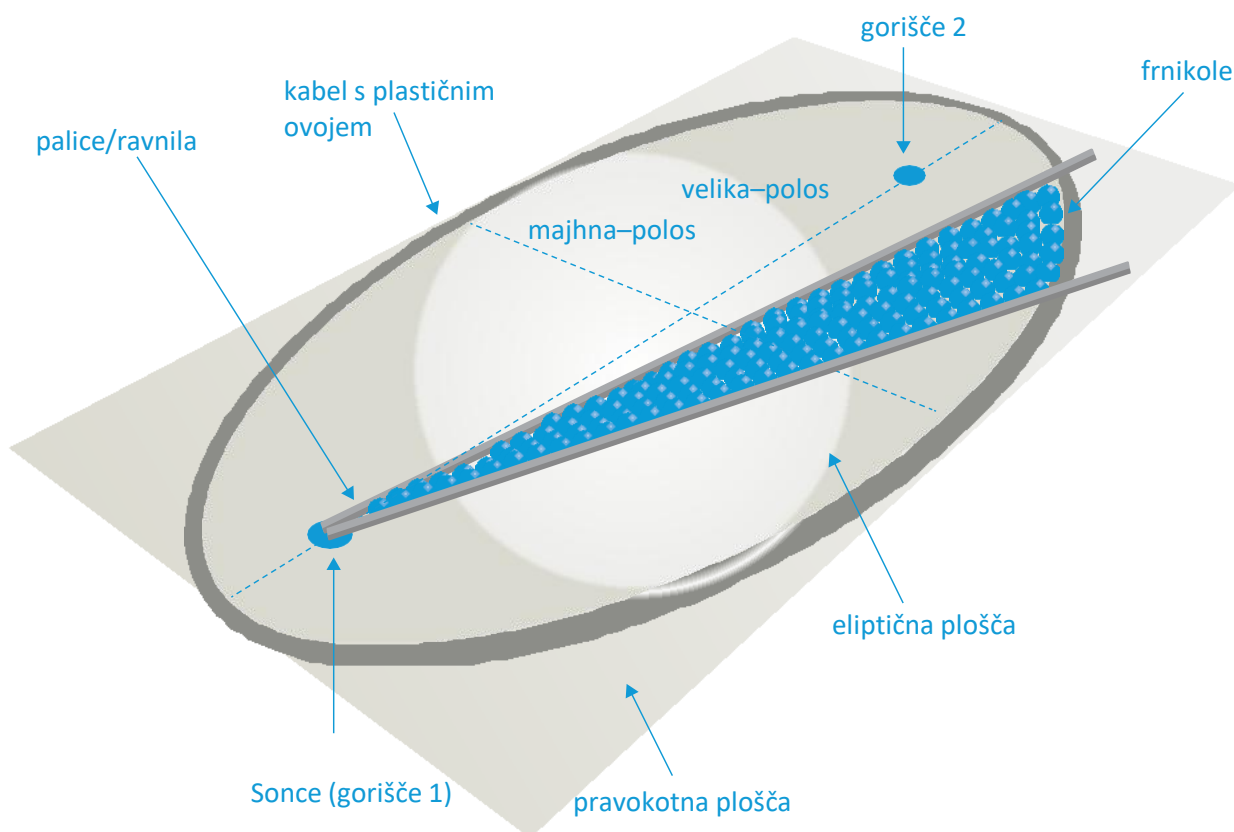
Merjenje hitrosti in razdalje na eliptični deski

Pri tej dejavnosti bodo učenci za merjenje hitrosti in razdalje za predmet v eliptični orbiti uporabili eliptično ploščo. Rezultate bodo nato izrisali na graf hitrosti glede na čas. Tako bomo razumeli, kako gravitacija vpliva na (ali spreminja) hitrost satelita v eliptični orbiti. Delovni listi za učence in navodila so na voljo nižje v dokumentu.

Oprema:

- eliptična plošča – narejena vnaprej, za navodila glejte dodatek: Navodila za predlogo eliptične plošče;
- približno 75 majhnih frnikol (nekaj se jih uporabi za zapolnitev ostrega konca zagozde);
- 2 x metrsko ravnilo ali palica;
- 50 cm vrvice;
- neobstojni marker.

Slika A1



↑ Priprava poskusa. Za navodila o tem, kako sestaviti ploščo, glejte dodatek: Navodila za predlogo eliptične plošče.

Varnost in zdravje!

To je dejavnost z zelo nizkim tveganjem. Dodatni varnostni ukrepi niso potrebni.

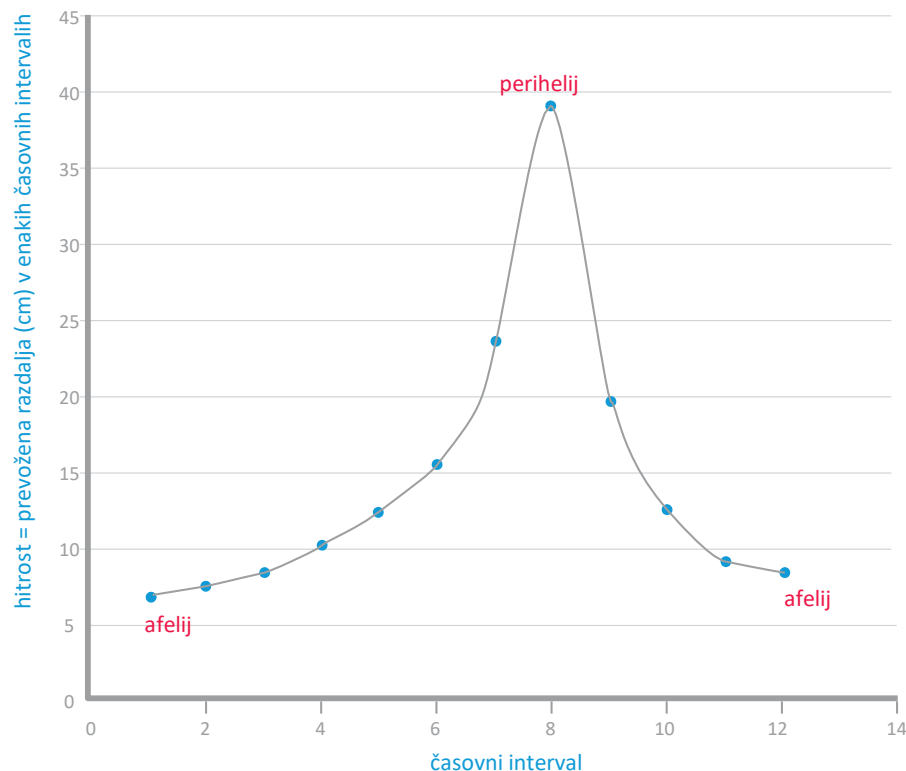
Navodila

Opomba: eliptična plošča predstavlja pot kometa v orbiti okoli Sonca. Oglejte si tudi priložen videoposnetek: ESA učenje z vesoljem – čudovite elipse | VP02.

1. Z nepermanentnim markerjem označite točko na elipsi – čim dlje od Sonca (gorišče 1) – pri afeliju. Čez to točko proti Soncu (gorišče 1) postavite metrsko ravnilo ali palico. To ravnilo se bo tekom celotnega poskusa vrtelo okoli Sonca (gorišče 1). Glejte Sliko A1.
2. Postavite drugo ravnilo/palico na stran, z enim delom na Sonce (gorišče 1). To ravnilo se bo tekom celotnega poskusa prav tako vrtelo okoli Sonca (gorišče 1). Frnikole postavite v prostor med dvema ravniloma. Premaknite drugo ravnilo/palico, dokler se frnikole ne prilegajo prostoru. Naredite drugo oznako na elipsi na notranji strani, kjer jo prečka drugo ravnilo. Upoštevajte, da bo število uporabljenih frnikol določilo število meritev, ki jih je treba izvesti – manj frnikol bo dalo več podatkovnih točk.
3. Obe ravnili premikajte po elipsi, dokler ni prvo ravnilo tam, kjer je bilo prvotno drugo ravnilo (drugo ravnilo je dlje vzdolž elipse). Nato premikajte drugo ravnilo, dokler se frnikole ne prilegajo prostoru med dvema ravniloma kot pri koraku 2 (Slika A1). Ponovno naredite oznako na notranji strani, kjer drugo ravnilo prečka elipso.
4. Ponavljajte korak 3, dokler ne pokrijete celotne elipse.
5. Z vrvico izmerite razdalje okoli zunanjega roba elipse med oznakama. Te vrednosti zapišite v tabelo, skupaj s časovnimi intervali (številka izmerjenega območja – prvo območje je interval 1, drugo območje je interval 2 itd.). Izmerjene razdalje so hitrosti, saj so to prepotovane razdalje v enakih časovnih intervalih.
6. Narišite graf hitrosti (izmerjene razdalje) glede na čas (številka intervala) za vsak odsek. Slika A2 prikazuje primer tabele in grafa. Gradient krivulje/črte na grafu bo odvisen od ekscentričnosti elipse – bolj ekscentrična elipsa bo dala strmejši gradient, medtem ko bo manj ekscentrična (bolj krožna) elipsa dala manj definiran vrh.
7. Upoštevajte, da bo gradient grafa hitrosti in časa strmejši sorazmerno glede na eliptičnost plošče.

Slika A2

številka območja	oddaljenost
1	6,7
2	7,5
3	8,4
4	10,1
5	12,2
6	15,5
7	23,6
8	39,2
9	19,8
10	12,5
11	9,2
12	8,4



↑ Primer tabele in grafa.

Razprava

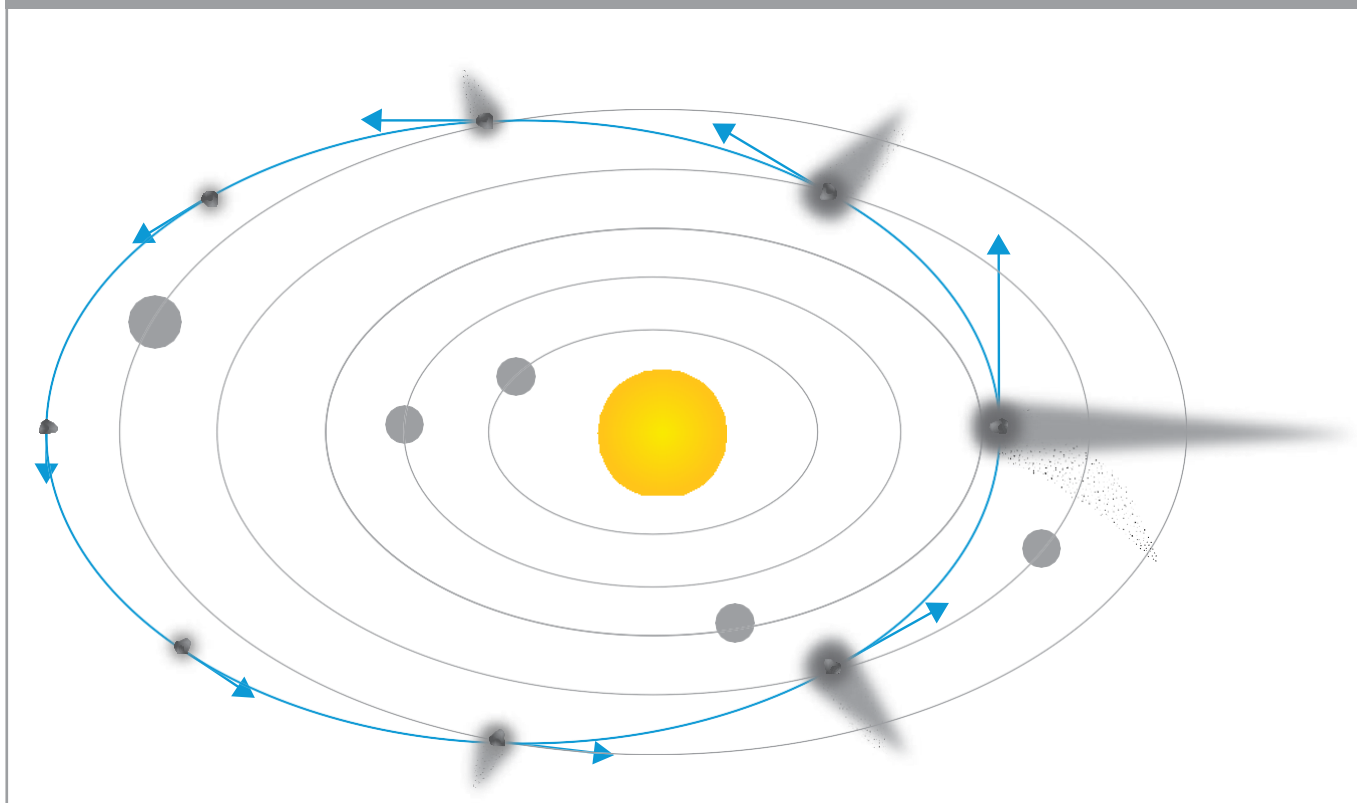
Opazovanja in razlage kometov

Komet ima privlačno silo zaradi gravitacije, ki vleče njegovo maso proti Soncu.

Pot, ki ji sledi komet, je odvisna od dveh dejavnikov – njegove hitrosti in začetne smeri. Da en predmet kroži okoli drugega, je potrebna centripetalna sila (sila, ki deluje proti žarišču, ki je Sonce), da nenehno spreminja pot gibanja in pri tem pospešuje ali upočasnjuje krožeče telo (Slika A3).

V stabilni orbiti gravitacijska sila Sonca pospeši komet, zaradi česar se hitrost poveča, dokler ne doseže perihelija. Ko enkrat prečka perihelij, gravitacijska sila Sonca nasprotuje gibanju kometa, zaradi česar se upočasni in izgubi hitrost.

Slika A3



↑ Vektor hitrosti (modre puščice) kometa v orbiti okoli Sonca se spreminja z orbitalno lego. Sprememba je posledica centripetalnega pospeška, ki ga zagotavlja gravitacijska privlačnost Sonca. Prikazana je tudi sprememba repa kometa.

Če bi bil komet v krožni orbiti, bi bil centripetalni pospešek vedno pravokoten (90°) na hitrost kometa. V eliptični orbiti se kot med centripetalnim pospeškom in hitrostjo spreminja. Prav ta sprememba centripetalnega pospeška vodi do spreminjanja hitrosti telesa v eliptični orbiti.

Kaj nam pove gradient črte (Slika A2) na kateri koli točki?

Ker gradient grafa hitrost-čas prikazuje stopnjo spremembe hitrosti, je gradient črte merilo pospeška kometa na tej točki. Največji pospešek (gradient) se bo pojavil, ko se bo komet približal periheliju, točki, kjer bo komet potoval z največjo hitrostjo v orbiti. Po prehodu perihelija bo komet doživel največji pojemek in bo še naprej upočasnjeval, dokler ne bo dosegel afelija; točke v svoji orbiti, kjer potuje z najmanjšo hitrostjo.

Kaj nam pove površina pod grafom?

Površina pod grafom prikazuje razdaljo, ki jo je prepotoval komet. Lahko vidimo, da se razdalja, ki jo komet preleti na časovni odsek med približevanjem periheliju, zaradi naraščajoče hitrosti povečuje. Podobno kot ko se komet približuje afeliju, potuje z manjšo hitrostjo in preleti krajšo razdaljo na časovno enoto.

Dodatna razprava

Dejavnost je mogoče razširiti z razpravo o tem, kateri parametri bi vplivali na orbito, kot so prvotna hitrost in smer krožečega telesa ter mase krožečega telesa in osrednje zvezde.

Za več informacij si oglejte izobraževalni videoposnetek ATV-4 'Albert Einstein' (glejte razdelek Povezave).

Učenci lahko za analizo učinka velike polosi (r) na orbitalno dobo kometa uporabijo tudi tretji Keplerjev zakon.

Tretji Keplerjev zakon

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM} \right) a^3$$

T = časovno obdobje za en obrat
 a = povprečni polmer orbite
 G = univerzalna gravitacijska konstanta
 M = masa Sonca

Večja, kot je velika polos, daljša je orbitalna doba. To opazamo tudi pri planetih v Osončju – bolj ko je planet oddaljen od Sonca, daljša je njegova doba.

Energija in objekti blizu Zemlje

Ko komet potuje po svoji eliptični poti, doživlja neprekinjen cikel gravitacijske potencialne energije, ki se prenaša v kinetično energijo (ko se približuje Soncu) in obratno (ko se oddaljuje od Sonca). Slika A5 prikazuje, kako se kinetična in gravitacijska potencialna energija krožečega telesa spreminjata vzdolž njegove orbitalne poti.

Ker mora skupna energija, ki jo ima komet, ostati konstantna, to pomeni:

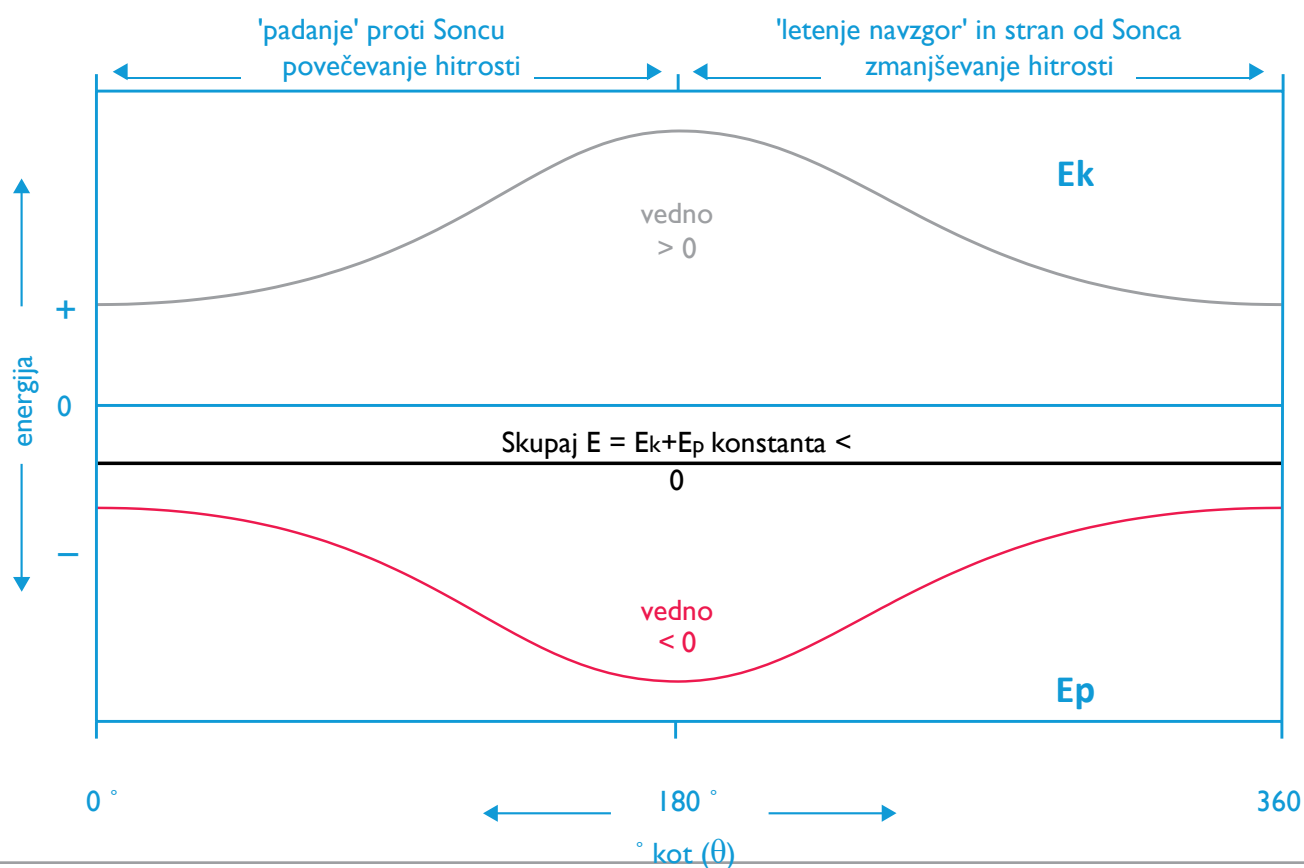
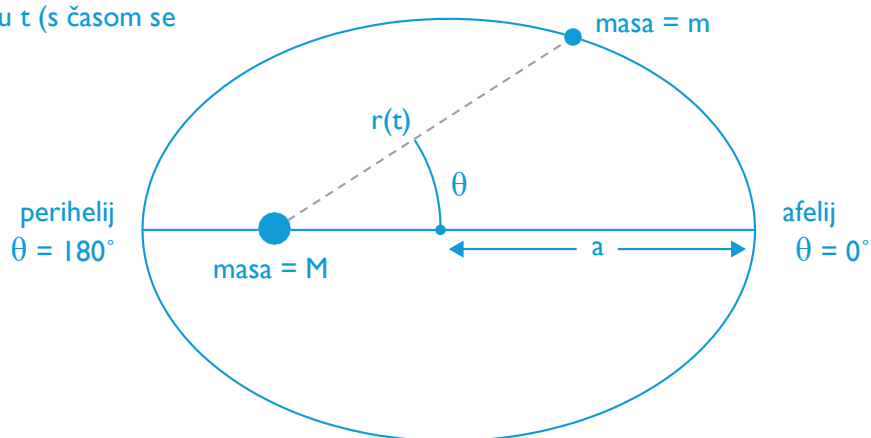
Kinetična energija (E_k) Gravitacijska potencialna energija (E_p) = konstanta

Z uporabo teh informacij in z zmožnostjo izračuna orbitalnih parametrov iz Keplerjevih zakonov lahko znanstveniki v koordinacijskem centru ESA za blizuzemeljske objekte v bližini Rima v Italiji izračunajo kinetično energijo kometa ali asteroida na kateri koli točki njegove orbite.

To je pomembno, ker se občasno eliptična orbita kometa ali asteroida prekriva z orbito Zemlje, kar lahko privede do trka. Z razširitvijo Keplerjevih zakonov ter uporabo enačb gravitacijske potencialne energije in kinetične energije je mogoče oceniti potencialni vpliv trka.

Slika A4

a = glavna-polos orbite $r(t)$ = razdalja v času t (s časom se spreminja)



↑ Spreminjanje kinetične in potencialne energije krožečega telesa z orbitalno lego. Skupna energija vedno ostane konstantna.

→ ZAKLJUČEK

Razumevanje narave orbit je kritična veščina za razlago opazovanj nebesnih teles. S povezovanjem Keplerjevih zakonov z idejami o kinetični in gravitacijski potencialni energiji lahko orbito kometa in morebitne učinke, ki jih lahko ima trčenje, interpretiramo ter modeliramo zapleten orbitalni ples, ki ga morajo opraviti vesoljska plovila, kot je Rosetta, za boljše poznavanje vesolja. Ta dejavnost spretnemu učitelju omogoča tudi, da razpravlja in razvija praktične spretnosti, vključno z natančnostjo in točnostjo pri merjenju, načrtovanjem tabel, risanjem dobrih grafov, prilegajočih se linij in o pomenu gradientov.

Merjenje hitrosti in razdalje na eliptični deski

Pri tej dejavnosti boste uporabili eliptično tablo za merjenje hitrosti in razdalje za komet v eliptični orbiti.

V skladu s Keplerjevim drugim zakonom gibanja planetov: zveznica med Soncem in planetom v enakih časih oriše enake ploščine.

Pokrito območje bo predstavljeno z velikim številom frnikol.

Za vsako časovno obdobje morate zabeležiti razdaljo okoli orbite.

Razdalja, ki jo boste izmerili, dejansko predstavlja povprečno hitrost kometa. Upoštevajte, da je $v = d/t$, kjer je d razdalja v metrih (m), t čas v sekundah (s) in v hitrost v ms^{-1} .

Svoje rezultate vpišite v spodnjo tabelo. Svoje merske enote boste morali izbrati glede na dejansko velikost vaše orbite. V tem poskusu bomo npr. rekli, da se časovno obdobje meri v sekundah, povprečna hitrost pa v cm s^{-1} . Število zabeleženih meritev se lahko razlikuje glede na število frnikol, zato bodite pripravljeni na približno deset meritev.

Čas	Hitrost (cm s^{-1})

Narišite graf hitrosti (os y) glede na čas (os x) – to lahko storite z milimetrskim papirjem ali s pomočjo preglednice. Označite afelij in perihelij.

Prepričajte se, da je graf velik in da zapolni papir.

Narišite ukrivljeno črto, ki se najbolje prilega in predstavlja gibanje kometa.

Preberite naslednja vprašanja in nato napišite zaključek, v katerem razložite obliko grafa ter poskusite odgovoriti na čim več vprašanj.

Vprašanja

1. Gradient črte je merilo pospeška kometa. Padec krivulje kaže upočasnitev. Kako se med kroženjem spreminja gradient?
2. Območje pod grafom predstavlja razdaljo, ki jo je prepotoval komet. Kako se spreminja ta razdalja?
3. Kje potuje komet najhitreje? Kje potuje najpočasneje? Zakaj?
4. Gravitacija je močnejša bližje Soncu in šibkejša dlje stran. Kako gravitacija vpliva na hitrost kometa?
5. Kakšne energijske spremembe se dogajajo med kroženjem?
6. Kakšna bi bila razlika za komet v orbiti z večjo ekscentričnostjo?
7. Tudi planeti krožijo okoli Sonca in imajo svoja gravitacijska polja. Kako lahko vplivajo na pot kometa?

→ VESOLJSKI KONTEKST @ESA

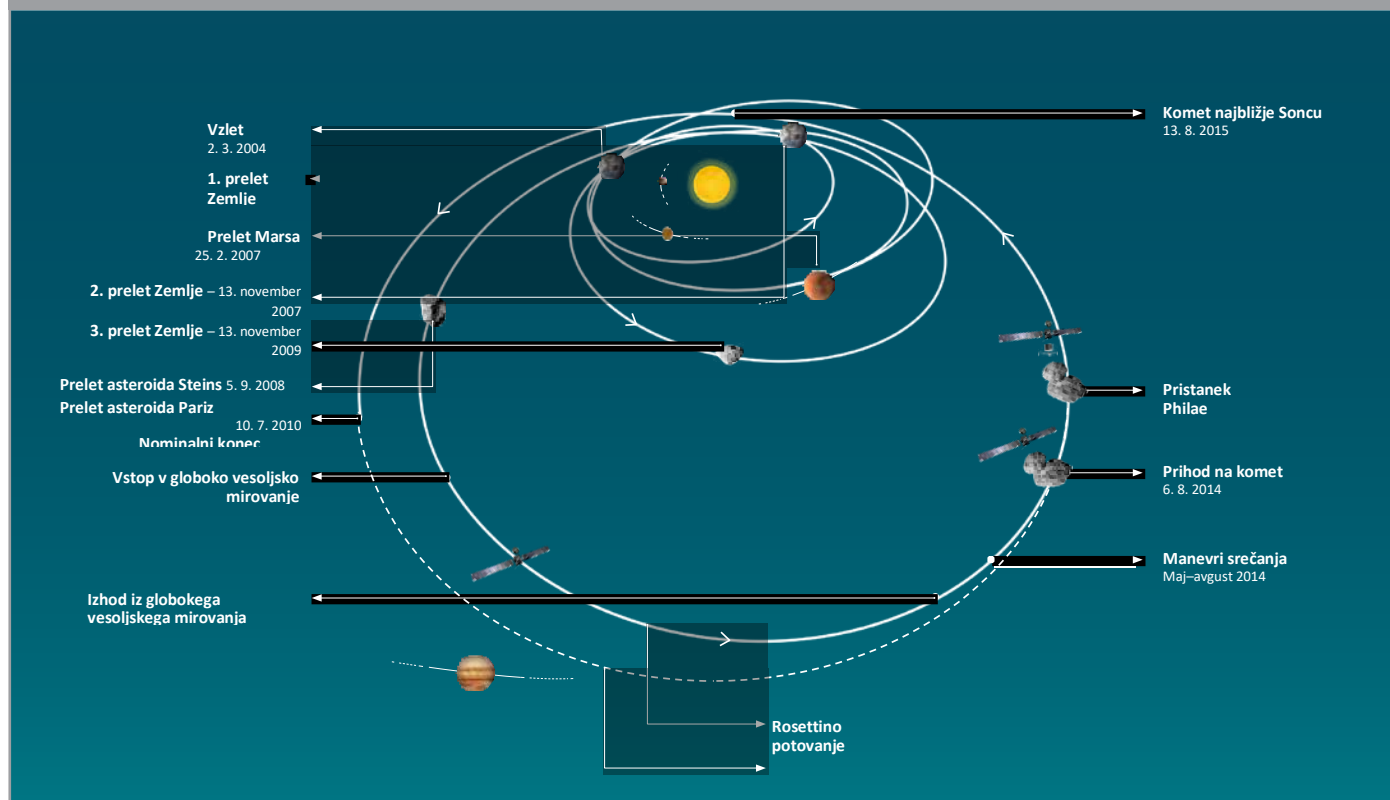
Rosetta

10-letna misija ESA Rosetta na komet 67P/Churyumov-Gerasimeko se je začela leta 2004, da bi se srečala z jedrom kometa in na njem tudi pristala.

Rosettin glavni cilj je pomagati razumeti izvor in razvoj sončnega sistema. Sestava kometa odraža sestavo predsončne meglice, iz katere so pred več kot 4,6 milijardami let nastali Sonce in planeti Osončja. Poglobljena analiza kometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, ki sta jo opravila Rosetta in njen pristajalni modul, bo zagotovila bistvene informacije za razumevanje, kako je nastalo Osončje.

Obstajajo prepričljivi dokazi, da so kometi odigrali ključno vlogo pri razvoju planetov, saj so bili trki kometov v zgodnji fazi Osončja veliko pogostejši kot danes. Morda so kometi celo prinesli vodo na Zemljo. Analizirali bomo kemijo vode v kometu 67P/Churyumov-Gerasimenko, da bi ugotovili, ali je enaka kot v zemeljskih oceanih. Poleg ledu in prahu kometi vsebujejo številne zapletene molekule, vključno z organskimi materiali, ki so morda igrali ključno vlogo pri razvoju življenja na Zemlji.

Slika 12



↑ Vesoljsko plovilo ESA Rosetta je izvedlo vrsto planetarnih »frač«, da bi doseglo svoj cilj.

***Prelet:** tesen prehod vesoljskega plovila okoli planeta ali drugega nebesnega telesa. Če vesoljsko plovilo uporablja gravitacijsko polje nebesnega telesa za povečanje hitrosti vesoljskega plovila in spremembo njegove poti, se to imenuje nihanje ali manever gravitacijske pomoči.

Da bi prišla do kometa, je morala Rosetta izvesti serijo gravitacijskih »frač«, pri kateri se gravitacija nebesnega telesa uporablja za pomoč pri pospeševanju vesoljskega plovila (Slika 12). Da bi poletela globlje v vesolje, je morala Rosetta narediti štiri manevre s fračo, vključno s tremi bližnjimi **preleti*** Zemlje in enega z Marsom. Vsaka frača je spremenila kinetično energijo Rosette in s tem spremenila hitrost vesoljskega plovila ter dimenzije eliptične orbite.

Ob tako dolgem potovanju je bila odprava Rosetta junija 2011 prestavljena v stanje mirovanja, da bi omejila porabo energije in goriva ter zmanjšala operative stroške. Skoraj vsi Rosettini električni sistemi so bili izklopljeni, razen računalnika in več grelnikov.

Januarja 2014 je Rosettina vnaprej programirana notranja 'budilka' v pripravah na srečanje s kometom 67P/Churyumov-Gerasimeko skrbno prebudila vesoljsko plovilo. Po prebujanju je bilo 11 znanstvenih instrumentov orbiterja in 10 instrumentov pristajalne naprave ponovno aktiviranih in pripravljenih na znanstvena opazovanja. Izvedena je bila serija desetih kritičnih orbitalnih korekcijskih manevrov za zmanjšanje hitrosti vesoljskega plovila glede na komet in posledično uskladitev njegove eliptične orbite.

Ko je 6. avgusta 2014 Rosetta prispela do kometa 67P/Churyumov-Gerasimeko, je začela izvajati nadaljnje manevre, da bi se postavila v »orbito« okoli jedra kometa. S tega izhodišča Rosettin nabor instrumentov zagotavlja podrobno znanstveno študijo kometa, ki preučuje in kartira površje s podrobnostmi brez primere (Slika 13).

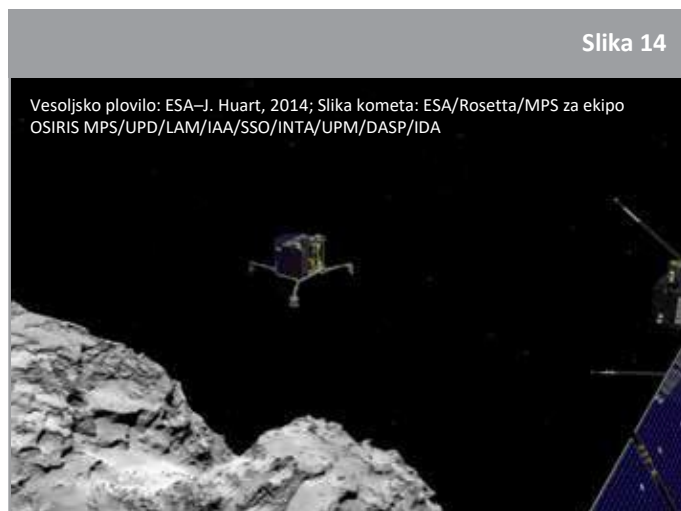


Gerasimenko z uporabo slik, posnetih 19. septembra 2014, ko je bila Rosetta od kometa oddaljena 28,6 km.

Po pristanku je Rosetta še naprej spremljala komet na njegovem eliptičnem potovanju. Rosetta je s kometom pospešila nazaj proti notranjosti Osončja, kjer je še naprej preučevala in od blizu opazovala, kako se ledeno jedro kometa segreva, ko se približuje Soncu.

Novembra 2014 je Rosetta po večmesečnem kartiranju in analizi jedra kometa poslala svoj pristajalni modul Philae in prvič poskusila pristati na jedru kometa. Ker ima komet tako nizko gravitacijo, je Philae uporabil harpune in ledene vijake, da bi se pritrdil na površino. Slika 14 prikazuje umetnikov vtis Philae, ko pristaja na površini.

Pristajalnik Philae bo za zbiranje vzorcev površine za neposredno analizo strukture in sestave kometa uporabil 10 instrumentov, vključno z vrtalnikom in **spektrometri***.



↑ Pristajalna naprava Philae je zagotovila podatke brez primere o površini in notranji strukturi kometa.

Mednarodna vesoljska postaja in avtomatsko transportno vozilo

V sodelovanju z Združenimi državami, Rusijo, Japonsko in Kanado Evropa sodeluje pri največjem mednarodnem projektu vseh časov – Mednarodni vesoljski postaji. 360 ton težka Mednarodna vesoljska postaja (ISS, Slika 15) ima več kot 820 m³ prostora pod tlakom – dovolj za šestčlansko posadko in širok nabor znanstvenih poskusov. Gradnja postaje se je začela novembra 1998 z izstrelitvijo ruskega modula Zarya. Zadnji večji del vesoljske postaje, ki ga je dostavil vesoljski raketoplan, je bil instrument AMS-02 maja 2011.

Vesoljska postaja je sestavljena in ima stalno posadko šestih astronautov, zato se več časa kot kdaj koli prej porabi za poskuse, ki jih na Zemlji ni mogoče izvesti.

Glavni evropski prispevek je modul Columbus, primarna raziskovalna ustanova za evropski tovor na krovu ISS. Columbus zagotavlja generični laboratorij in prostore, posebej zasnovane za biologijo, biomedicinske raziskave in fiziko tekočin.

Področja znanstvenih raziskav so številna in raznolika: od temeljne fizike do človeške fiziologije, od novih zlitin do korenin rastlin. Program združuje približno 1500 znanstvenikov v stotinah eksperimentov, pa tudi veliko in raznoliko skupino uporabnikov industrijskih raziskav in razvoja. ISS tako zagotavlja potreben kanal za raziskovalce in medicinsko skupnost za izvajanje večletnih raziskav v doslednem okolju mikrogravitacije.

Slika 15



ESA/NASA

↑ Avtomatizirano transportno vozilo, priključeno na Mednarodno vesoljsko postajo.

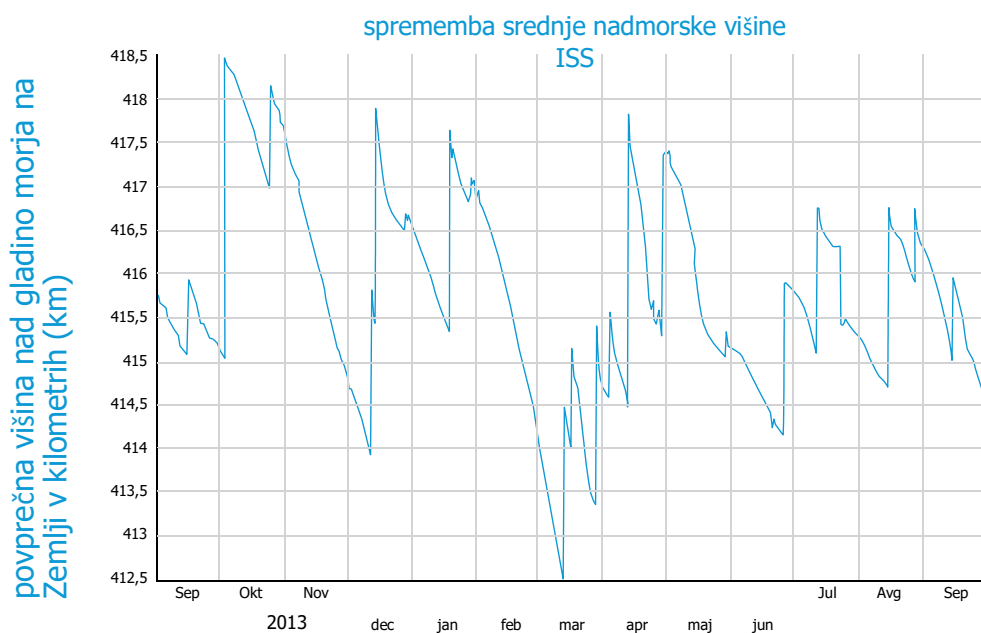
Iz svojega specifičnega **naklona*** orbite ISS zagotavlja pokritost 90 % svetovnega poseljenega območja (75 % zemeljske površine), zaradi česar predstavlja dragoceno postojanko za spremljanje Zemlje in podnebja. Sončna aktivnost in kozmično sevanje sta prav tako predmet preiskav z ISS, zahvaljujoč zmožnostim zunanjih eksperimentov.

Čeprav ima vsak partner vesoljske postaje različne raziskovalne cilje, si vsi delijo enoten cilj – izboljšanje znanstvenega in inženirskega znanja za izboljšanje kakovosti življenja na Zemlji in drugod.

Drugi največji prispevek Evrope k ISS po modulu Columbus je avtomatizirano transportno vozilo (ATV), oskrbovalna ladja, ki se dvigne v orbito z lansirno napravo Ariane-5. ATV prevaža do 7 ton tovora, vključno z živili, znanstvenim tovorom in pogonskim gorivom. Ko se plovilo zasidra, lahko s svojimi motorji požene postajo v višjo orbito, s čimer prepreči šibek upor Zemljine atmosfere. Prvo vesoljsko plovilo ATV Jules Verne je bilo izstreljeno leta 2008, sledilo pa mu je vozilo ATV Johannes Kepler, ki je bilo izstreljeno leta 2011. Tretje vozilo, ATV Edoardo Amaldi, je bilo predstavljeno leta 2012, četrto v seriji – ATV Albert Einstein – pa leta 2013. Peto in zadnje – ATV Georges Lemaître – je bilo predstavljeno julija 2014.

Mednarodna vesoljska postaja kroži v orbiti na določeni **nadmorski višini***, pri določenem naklonu glede na zemeljski ekvator in pri določeni **orientaciji***. ATV lahko ISS pomaga, tako da spreminja svojo nadmorsko višino in položaj, pri čemer je prva pomembna za ta vir.

Slika 16



↑ Razpon nadmorske višine ISS v tem obdobju je bil večji od običajnega zaradi izboljšane zmožnosti ponovnega pospeševanja, ki ga zagotovi ATV.

***Nadmorska višina:** višina ISS glede na morsko gladino Zemlje.

***Orientacija:** orientacija ISS glede na njeno orbitalno pot.

***Naklon:** kot ravnine orbite ISS glede na Zemljin ekvator.

Nadmorska višina ISS je določena predvsem z mislijo na varnost in logistiko. Biti mora dovolj nizka, da optimizira transportne lete, vendar nad 278 km (t. i. minimalna višina), da se izogne nevarnosti ponovnega vstopa v atmosfero. Višinski profil ISS se upravlja tudi za varčevanje s pogonskim gorivom in zmanjšanje izpostavljenosti posadke sevanju.

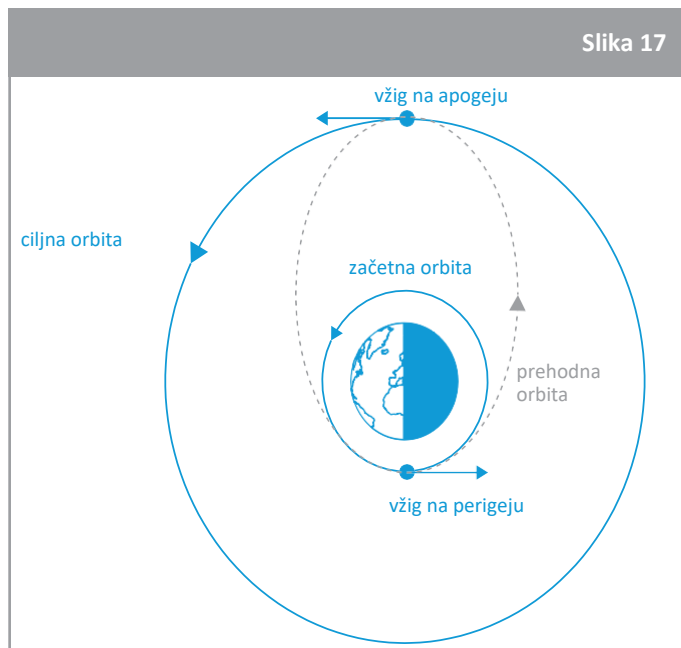
Na nadmorski višini približno 400 km atmosferski upor povzroči, da se ISS spusti za približno 100–200 m na dan. Variacija stopnje je posledica sprememb v gostoti zunanje atmosfere, ki je posledica sončne aktivnosti.

Gostujoča vesoljska plovila, kot so ATV, Progress ali Soyuz, se uporabljajo za ponovno povečanje nadmorske višine, da preprečijo ta pojav oziroma da se izognejo vesoljskim odpadkom. Ruski segment ISS ima tudi potisnike, ki omogočajo majhne spremembe nadmorske višine ISS, ko gostujoča vozila niso prisotna. Redna uporaba potisnikov se izvaja vsakih 10–80 dni.

Sprememba nadmorske višine ISS med septembrom 2013 in septembrom 2014 je prikazana na Sliki 16.

Vsak ponovni orbitalni zagon je večstopenjski proces z dvema zaporednima vžigoma, diametralno nasprotnima drug drugemu (Slika 17).

Prvi vžig poveča ekscentričnost orbite, drugi pa ga zmanjša, vendar na višji nadmorski višini, končni rezultat pa sta povečana nadmorska višina in nižja hitrost, v skladu s Keplerjevim tretjim zakonom. Podobni postopki se uporabljajo za manevre izogibanja trčenju, pri čemer se povečanja izvajajo precej vnaprej, da se poveča nadmorska višina postaje, s čimer se poveča razdalja med tujkom in postajo.



Slika 17

↑ Ponovni orbitalni zagon je večstopenjski proces z dvema zaporednima vžigoma, diametralno nasprotnima drug drugemu. Prehodna orbita je znana kot Hohmannova transferna orbita.

→ PRILOGA

Navodila za predlogo eliptične plošče

V tem razdelku so navodila za izdelavo eliptične plošče, potrebne za dejavnost.

Oprema:

- trd karton ali lesena plošča
 - če uporabite predlogo eliptične plošče, mora biti plošča velika približno 75 cm X 60 cm, uporabite lahko ploščo katere koli velikosti, če elipso rišete po metodi, prikazani na Sliki X1;
- navaden papir ali natisnjena/fotokopirana predloga eliptične sledi;
- močno lepilo;
- pero ali svinčnik;
- nit (če uporabljate metodo na Sliki X1);
- 2 zatiča;
- 2 m vrvice ali električnega kabla s plastičnim ovojem (primerna debelina je 8 mm, če uporabljate predlogo).

Navodila 1

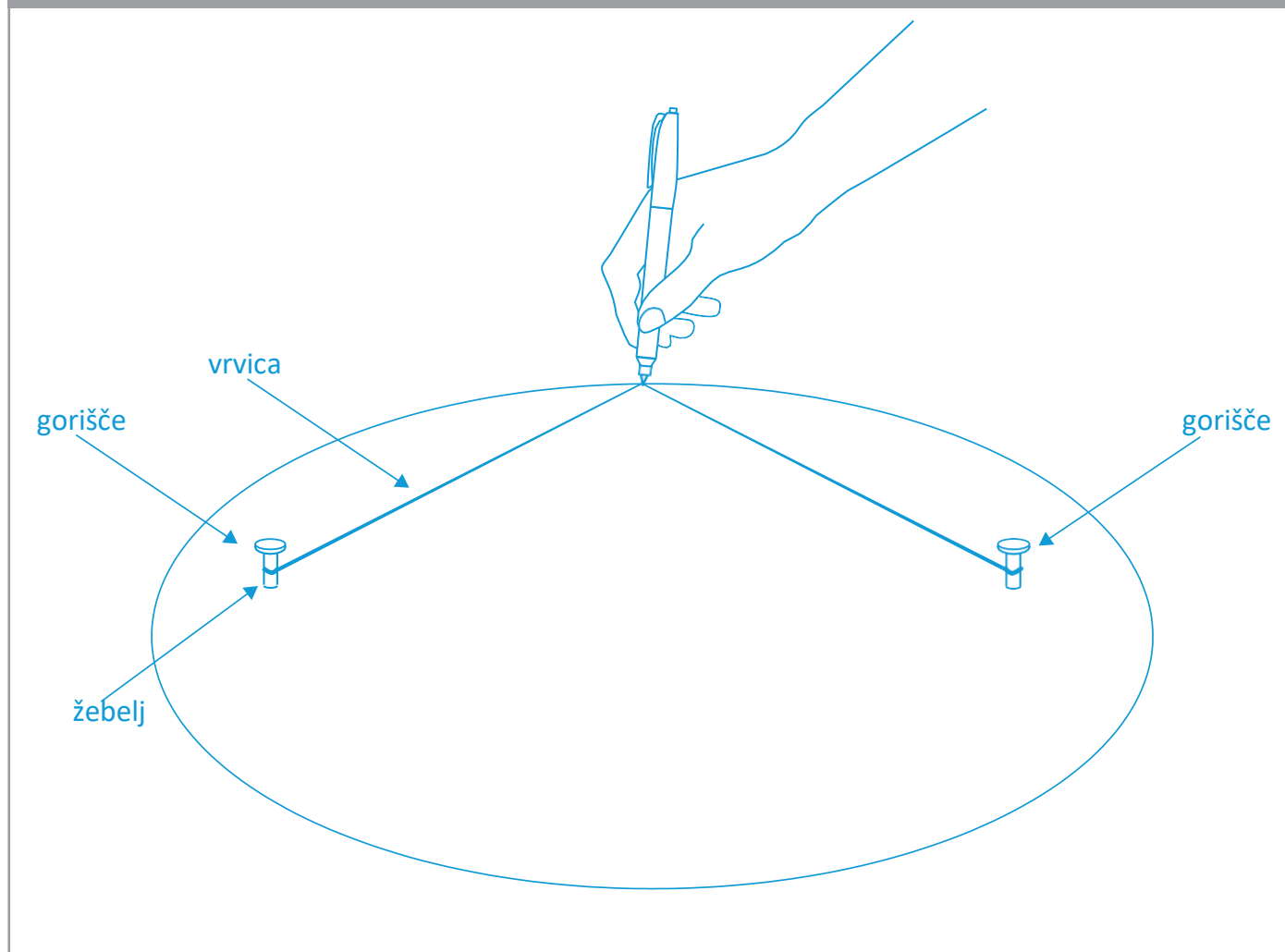
Ta metoda uporablja priloženo predlogo eliptične plošče.

1. Natisnite (ali kopirajte in prilagodite) strani 29–32 na velikost A3.
2. Kose papirja previdno zlepite skupaj, da oblikujete elipso.
3. Prilepite vrvico ali kabel, prekrit s plastiko, na ploščo po liniji elipse.

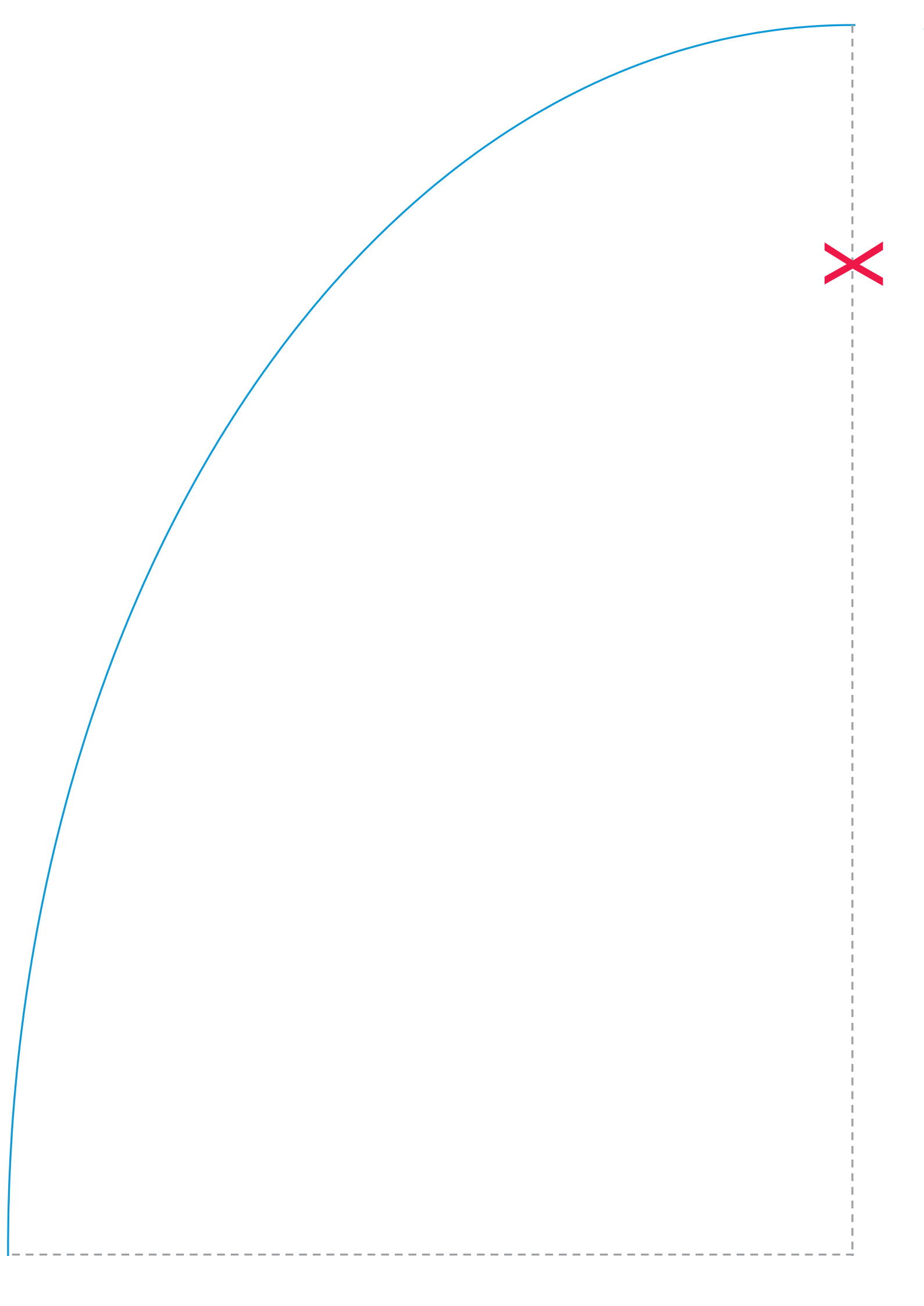
Navodila 2

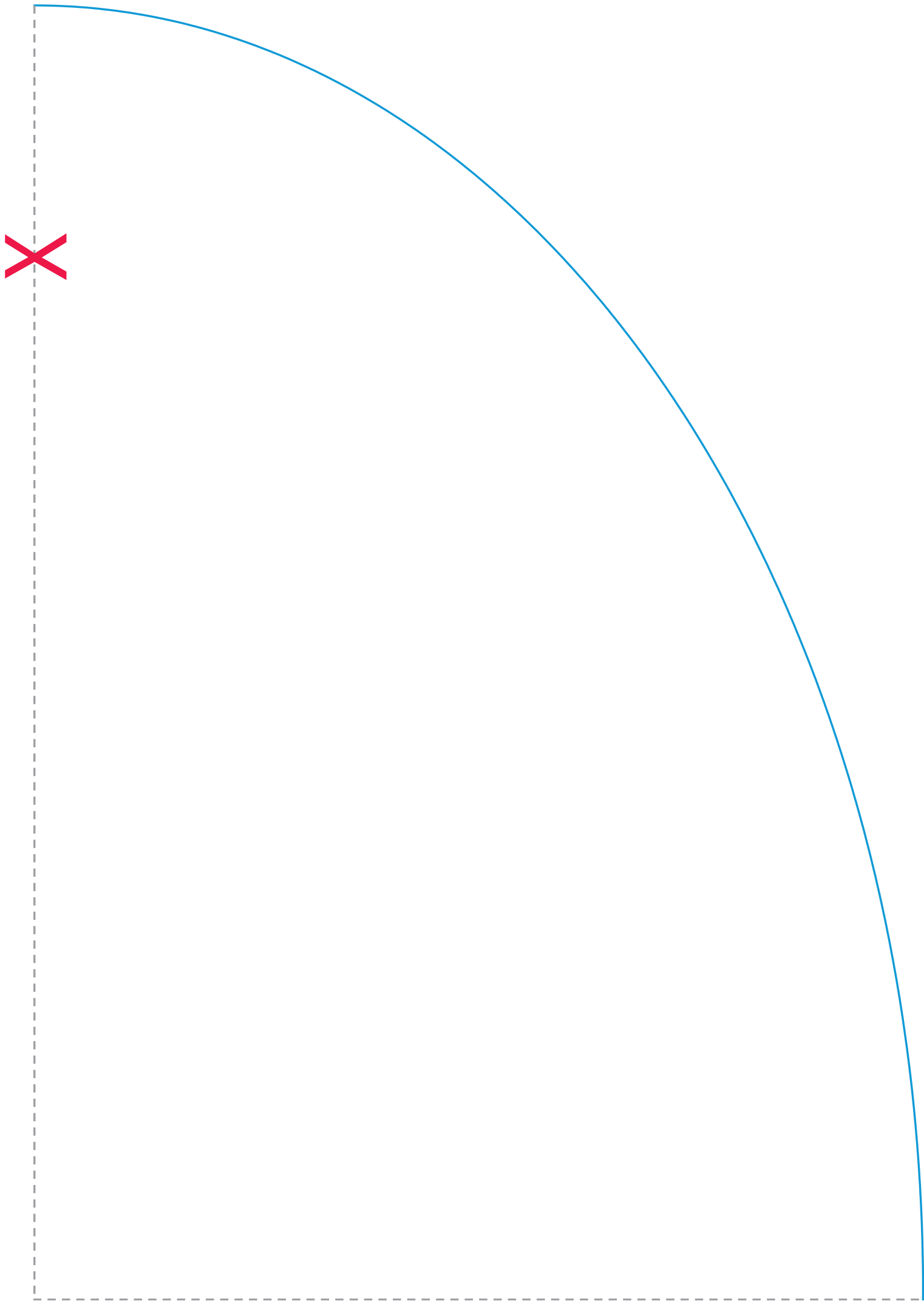
Pri tej metodi se za risanje elipse uporablja vrvica.

1. Ploščo pokrijte z navadnim belim papirjem.
2. Vzemite vrvico. Z zatiči na dveh mestih pritrdite vrvico na sredinsko linijo plošče (kot je prikazano na Sliki X1).
3. Pero ali svinčnik položite približno na polovico vzdolž vrvice in nežno povlecite, dokler ni vrvica napeta.
4. Premaknite pero, da narišete elipso. Vrvica mora ostati napeta.
5. Prilepite vrvico ali kabel, prekrit s plastiko, na ploščo po liniji elipse.

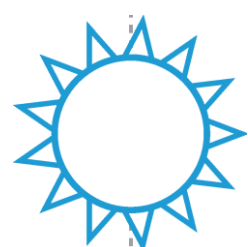
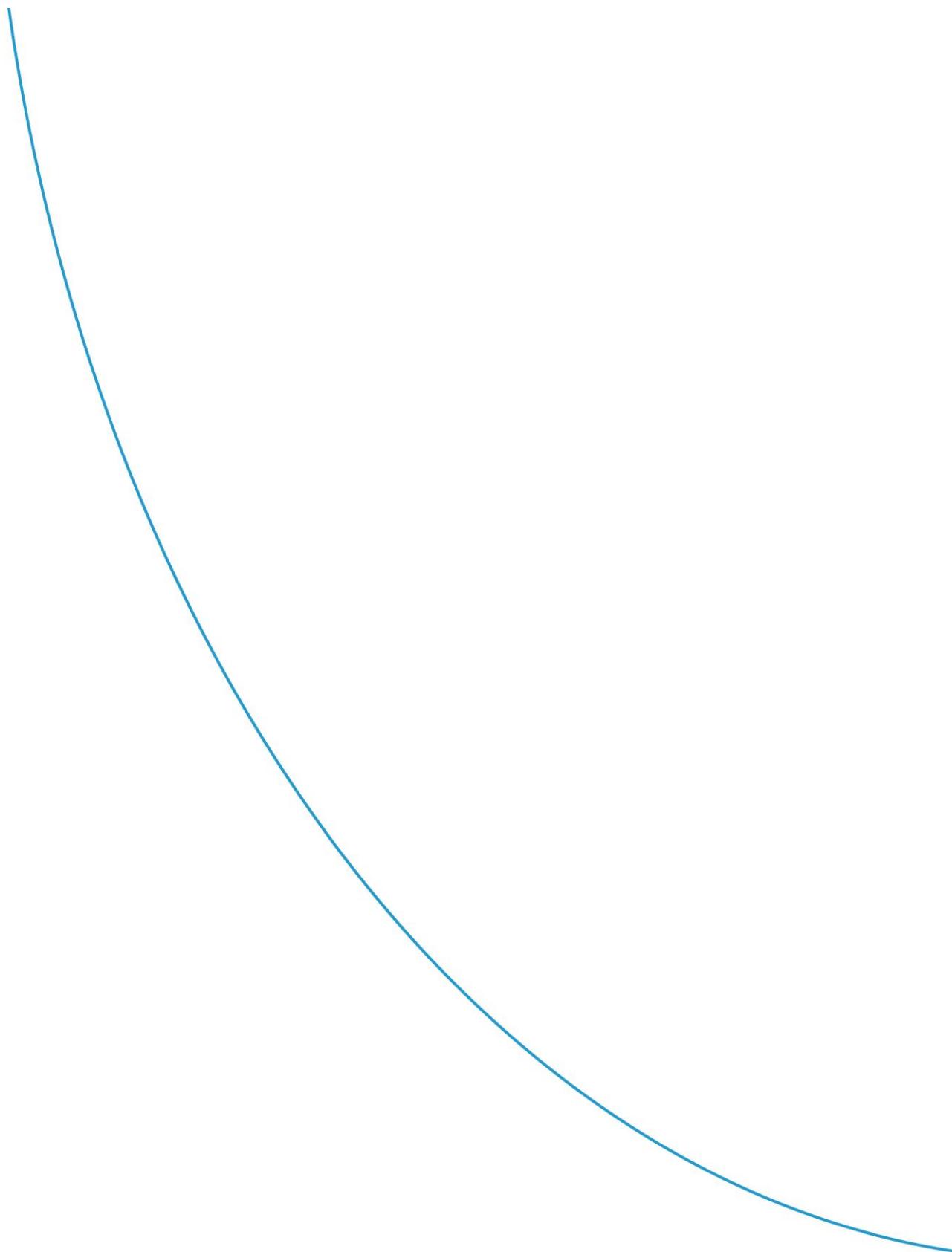


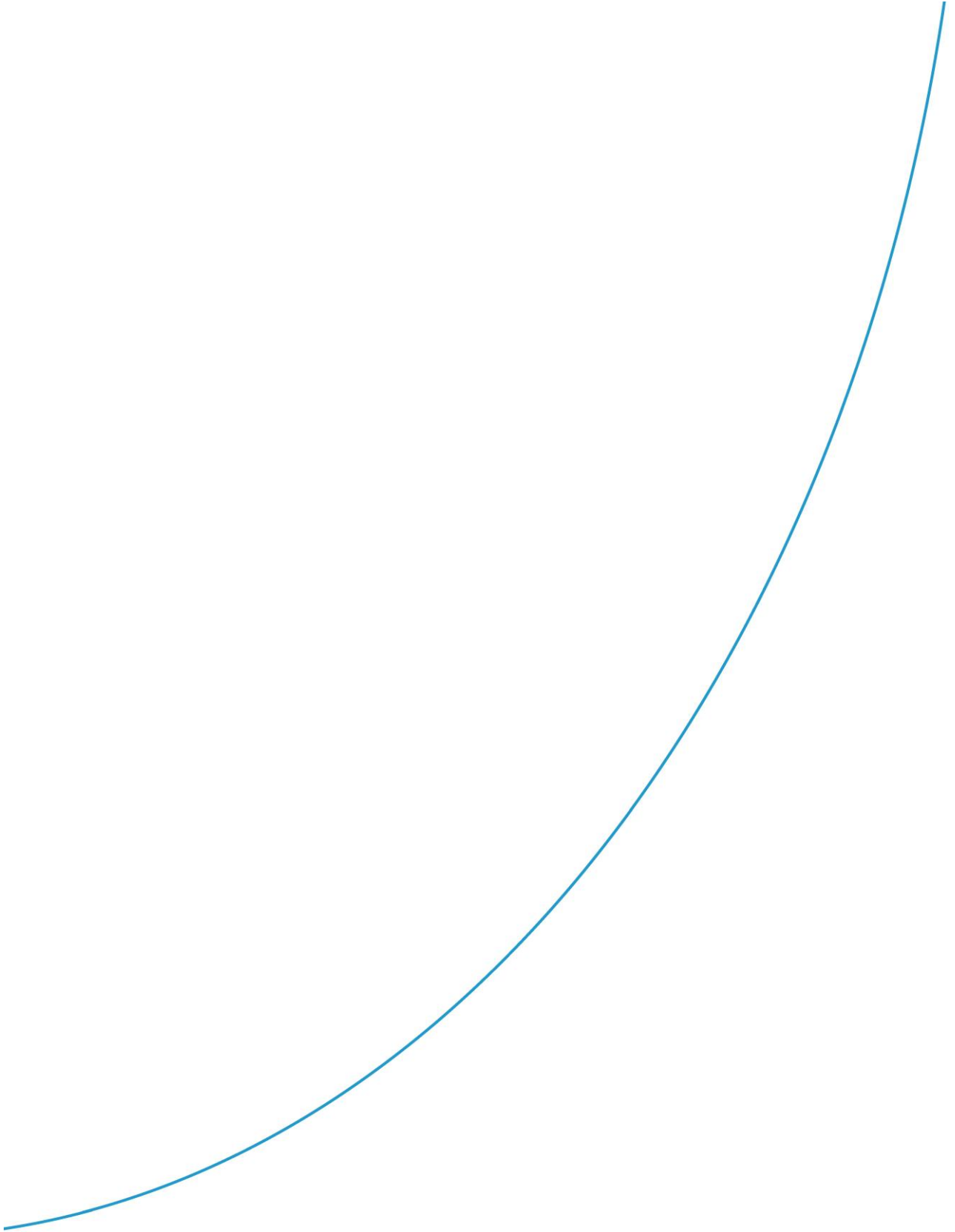
↑ Kako izdelati elipso.

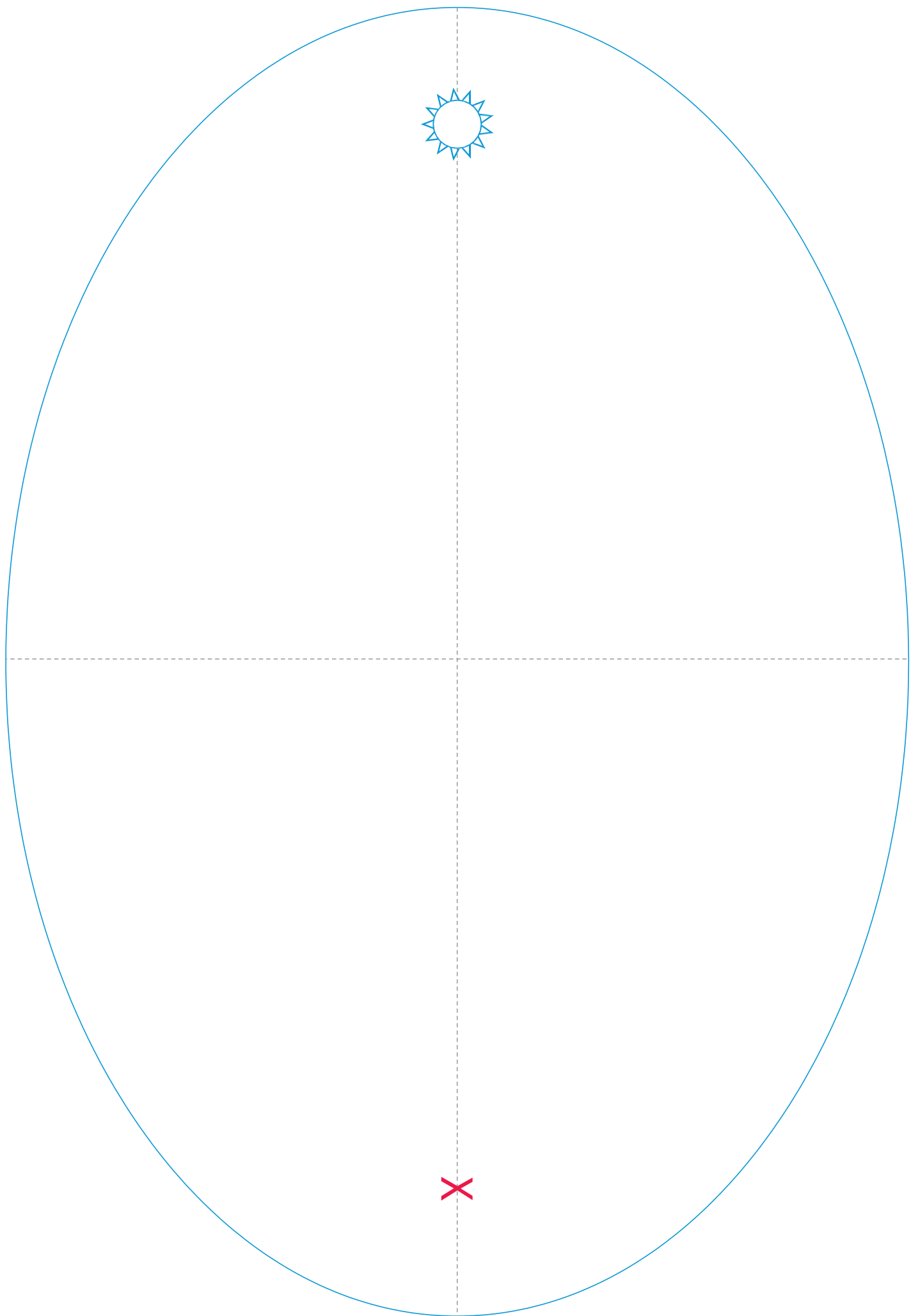




Handwriting practice lines consisting of a solid top line, a dashed middle line, and a solid bottom line.







Slovar izrazov

Višina: višina ISS glede na morsko gladino Zemlje.

Orientacija: orientacija ISS glede na njeno orbitalno pot.

Astronomska enota (AU): 1 AU je povprečna razdalja med Zemljo in Soncem ali polmer Zemljine orbite, ki znaša približno 150 milijonov km.

Udarni lok (komet): površina interakcije med ioni v komi komete in sončnem vetru. Udarni lok nastane, ker sta relativni orbitalni hitrosti komete in sončnega vetra nadzvočni. Udarni lok nastane v smeri proti kometu, v smeri toka sončnega vetra. V udarnem loku se kopičijo velike koncentracije kometnih ionov in obremenijo sončno magnetno polje s plazmo. Posledica tega je, da se črte polja upognejo okoli komete, povlečejo kometne ione in tvorijo plinski/plazemski/ionski rep.

Prelet: tesen prehod vesoljskega plovila okoli planeta ali drugega nebesnega telesa. Če vesoljsko plovilo uporablja gravitacijsko polje nebesnega telesa za povečanje hitrosti vesoljskega plovila in spremembo njegove poti, se to imenuje nihanje ali manever gravitacijske pomoči.

Gravitacijske motnje: spremembe tirnice nebesnega telesa (npr. planeta, komete) zaradi interakcij z gravitacijskimi polji drugih nebesnih teles (npr. planeti velikani, druge zvezde).

Naklon: kot ravnine orbite ISS glede na Zemljin ekvator.

Obhodni čas: čas, potreben za obhod ene orbite.

Retrogradno gibanje planeta: navidezno gibanje planeta na nočnem nebu v smeri, nasprotni običajnemu opazovanju (progradno gibanje).

Sončni veter: tok visokoenergijskih delcev (plazme), ki jih oddaja zgornja atmosfera Sonca v vse smeri. Vsebuje večinoma elektrone in protone.

Spektrometer: instrument za razdelitev svetlobe na njene sestavne valovne dolžine, da je mogoče izmeriti lastnosti svetlobnega vira.

Sublimat (sublimacija): ko segrevanje povzroči, da snov preide neposredno iz trdne faze v plinasto fazo, pri čemer preskoči tekoče stanje. Ko se plin ponovno ohladi, običajno tvori trdno usedlino.

Povezave

Rosetta

Spletna stran ESA Rosetta: www.esa.int/rosetta

Spletni dnevnik ESA Rosetta: blogs.esa.int/rosetta/

Videoposnetki in animacije Rosetta: www.esa.int/spaceinvideos/Missions/Rosetta

Slike Rosetta: [www.esa.int/spaceinimages/Missions/Rosetta/\(class\)/image](http://www.esa.int/spaceinimages/Missions/Rosetta/(class)/image)

List z informacijami, vključno s časovnico misije: www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Rosetta_factsheet

Dosedanja zgodba: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta_the_story_so_far

Lov na komet: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Chasing_a_comet

12-letno potovanje skozi vesolje: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/10/Rosetta_s_twelve-year_journey_in_space

Rosettina orbita okoli kometa: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta_s_orbit_around_the_comet

Kako krožiti okoli kometa: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/08/How_to_orbit_a_comet

Kometi

Članek ESA Kids o kometih: www.esa.int/esaKIDSen/SEMWK7THKHF_OurUniverse_0.html

Spletna stran ESA Rosetta (tehnično): www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta

Spletno mesto ESA Giotto: sci.esa.int/giotto/

Članek ESA Kids o našem vesolju: www.esa.int/esaKIDSen/SEMYC9WJD1E_OurUniverse_0.html

Orbite

Animacija, ki prikazuje gibanje Marsa na nočnem nebu: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta_s_orbit_around_the_comet

Animacija o epiciklih: Epicikli v ESA Studio: www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/09/Studio_Epicicles

Animacija o epiciklih: Razlaga retrogradnega gibanja v ESA Studio: www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/09/ESA_Studio_Retrograde_Motion_Explanation

Rosettina orbita okoli kometa: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta_s_orbit_around_the_comet Otroški kviz

ESA o orbitah: www.esa.int/esaKIDSen/SEMZPCMVGJE_q.html

Prvi Keplerjev zakon: ESA Studio Zakon 1: www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/09/Law_1

Drugi Keplerjev zakon: ESA Studio Zakon 2: www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/09/Law_2

Tretji Keplerjev zakon: ESA Studio Zakon 3: www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/09/Law_3

Igra v simulatorju planetarnega sistema: phet.colorado.edu/sims/my-solar-system/my-solar-system_en.html

Igra simulatorja trčenja super planeta: www.stefanom.org/spc/

Mednarodna vesoljska postaja in avtomatsko transportno vozilo

Izobraževalni video ESA ATV-2 'Johannes Kepler': www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/ATV_Johannes_Kepler_-_Orbits_and_body_motion_in_space

Izobraževalni videoposnetek ESA ATV-4 'Albert Einstein': www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/ATV_Albert_Einstein_-_Relativity_of_space_and_time

Zbirka Učenje z vesoljem

ESA učenje z vesoljem – videoposnetek gravitacijskih vodnjakov | VP04:

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Gravity_wells_-_class-room_demonstration_video_VP04

ESA učenje z vesoljem – kuhanje kometa – vodnik za učitelje in dejavnosti za učence | P06:

ESA učenje z vesoljem – videoposnetek o kuhanju kometa | VP06:

www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/10/Cooking_a_comet_in-gradients_for_life_-_classroom_demonstration_video_VP06

ESA učenje z vesoljem – videoposnetek o čudovitih elipsah | VP02: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Marble-ous_ellip-ses_-_classroom_demonstration_video_VP02

učenje z vesoljem – čudovite elipse | P02
www.esa.int/education

Koncept, ki so ga za ESA razvili pri National Space Academy, UK
Illustrations by Kaleidoscope Design

Izdelek ESA Education
Copyright © European Space Agency 2014