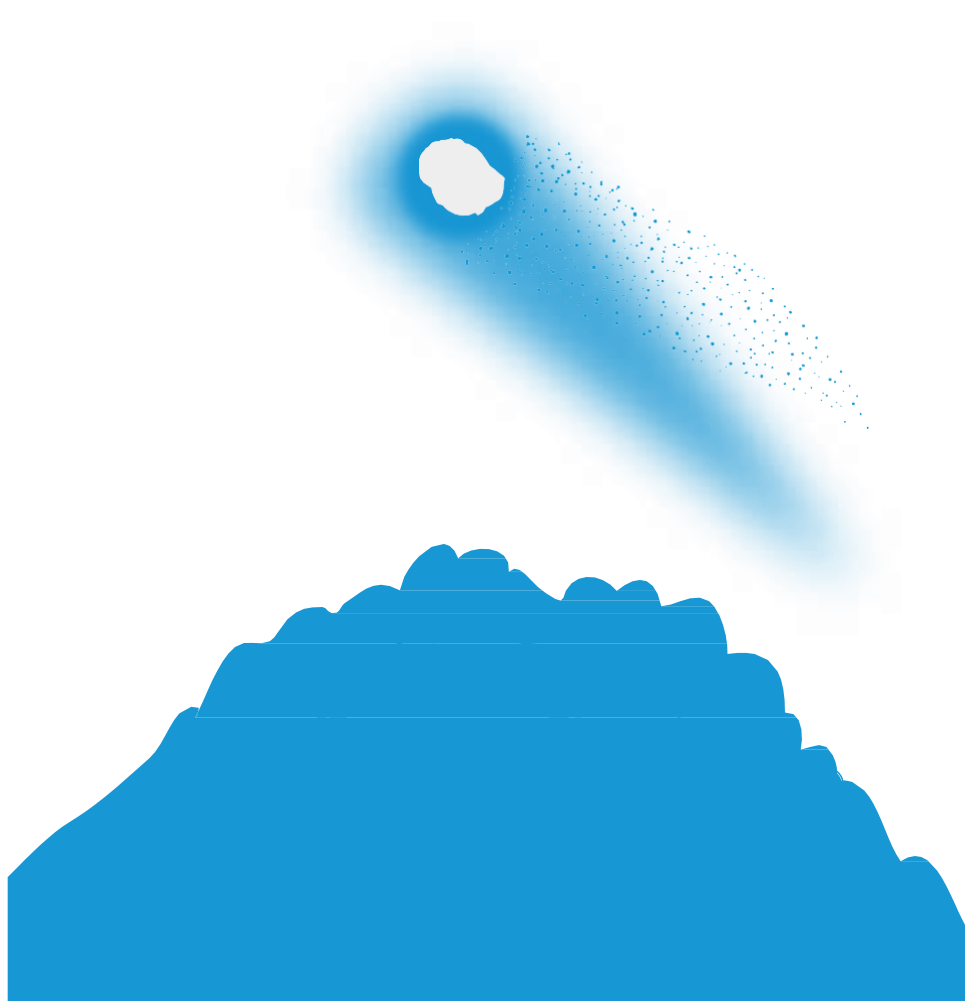


učenje z vesoljem

→ KUHANJE KOMETA

Sestavine za življenje?



→ UVOD

Kometi veljajo za časovne kapsule, ki vsebujejo informacije o razmerah iz zgodnjega Osončja. Da bi razumeli, kaj so kometi, od kod prihajajo in njihov vpliv na razvoj Zemlje, je treba ugotoviti, kakšne materiale vsebujejo. Ta predstavitev učiteljev in praktična dejavnost učencev skupaj s posledično razpravo daje vpogled v kemijske sestavine kometov. Vključena je tudi razširitev razprave in dejavnosti, ki obravnava procese trkov z Zemljo in izračune vključene kinetične energije.

Pregled	stran 3
Osnovne informacije	stran 4
Dejavnost – Kuhanje kometa	stran 12
Razprava	stran 14
Dodatna razprava	stran 18
Zaključek	stran 21
Delovni listi za učence	stran 22
Vesoljski kontekst @ESA	stran 24
Giotto	stran 24
SOHO	stran 27
Komet 103P/Hartley in Herschel	stran 28
Rosetta	stran 29
Priloga	stran 32
Glosar	stran 32
Povezave	stran 33

→ KUHANJE KOMETA

Sestavine za življenje?

HITRA

Starostni razpon: 14–18 let

Tip: predstavitev učitelja in dejavnost za učence

Kompleksnost: enostavno

Čas za pripravo učitelja: 20 minut

Potreben čas: od 20 minut do 1 ure

Cena na komplet: srednja (5–25 evrov)

Lokacija: v zaprtih prostorih (velika, dobro prezračena učilnica)

Potrebujemo: suhi led (trden ogljikov dioksid pri temperaturi pod -78°C)

Učenci bi morali že poznati:

1. Enačbo kinetične energije.
2. Pojma spektroskopija in infrardeče sevanje.

Učni cilji

1. Učenci razumejo osnovne razlike med kometi in asteroidi.
2. Učenci poznajo osnovne parametre sestave kometov.
3. Učenci so sposobni opraviti preproste izračune pretvorb energije, do katerih pride, ko kometi ali asteroidi trčijo v planete.

Potrebujete



↑ Videoposnetek o kuhanju kometa. Oglejte si razdelek s povezavami.

Povezave do učnega načrta

Fizika:

- kinetična energija;
- ohranjanje energije;
- spremembe faz;
- procesi pri trku;
- orbite (v sončnem sistemu).

Astronomija:

- lokacija in narava asteroidov in kometov;
- določitev značilnosti kometa (jedro, koma, prah in ionski rep);
- posledice trkov v Osončju;
- povezava Kuiperjevega pasu in Oortovega oblaka s kometi;
- vesoljske sonde, ki preučujejo telesa sončnega sistema.

Kemija:

- spremembe faz.

Povzetek

Pri tej dejavnosti učitelji in učenci v učilnici simulirajo jedro kometa. Uporabljene sestavine natančno predstavljajo podoben material, kot ga najdemo v pravem jedru kometa, ki je bil odkrit s spektroskopijo v kombinaciji z rezultati preletov vesoljskih plovil mimo različnih kometov.

→ OSNOVNE INFORMACIJE

Kaj so kometi?

Kometi so majhni, ledeni svetovi, ki izvirajo predvsem iz dveh območij v Osončju (Slika 1). Kratkoperiodični kometi (tisti z **orbitalno dobo***, krajšo 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 več tisoč **astronomskih enot (AU)*** in je predaleč, da bi ga lahko neposredno posneli. Namesto tega moramo orbiti dolgoperiodičnega kometa slediti nazaj v času, da ugotovimo njen izvor (Slika 2).



↑ Fotografija kometa Hale-Bopp, posneta na Hrvaškem.

Kometi bodo okoli Sonca krožili po pretežno stabilnih orbitah. Vendar lahko na objekte Kuiperjevega pasu 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 3).

Ko se komet še bolj približa Soncu, interakcija kome z naraščajočimi ravnmi sončnega sevanja in **sončnega vetra*** povzroči spektakularne »repe«, s katerimi so kometi najpogosteje povezani. Zelo redko so repi dovolj svetli, da jih lahko opazovalec na Zemlji opazi 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).

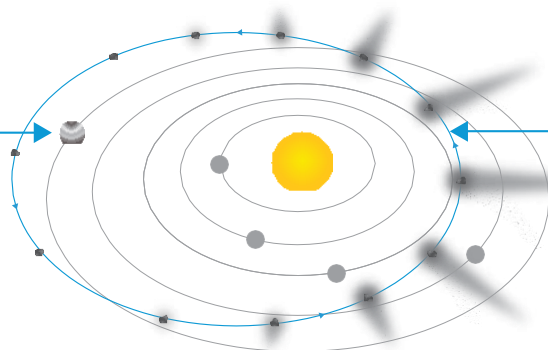
***Obhodni čas**: čas, potreben za obhod ene orbite.

***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, mimo tekočega stanja. Ko se plin ponovno ohladi, običajno tvori trdno usedlino.

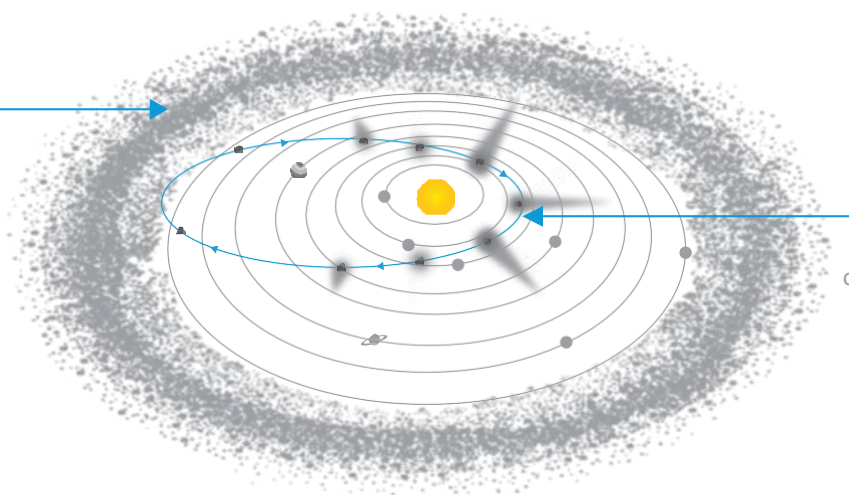
Jupiter
oddaljenost od sonca:
5,2 AU

**komet 67P/
Churyumov-
Gerasimenko**
obdobje = 6,5 let



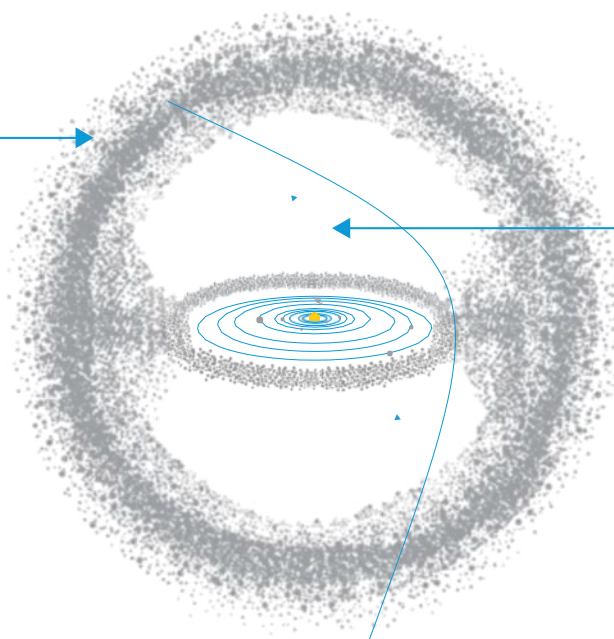
Kuiperjev pas
oddaljenost od
sonca: 30–50 AU

**komet
1P/Halley**
obdobje $\approx$ 75,5 let

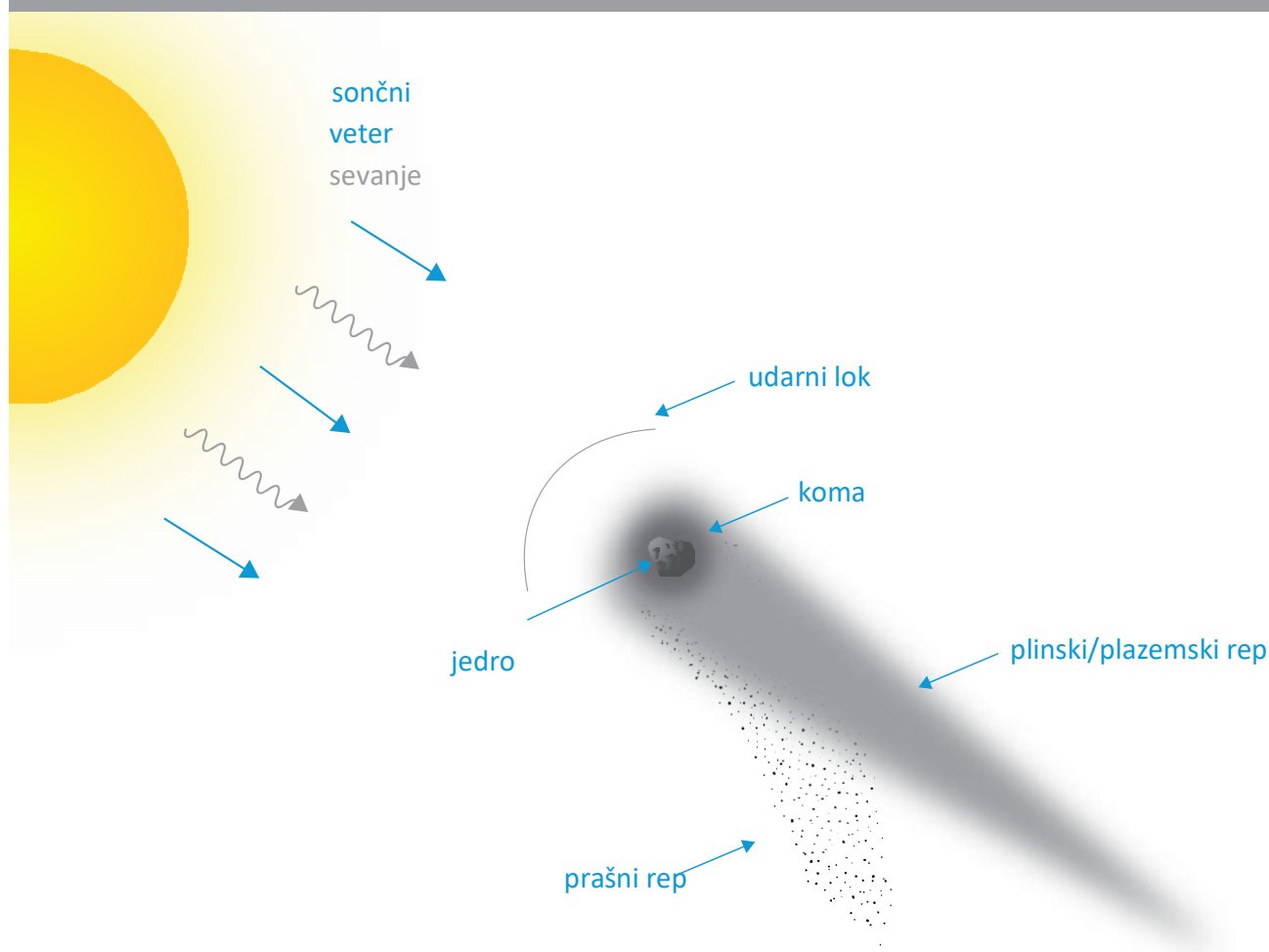


Oortov oblak
oddaljenost od
sonca:
več tisoč AU

**komet Siding Spring
(C/2013A1)**
ocenjeno obdobje
= milijoni let



↑ Orbite kometov v Osončju.



↑ Anatomija kometa.

Niso vsi repi kometov tako spektakularni, kot so prikazani na Sliki 1, niti niso vidni z Zemlje. Kako spektakularen bo videti njegov rep, je odvisno od velikosti jedra, njegovih sestavnih delov, koliko se približa Soncu in kolikokrat se je komet predhodno približal Soncu. Ko preide najbližjo točko pri Soncu (**perihelij***), se bo komet spet umaknil v hladnejše predele Osončja, saj bo trajno izgubil nekaj svoje mase.

Kometi imajo eliptično orbito s Soncem v enem žarišču (Slika 2), zato so vidni le kratek čas, ko se približajo periheliju. Za komete v zelo eliptičnih orbitah je to le majhen delež časa, ki ga potrebujejo, da opravijo eno orbito okoli Sonca. Zaradi učinkov gravitacije Sonca se večino svojega obstoja počasi oddaljujejo od Sonca v **afelij*** in pospešujejo proti Soncu do perihelija.

Za več informacij o eliptičnih orbitah in orbitah kometov si oglejte ESA Učenje z vesoljem – čudovite elipse | Vir učilnice P02 (glejte razdelek Povezave).

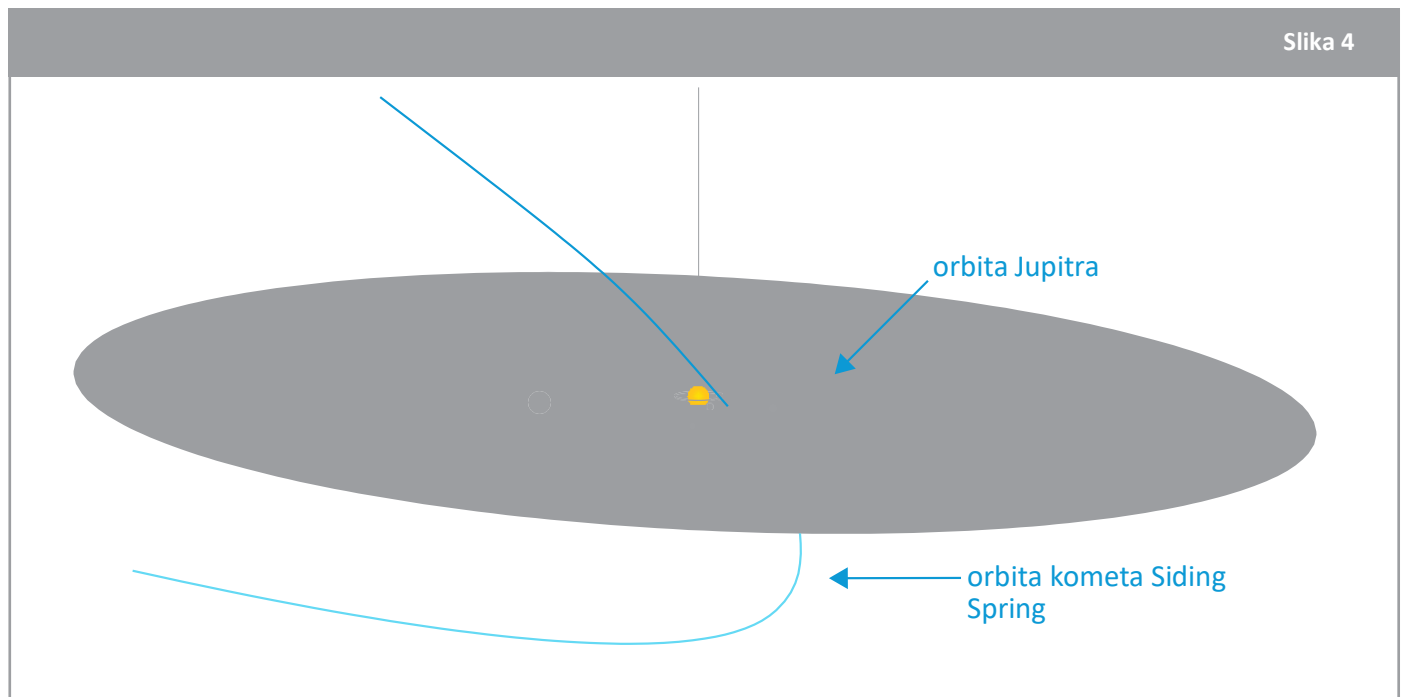
***Afelij**: točka v orbiti, najbolj oddaljena od Sonca.

***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, ki obremenijo sončno magnetno polje s plazmo. Posledica tega je, da se črte polja upognejo okoli kometa, povlečejo kometne ione in tvorijo plinski/plazemski/ionski rep.

***Perihelij**: točka v orbiti, najbližje Soncu.

Vplivi v sončnem sistemu

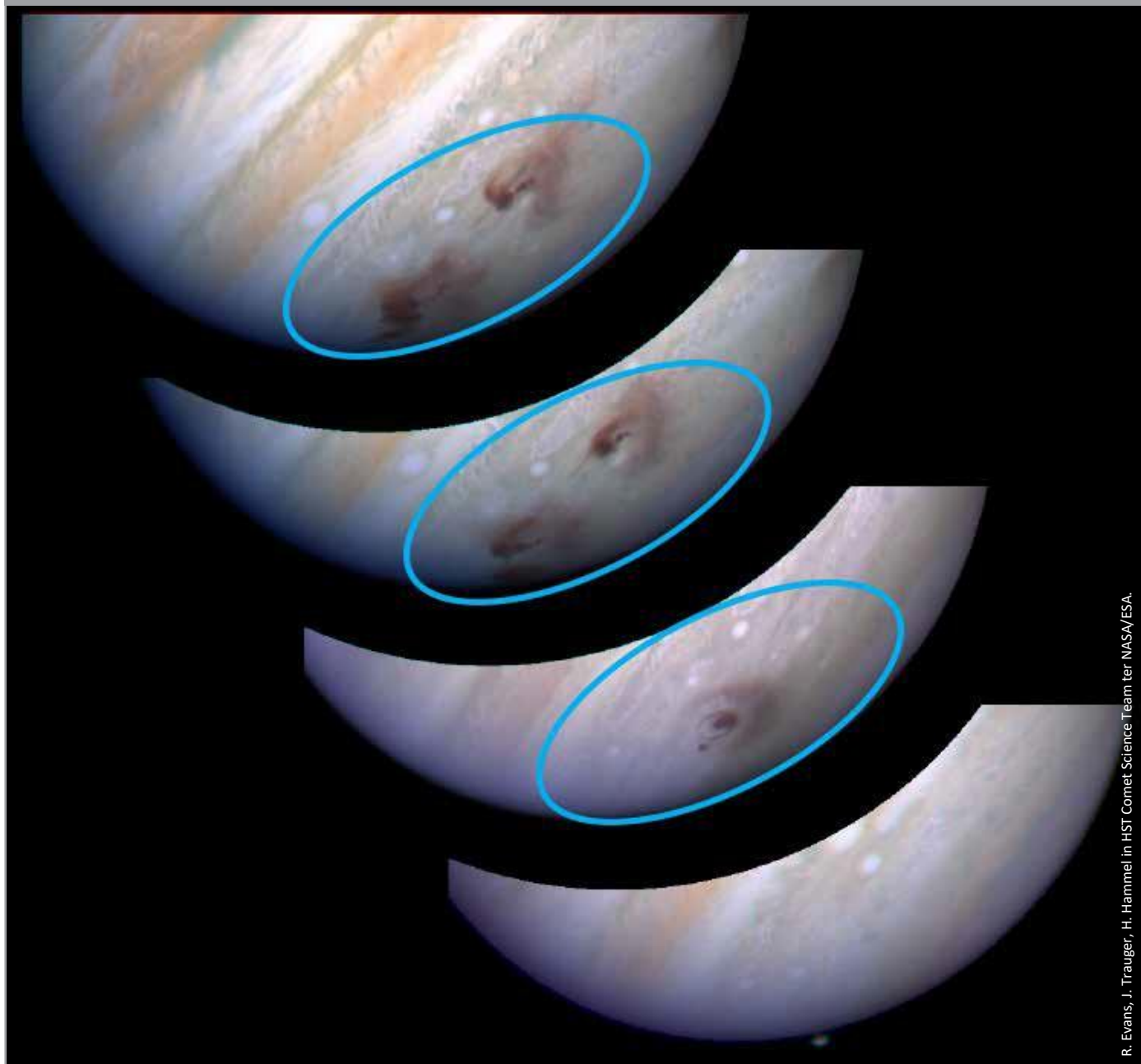
Slika 2 prikazuje orbitalne poti treh različnih kometov, za katere se zdi, da vsi prečkajo orbite planetov; to nakazuje, da so trki med kometi ali asteroidi in planeti neizogibni. Orbite kometov, ki potujejo iz Oortovega oblaka, so lahko zelo nagnjene glede na ravnino Osončja (ekliptiko), zato so zaradi perspektive številne poti, ki navidezno neposredno prečkajo planetarne orbite, zavajajoče. Pot kometa Siding Spring (C/2013 A1) med njegovim približevanjem periheliju leta 2014 ima na primer velik naklon glede na Zemljino orbitalno ravnino (Slika 4).



↑ Pot kometa Siding Spring (C/2013 A1) skozi Osončje.

Kljub temu obstaja ogromno dokazov, da kometi in asteroidi pogosto zadenejo planete (glede na geološke časovne lestvice). Proces pri trku so oblikovali večino kraterjev, opaženih na površinah lun in planetov v celotnem Osončju. Največja pogostnost trkov je bila v začetku zgodovine Osončja (obdobje poznega težkega bombardiranja), vendar se trki dogajajo še danes.

Leta 1994 so številni drobci kometa Shoemaker-Levy 9 (D/1993 F2) trčili v površino Jupitra. Največja opazovana posledica trka je imela premer več tisoč kilometrov. To je povzročil G-fragment kometa s premerom le nekaj kilometrov. Učinke tega vpliva na Jupitrovo atmosfero lahko vidite na Sliki 5, montaži posnetkov s časovnim zamikom, ki jih je posnel vesoljski teleskop Hubble.



R. Evans, J. Trauger, H. Hammel in HST Comet Science Team ter NASA/ESA.

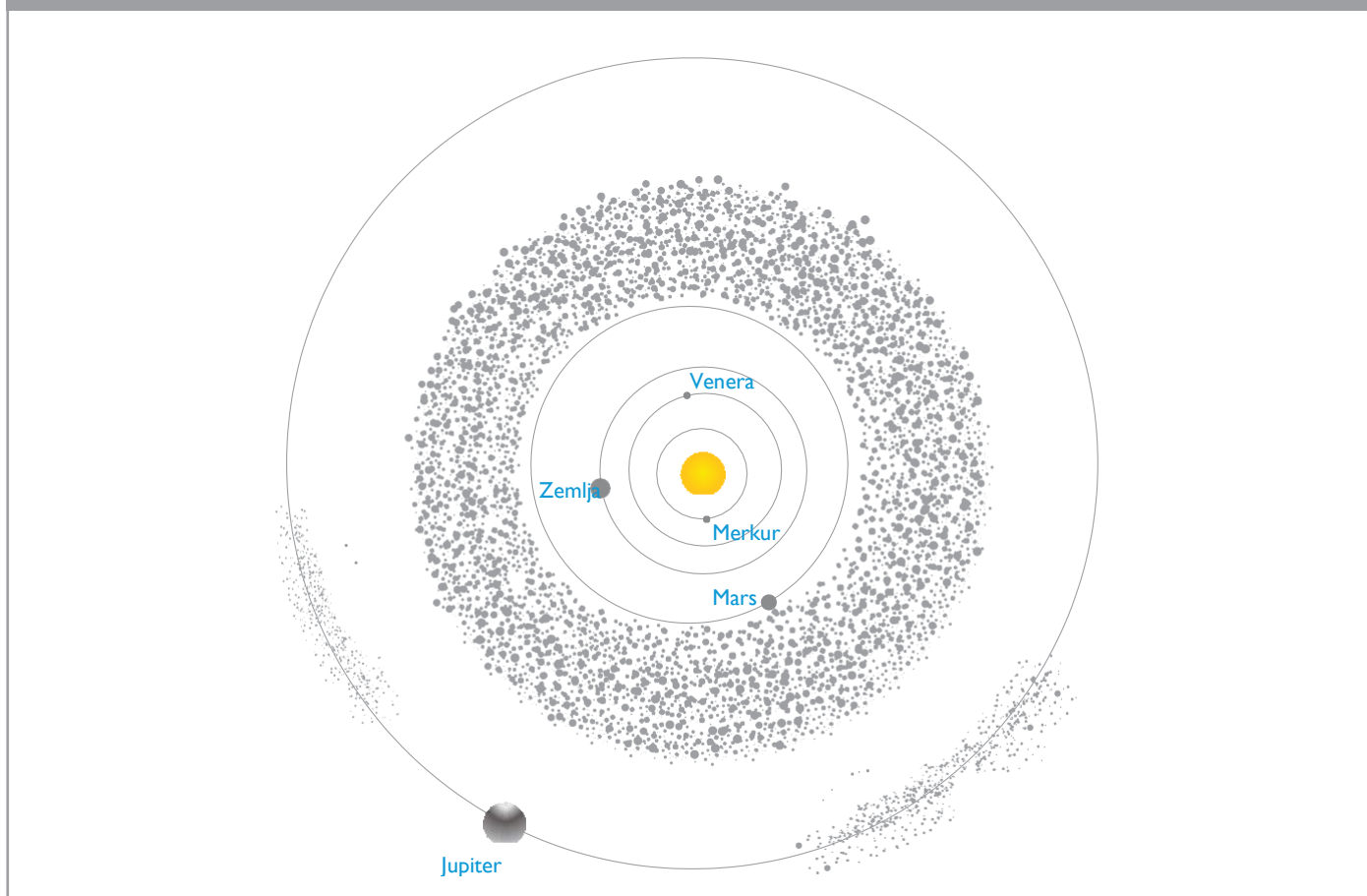
↑ Ta mozaik slik prikazuje razvoj lokacije trka G na Jupitru (poudarjeno z modro elipso).

Asteroidi

Kometi niso edini objekti, ki lahko zadenejo Zemljo in druga telesa v Osončju. Asteroidi, ki večinoma izvirajo iz asteroidnega pasu med Marsom in Jupitrom (Slika 6), so veliki kamniti ali kovinski predmeti. Na splošno so asteroidi nastali veliko bližje Soncu in zato vsebujejo manj svetlobnih elementov kot kometi. V sestavi asteroidov prevladujejo kovine, kovinski oksidi, minerali in silikati. V kometih večje količine lahkih elementov, kot so ogljik, vodik, kisik, dušik, fosfor in žveplo, omogočajo nastanek nekaterih spojin, npr. vode, metana in ogljikovega dioksida.

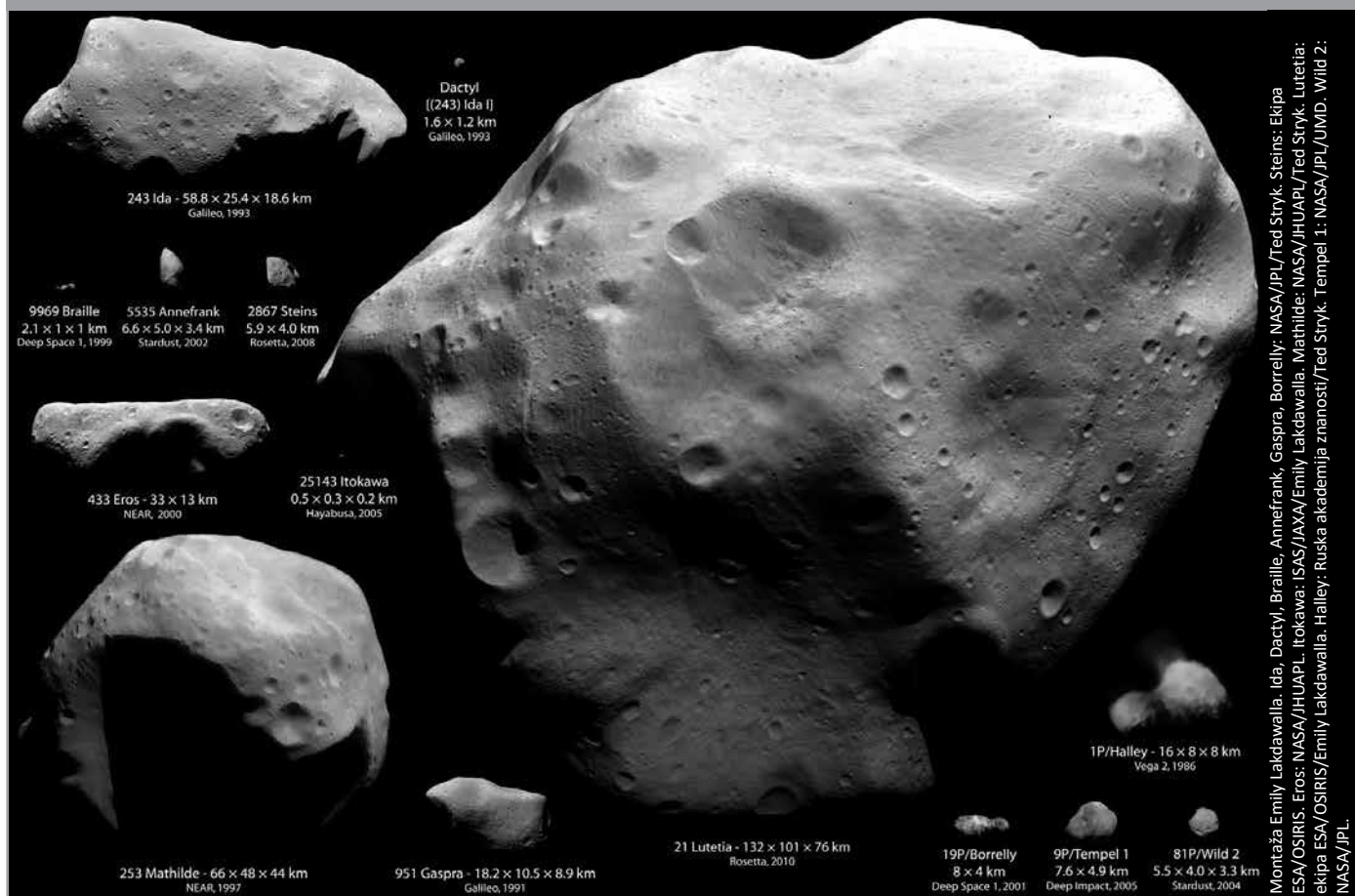
Največja znana asteroida sta Vesta in Pallas s premerom več kot 500 km. Slika 7 prikazuje primerjavo velikosti nekaterih asteroidov in kometov. Nepravilni asteroidi, prikazani na Sliki 7, so veliko manjši od Veste in Pallasa, vendar so mnogi precej večji od jeder komet, ki smo jih zajeli.

Slika 6



↑ Diagram porazdelitve asteroidov v Osončju. Večina asteroidov se nahaja v glavnem pasu med orbitama Marsa in Jupitra. Druge velike skupine asteroidov so Jupitrovi trojanci, ki zasedajo stabilne **Lagrangeove točke***, L4 in L5, na Jupitrovi orbiti.

***Lagrangeove točke:** v kateri koli orbitalni konfiguraciji obstaja pet točk, na katerih lahko stabilno kroži objekt, na katerega vpliva le gravitacija. Za več informacij si oglejte videoposnetek ESA Učenje z vesoljem – gravitacijski vodnjaki | VP04 (glejte poglavje Povezave).



↑ Primerjava velikosti asteroidov in kometov.

Vplivi na Zemljo

Zaradi aktivnih tektonskih in vremenskih procesov na površju Zemlje kraterji običajno po nekaj milijonih let več niso vidni. Geološko analizo podzemnih kamnin in drugih značilnosti pa lahko kljub temu uporabimo za sklepanje o nastanku kraterja v preteklosti. V začetku devetdesetih let prejšnjega stoletja je to pripeljalo do potrditve, da je pred približno 65 milijoni let komet ali asteroid s premerom približno 10 km trčil v Zemljo na območju, ki je zdaj znano kot Jukatan v Mehiki. Ta trk je oblikoval krater s premerom več kot 150 km. Posledične globalne podnebne spremembe so močno prispevale k enemu največjih izumrtij v Zemljini geološki zgodovini – izumrtju v obdobju krede in paleogena – kar je nazadnje pripeljalo do izumrtja dinosavrov.

V veliko novejši zgodovini so nastali manjši kraterji, ki so še vedno vidni – npr. Meteorski krater (znan tudi kot Barringerjev krater) v Arizoni v ZDA, prikazan na Sliki 8.

Slika 8



↑ Slika levo: Meteorski krater, Arizona, ZDA. Slika desno: Meteorski krater, fotografiran z Mednarodne vesoljske postaje.

Meteorski krater je nastal pred približno 50.000 leti zaradi asteroida iz niklja in železa, ki je trčil v ravninsko pokrajino Arizone v ZDA. Ta trk je oblikoval skoraj 200 m globok krater s premerom 1,5 km. Delci prvotnega telesa so raztreseni po okoliški pokrajini.

Leta 1908 je asteroid ali komet, katerega premer naj bi bil večji od 50 m, eksplodiral na nadmorski višini 5–10 km nad oddaljenim gozdnim območjem blizu reke Tunguska v današnjem Krasnojarsku v Rusiji. Domnevajo, da asteroid ali komet ni trčil v zemeljsko površje, a je sila eksplozije zravnila območje z gozdom na površini, veliki več kot 2000 km² (Slika 9).

Slika 9



↑ Podrta drevesa v eksplozivi v Tunguski.

Kuhanje kometa

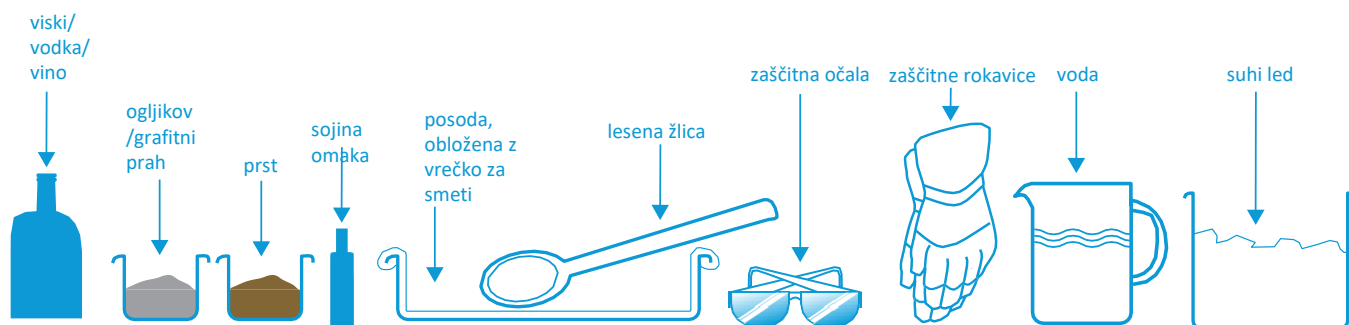
V tej predstavitvi učitelji v razredu simulirajo jedro kometa. Uporabljene sestavine natančno predstavljajo analog materiala, ki ga najdemo v pravem jedru kometa.

Različica te dejavnosti za učence uporablja manjše količine v plastičnih kozarcih. Pomembno je, da dobijo učenci jasna navodila o nevarnostih in upoštevajo zdravstvena in varnostna navodila. Navodila za učence so na voljo na delovnem listu za učence po dejavnosti.

Oprema:

- suhi led (približno 0,75 litra, najmanjši razpoložljivi peleti);
- voda (približno 0,75 litra);
- podloge za velike smetnjake/vreče za smeti;
- 10 žlic (4 zelo velike lesene žlice) prsti (pazite, da zemlja ni grudasta, ampak ima pravilno konsistenco);
- 1 žlica ogljikovega prahu/praška ali grafitnega prahu;
- 2–3 žlice viskija, vodke ali rdečega vina (komponenta metanola/etanola);
- nekaj kapljic sojine omake (ekološka komponenta);
- nekaj kapljic čistilnega sredstva (komponenta amonijaka);
- velika plastična posoda;
- vedro za odlaganje;
- lesena žlica;
- prosojni varnostni zaslon;
- polistirenska posoda za suhi led;
- temperaturno odporne zaščitne rokavice;
- zaščitna očala za vse udeležence in demonstratorje;
- zaščitni laboratorijski plašč za demonstratorja (izbirno);
- merilni vrči.

Slika A1



↑ Priprava poskusa.

Varnost in zdravje!

- Pri ravnanju s suhim ledom vedno uporabljajte zaščitne rokavice in zaščitna očala. Suhega ledu se ne dotikajte, ne pogoltnite ga in ga ne okušajte. Učencem dajte jasna navodila o nevarnosti in razdalji, na kateri morajo biti med predstavitvijo, saj lahko komet 'pljune'.
- Suhega ledu ne zaprite v posodo, ker lahko pride do eksplozivnega izpusta plinov!
- Komet zavržite zunaj v dobro prezračenem prostoru, do katerega učenci nimajo dostopa.
- Suhega ledu nikoli ne shranjujte v domačem zamrzovalniku.
- Poskus opravite v dobro prezračenem prostoru.

Navodila

Oglejte si priložen videoposnetek: Učenje z vesoljem – kuhanje komet | VC03.

1. Posodo obložite z vrečo za smeti. Predlagamo, da posodo postavite v vrečo za smeti in jo prekrijete z zgornjo plastjo. Tako bo komet pozneje lažje odstraniti. Vrečka naj bo na notranji strani posode gladka.
2. Dodajte naslednje sestavine: vodo, zemljo, ogljikov prah, vino/alkohol, čistilo in sojino omako. Te sestavine predstavljajo nekatere spojine pravega komete. Prostovoljci lahko sodelujejo, tako da dodajo nekatere sestavine. Dobro premešajte z leseno žlico.
3. Mešanici dodajte suhi led. Mešajte z leseno žlico. Pomagalo bo, če pomočnik med mešanjem drži posodo nagnjeno. Nato z zaščitnimi rokavicami približno 30 sekund komet oblikujte v kroglo. Če se komet ne zlepi zlahka, dodajte še malo vode. Ne stisnite ga preveč, saj se lahko zlomi.
4. Ko je predstavitev končana, postavite komet v skledo in skledo previdno odstranite iz vreče za smeti, tako da komet zaprete v skledo. Vrečo za smeti položite v vedro. Prepričajte se, da je vreča za smeti še vedno odprta, da lahko iz nje uhajajo plini. Jedro odstranite na prostem, kjer je dostop omejen. Suhi led v jedru bo sublimiral v 24 urah.

Namig: Če poskus izvedete jutraj, se lahko učenci vrnejo popoldne, da bodo videli, kako se je razvil komet.

Vaja dela boljše komete! Za doseganje najboljših rezultatov opravite nekaj testov, preden izvedete poskus z učenci.

Razprava

Kako sestavine predstavljajo tisto, kar najdemo v dejanskih jedrih kometov? Kakšne so posledice za življenje na našem planetu?

Prva spektroskopska opazovanja kometov so potekala v poznem 19. in zgodnjem 20. stoletju. Spektroskopija je astronomom omogočila, da so začeli odkrivati kemično sestavo kom na kometih. Ta zgodnja opazovanja so identificirala diatomske ogljik, natrijeve ione in različne molekule na osnovi ogljika, kisika in dušika.

Leta 1950 je ameriški astronom Fred Whipple predlagal nov model za opis jedra komet. Whipplov model 'umazane snežne kepe' predlaga, da imajo kometi ledeno jedro, sestavljeno iz sledi prahu, kamenja in večinoma zamrznjenih hlapnih snovi, kot so npr. **voda, ogljikov dioksid, metan in amonijak**. Opazovanja na Zemlji in v vesolju so pozneje sicer potrdila Whipplov model, čeprav so bile potrebne nekatere majhne spremembe. Opazovanja so namreč pokazala, da so jedra kometov večja in temnejša, kot je opisano v modelu.

Nedavna študija komet 103P/Hartley je pokazala, da ima njegova vsebnost **vode** enako izotopsko razmerje med devterijem in vodikom (težka voda) kot zemeljski oceani. To je bilo zelo pomembno odkritje. Voda je ključna molekula za življenje, kot ga poznamo. Je univerzalno topilo, ki omogoča raztapljanje različnih kemičnih sestavin. Znanstveniki verjamejo, da je voda ključna za razvoj življenja. Trki kometov na začetku Zemljine zgodovine so bili morda glavni vir prvotne zaloge vode na Zemlji.

Vsebnost **ogljika** na kometih je pomembna, saj na ogljiku temelji življenje, kot ga poznamo. Ta ključna sestavina za življenje na Zemlji bi lahko nastala zaradi trka komet.

Sojina omaka predstavlja aminokisline in predhodnike aminokislin, prisotne v kometih. Leta 2004 je Nasina misija Stardust zbrala vzorce prahu v kometu 81P/Wild, ki so bili vrnjeni na Zemljo. Analiza tega prahu je potrdila prisotnost glicina, najpreprostejše aminokisline, kar je izrednega pomena. Aminokisline so gradniki beljakovin. Kot take so glavni gradnik življenja samega. Najdba teh bioloških molekul (kemična formula $C_2H_5NO_2$) na telesu, ki ni Zemlja, bi lahko bila vznemirljiv namig znanstvenikom, da so morda nekatere sestavine za življenje na naš planet prispele s trki kometov pred milijardami let.

Poleg **ogljikovega dioksida** (suhi led), uporabljenega v predstavitvi, so bili tudi drugi plini v komah kometov odkriti s spektroskopijo. Ti vključujejo (vendar niso omejeni na) tiste, navedene v Tabeli 1.

Tabela A1

C ₂ H ₄	etilen
NH ₃	amonijak
CH ₄	metan
C ₂ H ₆	etan
C ₂ H ₅ NH ₂	etilamin
O ₂	kisik
CH ₃ OH	metanol
NH ₂ CH ₂ OH	aminometanol
H ₂ O ₂	vodikov peroksid
H ₂	vodik
CH ₃ COOH	ocetna kislina
CH ₃ NH ₂	metilamin
C ₂ H ₂	acetilen
HCN	vodikov cianid

↑ Plini, ki jih najdemo v jedrih kometov.

Kaj je suhi led?

Suhi led je zmrznjen ogljikov dioksid – CO₂, ki je pri standardnih temperaturnih in tlačnih pogojih plin.

Proces sublimacije, med katerim se ogljikov dioksid spremeni neposredno iz trdne snovi v plin, je odgovoren za nastanek kome komet. Obratni proces se imenuje desublimacija ali usedanje. Pri normalnem atmosferskem tlaku se bo ogljikov dioksid spremenil neposredno iz plina v trdno snov in tvoril suhi led pri –78 °C.

Kaj so beli oblaki/hlapi, vidni med predstavitvijo?

Ko se suhi led, uporabljen v predstavitvi, dvigne nad –78 °C, sublimira in tvori hladen plin. To ima učinek hlajenja vodne pare, prisotne v okoliškem zraku, ki kondenzira in tvori bele valovite oblake, ki ste jih opazili.

Kaj povzroča eksplozivno uhajanje plinov med predstavitvijo?

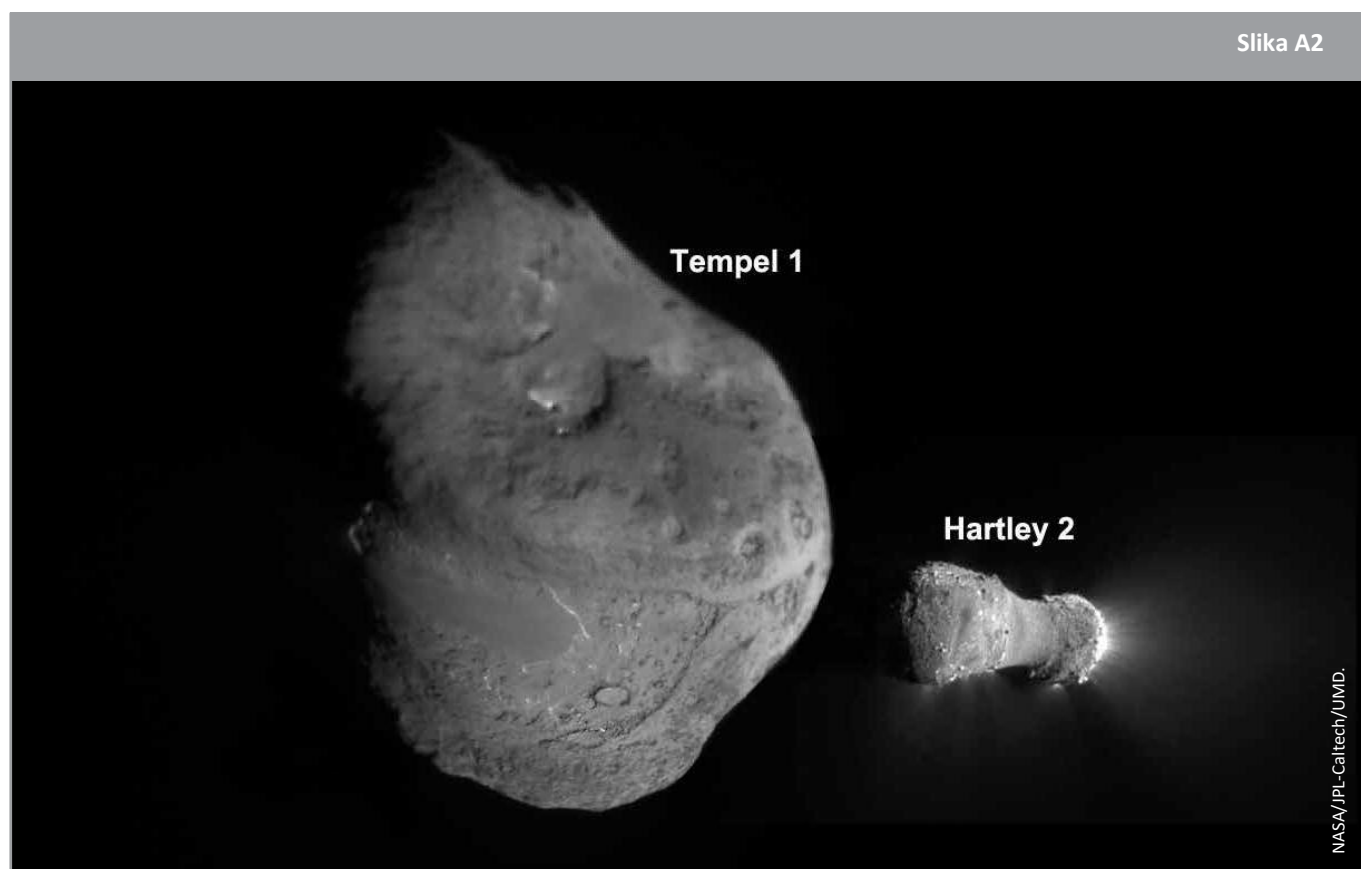
Pri tej dejavnosti med oblikovanjem jedra analognega komet delujeta dva konkurenčna dejavnika. Tekoča voda pride v toplotni stik s suhim ledom s temperaturo pod –78 °C; tekoča voda zmrzne in okoli suhega ledu tvori 'ledeno kletko'. Ker je suhi led v toplotnem stiku z materialom nad –78 °C, začne sublimirati. Sprememba suhega ledu iz trdne v plinasto fazo povzroči več kot 600-kratno spremembo volumna. To pomeni, da sublimirani žepi suhega ledu občasno eksplozivno izstopijo skozi skorjo vodnega ledu jedra. Ob tem toplo priporočamo uporabo zaščitnega laboratorijskega plašča, zaščitnih rokavic in zaščitnih očal.

Kakšne oblike in kako velika so jedra kometov?

Preleti* številnih vesoljskih plovil so potrdili različne oblike in velikosti jeder kometov. Te misije vključujejo Giotto (ESA – komet 1P/Halley in komet 26P/Grigg-Skjellerup), Stardust (NASA – komet 81/PWild in komet 9P/Tempel), Deep Impact (NASA – komet 9P/Tempel in komet 103P/Hartley) in Rosetta (ESA – komet 67P/Churyumov-Gerasimenko). Na sliki v merilu, prikazani na Sliki A2, je dolga os jedra komet 103P/Hartley dolga približno 2,2 km, jedro komet 9P/Tempel pa je na svojem najdaljšem delu dolgo približno 7,6 km. Predhodne meritve, ki jih je izvedla misija ESA Rosetta ob prihodu na komet 67P/Churyumov-Gerasimenko, so potrdile, da je njegova najdaljša dimenzija 4,1 km.

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

Montaža, prikazana na Sliki 7, prikazuje več posnetih jeter kometa v primerjavi s slikami, posnetimi iz različnih preletov asteroidov in več lun Osončja, ki so jih opravila vesoljska plovila (do leta 2010). Jetra kometa so prikazana v spodnjem desnem kotu Slike 7.

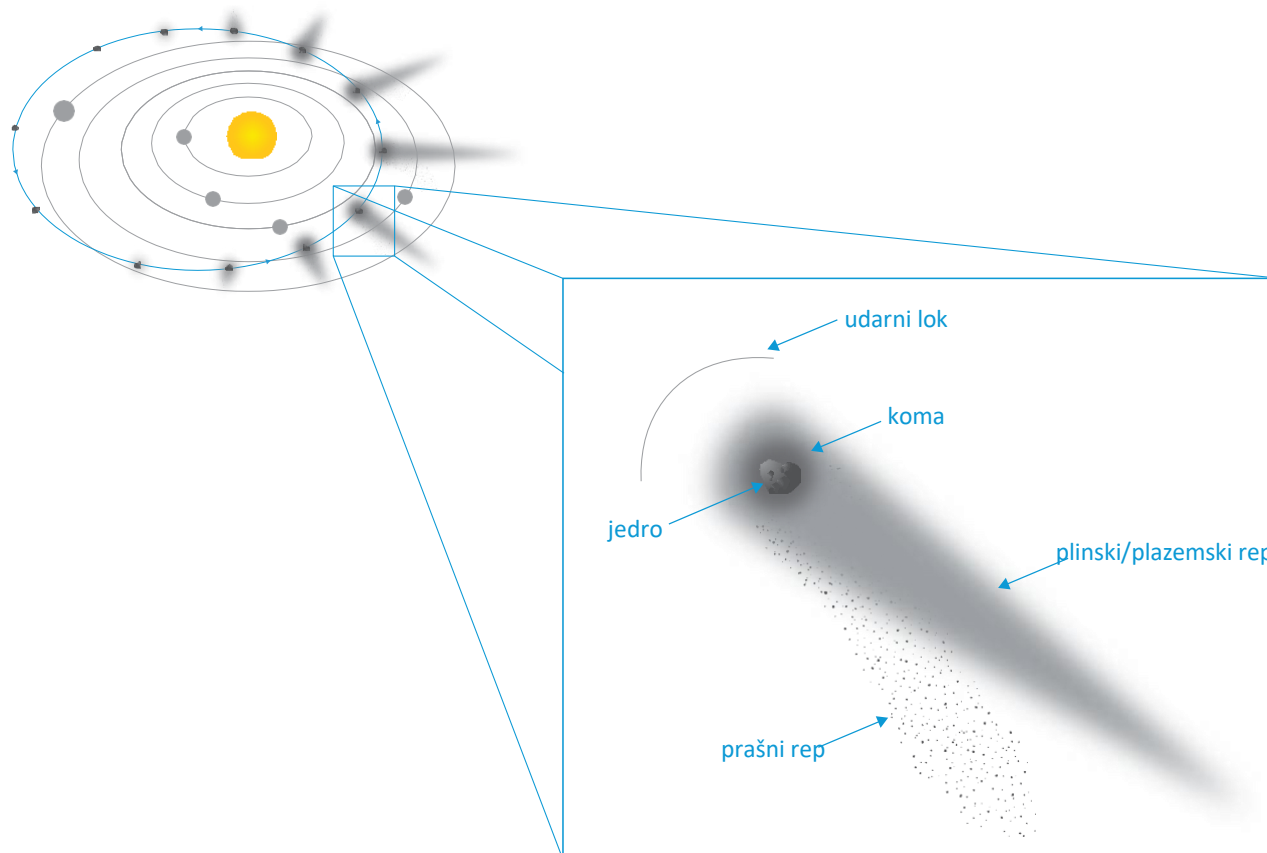


↑ Primerjava velikosti jeter kometa 9P/Tempel in kometa 103P/Hartley.

Zakaj so repi nekaterih kometov tako različnih oblik?

Oblika in videz repov kometov sta posledica interakcije med sončnim vetrom in sončnim sevanjem z materialom, ki ga izvrže jedro. Pogosto sta vidna dva repa, usmerjena v različne smeri. Eden je vedno usmerjen neposredno stran od Sonca. To je plazemski ali ionski rep. Ultravijolična svetloba Sonca ionizira pline v komi. Te ionizirane delce nato sončni veter odtegne stran od kometa. Drugi rep je rep prahu, ki ga tvori pritisk sončnega sevanja, ki majhne trdne delce v komi potiska stran od sonca. Rep prahu je rahlo zakrivljen nazaj oziroma ima lok v smeri, iz katere je komet pripotoval (Slika A3). Ker se stopnje sončne aktivnosti, rotacije jedra in hitrosti sproščanja plinov od kometa do kometa izjemno razlikujejo, je mogoče opaziti množico različnih oblik repov.

Slika A3

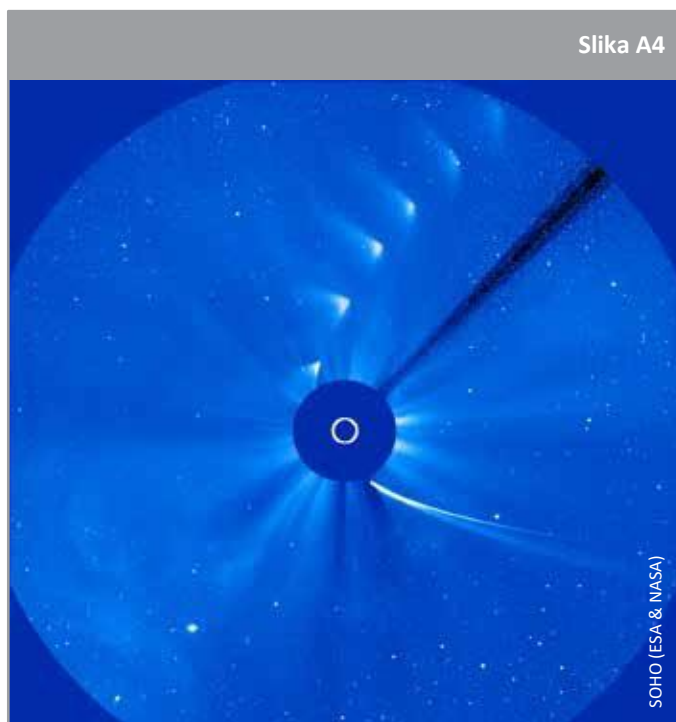


↑ Diagram, ki prikazuje dva repa kometa in kako se spreminjata v orbiti kometa okoli Sonca.

Kako dolgo bo zdržalo jedro kometa?

Kometi izgubljajo hlapne snovi (npr. ogljikov dioksid in vodo) in prah med vsakim prehodom perihelija, za seboj pa puščajo sledi ostankov. To pomeni, da ima lahko dano jedro končno število prehodov perihelija, preden se izčrpajo vse njegove hlapne snovi. Primer tega je bil komet 2012/S1 ISON, blizusončev komet, ki se je leta 2013 prvič približal periheliju (Slika A4). Zdelo se je, da je komet 2012/S1 ISON prenehal proizvajati plin in prah tik preden je oddirjal mimo Sonca.

Slika A4



↑ Oblet kometa ISON mimo Sonca, kot ga je videl satelit ESA/NASA SOHO 28.–30. novembra 2013.

Kakšni učinki bi lahko spremenili orbito kometa, ko je najbližje Soncu?

Ko se hlapne snovi v jedru kometa (kot sta ogljikov dioksid in voda) pri približevanju Soncu začnejo segrevati, lahko sproščanje povzroči povratni učinek. Ko se plin izloči, deluje z enako in nasprotno silo (tretji Newtonov zakon) na komet, zato zelo rahlo potisne komet. Posledica tega je lahko rahlo spreminjanje orbitalne poti kometa in tudi njegove periode okoli Sonca, saj se jedro odkloni od predvidene poti. Glede na to da se večina jeder tudi vrti (morda okoli več osi, prevrača se tako naprej kot bočno), se lahko od kometa do kometa odstopanja zelo razlikujejo.

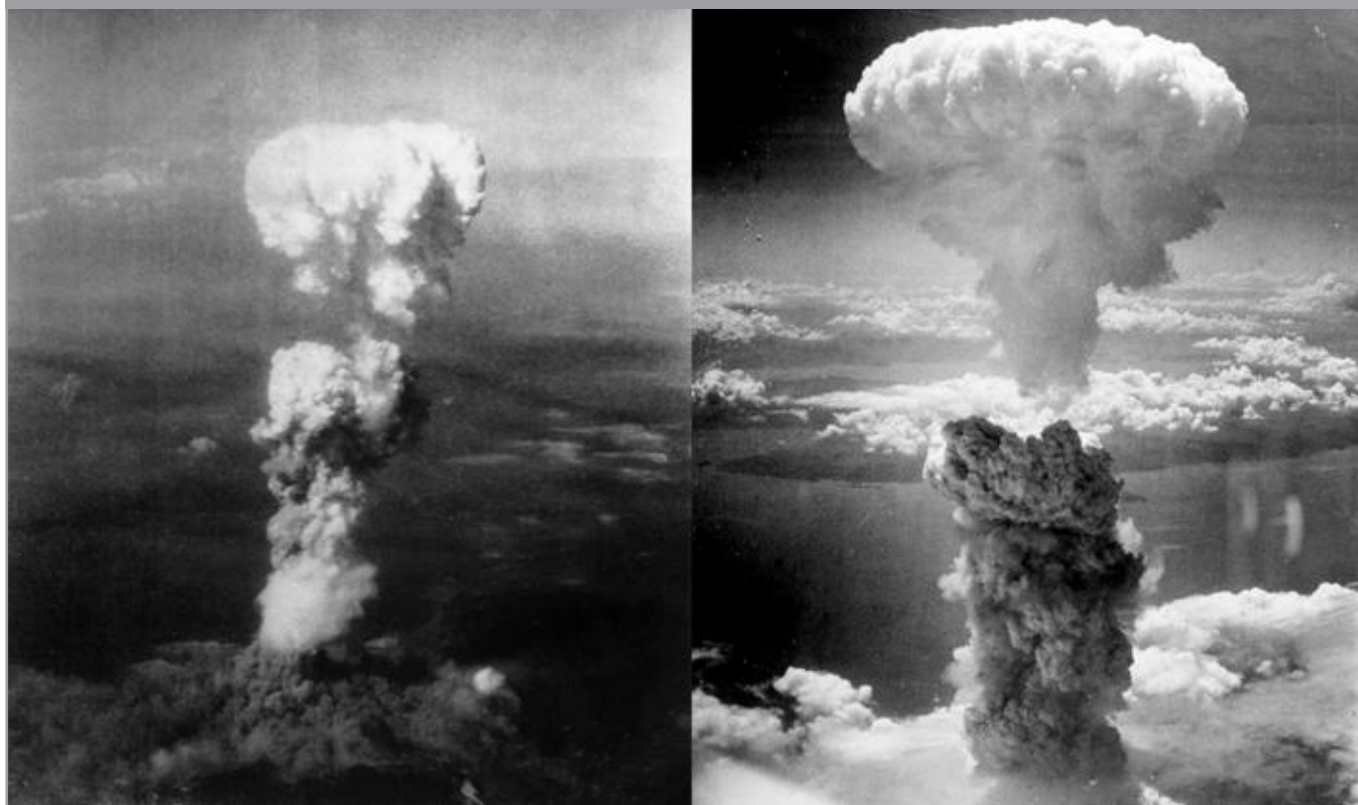
Dodatna razprava – ali lahko kometi ali asteroidi kdaj zadenejo Zemljo?

Z uporabo tega, kar smo ugotovili med jedrskimi eksplozijami, ki so jih izvajale različne države od leta 1945 naprej, in z enačbo kinetične energije je mogoče ustvariti dober približek velikosti udarne glave, ki je ustvarila meteorski krater.

Energija jedrskega orožja se meri v kilotonah (kt) – pri čemer je 1 kt enaka energijskemu izkoristku 1000 ton raztreliwa TNT. $1 \text{ kt} = 4,2 \times 10^{12} \text{ J}$.

Atomski bombi na Hirošimo in Nagasaki (Slika A5) sta imeli vsaka energijsko moč okoli 20 kt.

Slika A5



↑ Leva slika: Nad Hirošimo se vije dim iz prve atomske bombe. Desna slika: Atomsko bombardiranje Nagasakija.

Da bi ustvarili krater velikosti meteorskega kraterja iz kamnine, ki jo najdemo na tem območju, bi potrebovali približno 2,5 Mt (2500 kt) ali približno 125 bomb, odvrženih na Hirošimo. En matematični/računalniški simulacijski model kaže, da je udarna glava zadela Zemljo pri približno $12,8 \text{ km s}^{-1}$. S tem imamo dovolj informacij za izračun približne velikosti udarne glave.

Po okoliški pokrajini je raztresenih veliko drobcev udarne glave, ki je oblikovala meteorski krater. Analiza teh drobcev je pokazala, da je bila udarna glava sestavljena iz 92 % železa in 7 % niklja (preostali 1 % je vseboval silikatne snovi in druge elemente v sledih). Udarne glave je imela povprečno gostoto okoli 7000 kg m^{-3} .

S temi informacijami je mogoče opraviti naslednje izračune – ob predpostavki, da je bila vsa kinetična energija udarne glave pretvorjena v energijo udarca za nastanek kraterja:

1. Povzetek parametrov

kinetična energija, $E_k = 2500 \text{ kt}$

Vstopna hitrost = $12,8 \text{ km s}^{-1}$

$1 \text{ kt} = 4,2 \times 10^{12} \text{ J}$

Gostota železovega meteorita, $\rho = 7000 \text{ kg m}^{-3}$

2. Energijo, potrebno za razstrelitev kraterja, pretvorite v joule.

$$E_k = 2500 \text{ kt} = 2500 \times 4,2 \times 10^{12} \text{ J} = 1,05 \times 10^{16} \text{ J}$$

3. Uporabite enačbo za kinetično energijo, da izračunate maso udarne glave.

$$E_k = \frac{1}{2} mv^2$$

Preureditev za m:

$$m = (2E_k)/v^2 = (2 \times 1,05 \times 10^{16} \text{ J}) / (12.800 \text{ m s}^{-1})^2 = 128 \times 10^6 \text{ kg} = 128.000 \text{ t}$$

4. Uporabite enačbo za gostoto, da izračunate maso udarne glave. Ker je

masa = gostota x prostornina

$$\text{prostornina} = \text{masa} / \text{gostota} = (128 \times 10^6 \text{ kg}) / (7000 \text{ kg m}^{-3}) = 1,83 \times 10^4 \text{ m}^3$$

5. Ob predpostavki, da je udarna glava sferična, uporabite enačbo krogle za izračun polmera udarne glave. Druga možnost je, da udarno glavo modelirate kot kocko.

$$\text{Ker je prostornina krogle} = \frac{4}{3}\pi r^3$$

S preureditvijo,

$$r^3 = (3 \times 1,83 \times 10^4 \text{ m}^3) / (4 \times \pi) = 4371 \text{ m}$$

zato je $r = 16,4 \text{ m}$

Učenci lahko nato raziščejo omejitve/negotovosti v predpostavkah modeliranja, ki vključujejo:

- predpostavko, da se pretvori 100 % kinetične energije – energija se izgubi tudi v drugih oblikah, kot sta zvok in toplotno segrevanje ozračja;
- negotovost glede hitrosti udarca – ta vrednost je izpeljana iz opazovanj starega udarnega kraterja in je zato lahko netočna, kar povzroči nepravilen izračun velikosti;
- učinek udarnega kota – količina kamna, ki se upari/izhlapi, se bo razlikovala glede na vstopni kot. Ker je veliko prvotnih dejavnikov izpeljanih iz teh dokazov, vstopni kot močno vpliva na rezultate. Eksperimentiranje z različnimi vstopnimi koti za isto udarno glavo z uporabo simulatorja trkov Down2Earth (glejte spodaj in razdelek s povezavami) lahko razširi to točko.

Spletni simulator trkov – 'Down2Earth'

Down2Earth (glejte razdelek s povezavami) je spletni simulator trkov za izobraževalne namene, ki učencem omogoča nastavitve parametrov za udarec, kot so sestava objekta trka (asteroida ali kometa), vstopni kot, velikost, vrsto kamnine na mestu trka in mesto trka. Učenci lahko predvidijo učinek teh dejavnikov na velikost kraterja in jih povežejo s prenosi energije med trkom, nato pa lahko svoje napovedi preizkusijo v virtualnem okolju.

→ ZAKLJUČEK

Kometi zagotavljajo zanimiv kontekst za poučevanje številnih in različnih tem v razredu, od gravitacijskih polj in orbit, kinetične energije in prenosa energije, do spektroskopije kometov in sestavin za življenje. Naše navdušenje nad temi zamrznjenimi svetovi ponuja obilico razburljivih priložnosti za učenje.

Kuhanje mini kometa

V tej dejavnosti boste z uporabo običajnih sestavin za predstavitev glavnih skupin materialov, ki jih najdemo v jedrih kometa, izdelali analogno jedro kometa. Nekateri materiali, kot je suhi led, so nevarni – vaš učitelj vam bo dal navodila, kako jih uporabljati.

Oprema:

- suhi led (približno 100 ml);
- voda (približno 100 ml);
- Majhne vrečke za smeti
- 3 čajne žličke prsti;
- 1 čajna žlica ogljikovega prahu/praška ali grafitnega prahu;
- 1 čajna žlička viskija, vodke ali rdečega vina (komponenta metanola/etanola);
- nekaj kapljic sojine omake (ekološka komponenta);
- kapljica čistilnega sredstva (komponenta amonijaka);
- plastični kozarec za enkratno uporabo;
- vedro za odlaganje;
- čajna žlička;
- polistirenska posoda za suhi led;
- temperaturno odporne zaščitne rokavice;
- zaščitna očala za vse udeležence;
- zaščitni laboratorijski plašč.

Navodila

1. V prekrit plastični kozarec za enkratno uporabo dodajte naslednje sestavine: vodo, zemljo, ogljikov prah, vino/alkohol, čistilo in sojino omako. Te sestavine predstavljajo nekatere spojine pravega kometa. S čajno žličko dobro premešajte.
2. Dodajte suhi led. Zmešajte vodo in mešanico suhega ledu. Nato z zaščitnimi rokavicami približno 30 sekund komet oblikujte v kroglo. Ne stisnite ga preveč, saj se lahko zlomi.
3. Ko je aktivnost končana, komet položite v vrečo za smeti in ga odložite v vedro, ki vam ga da učitelj.

Izračun mase, hitrosti in energije kometa

S temi vprašanji boste s pomočjo podatkov v spodnji tabeli raziskali maso, hitrosti in energije kometov.

masa Sonca

$$m_{\text{Son}} = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$$

gostota ledu

$$\rho = 1000 \text{ kg m}^{-3}$$

gravitacijska konstanta

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$$

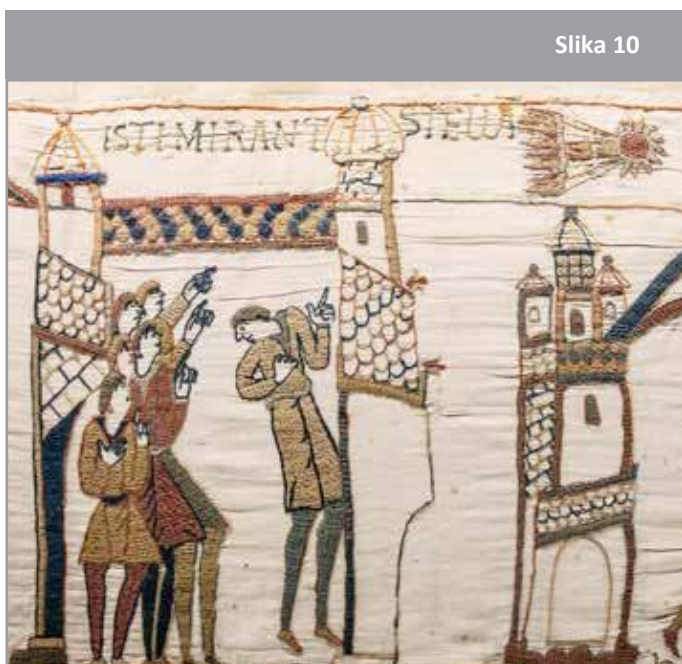
Vprašanja

- Komet ima kinetično energijo $4,5 \times 10^{13} \text{ J}$. Potuje s hitrostjo 34 km s^{-1} . Izračunajte maso kometa.
- Velik komet z maso $5,2 \times 10^8 \text{ kg}$ skoraj trči v Zemljo in preleti atmosfero. V času merjenja je bila njegova hitrost $49,0 \text{ km s}^{-1}$.
 - Izračunajte kinetično energijo kometa (v J).
 - Če je energija, ki jo sprosti, 1 kilotona (1000 ton) eksplozije TNT-ja, $4,2 \times 10^{12} \text{ J}$, koliko kiloton energije bi imel ta komet, če bi trčil v Zemljo?
 - Po skorajšnjem trku sta se masa in pot kometa spremenili. Predlagajte razlog za to.
- Komet je v eliptični orbiti okoli Sonca. Soncu se najbolj približa na razdalji $4,9 \times 10^{10} \text{ m}$. Na tej točki je njegova hitrost $8,9 \times 10^4 \text{ ms}^{-1}$. Izvira iz Oortovega oblaka, daleč onstran orbite Neptuna. Kakšna je njegova hitrost, ko je oddaljen $1,5 \times 10^{11} \text{ m}$ od Sonca (to je orbitalna oddaljenost Zemlje od Sonca)?
- Kako so udarci kometov in asteroidov po vašem mnenju vplivali na Zemljo in življenje na Zemlji v njeni zgodovini?

→ VESOLJSKI KONTEKST @ESA

Giotto

Komet 1P/Halley ima obhodno obdobje približno 75,5 let (številka se zaradi izpusta plinov iz njegovega jedra in gravitacijskih motenj nekoliko razlikuje od orbite do orbite). Ta komet smo redno opazovali z Zemlje (s prostim očesom), opažanja pa smo beležili od okoli leta 240 pr. n. št. Zapisi teh opazovanj so astronomom omogočili omejitev orbite kometa 1P/Halley na nekaj mesecev okoli perihelija. Eden slavnih zapisov o vidnosti kometa 1P/Halley z Zemlje je bil narejen na tapiseriji iz Bayeuxa, ki prikazuje bitko pri Hastingsu leta 1066 (Slika 10).



Slika 10

↑ Komet 1P/Halley, upodobljen na tapiseriji iz Bayeuxa.



Slika 11

↑ Giotto je pripravljen na test sončne simulacije. Avtorske pravice: ESA.

Nedavno, leta 1986, se je komet 1P/Halley prvič od začetka vesoljske dobe približal Soncu. Vesoljsko plovilo ESA Giotto (Slika 11) je letelo mimo njegovega jedra na razdalji manj kot 600 km in pridobilo prve slike jedra kometa od blizu (Sliki 12 in 13). Ta opažanja so spremenila razumevanje znanstvenikov o teh ledenih objektih.

Plovilo Giotto je opazilo, da je bila površina jedra zelo temna, bolj črna od premoga: to je nakazovalo, da je prekrita s plastjo prahu. Podatki so pokazali, da je bila številčnost ali razmerje lahkih elementov (vodik, ogljik in kisik) v kometu 1P/Halley podobno Soncu, kar pomeni, da je sestavljeno iz prvotnega materiala, iz katerega je nastalo Osončje.

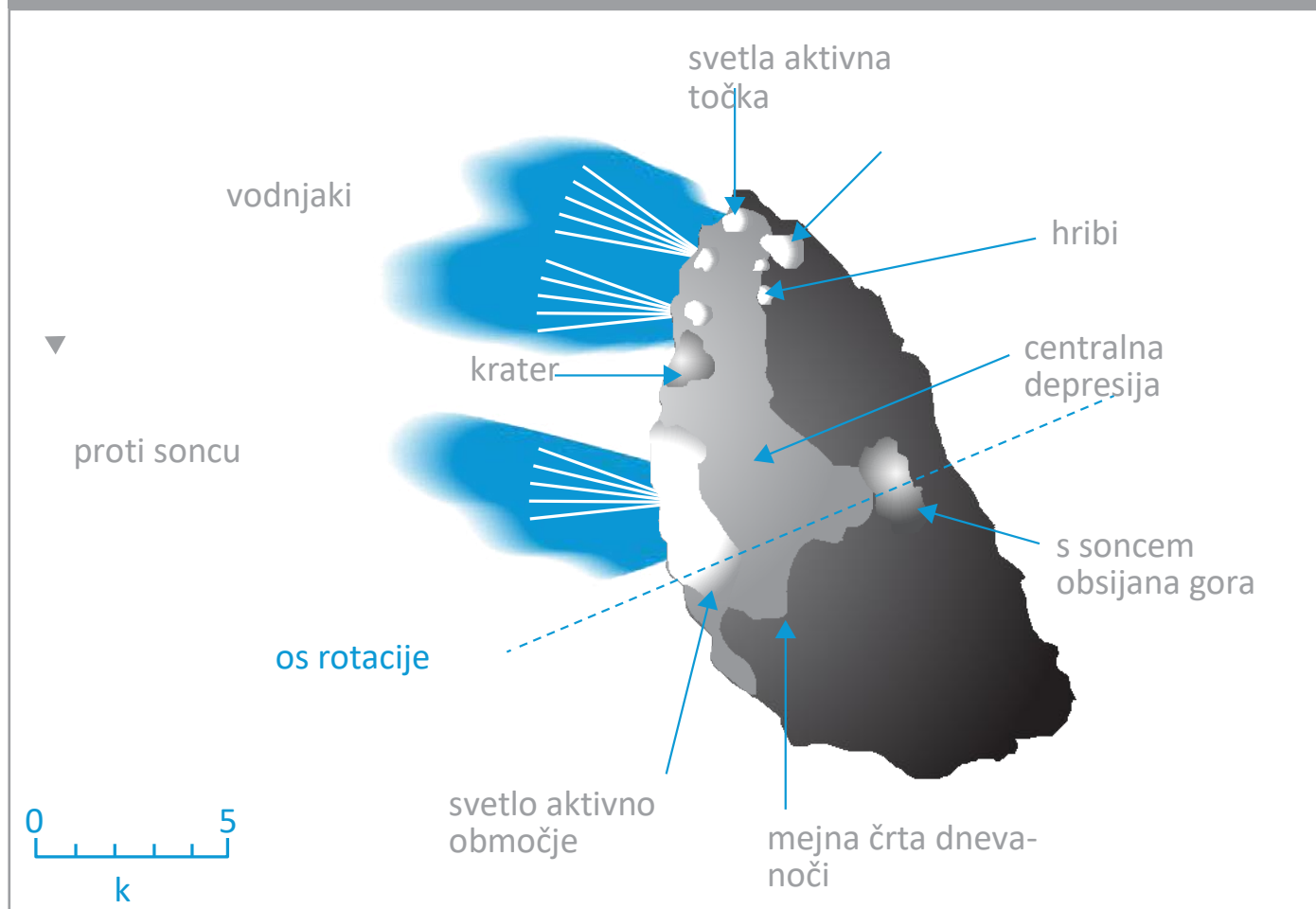
Montaža slik na Sliki 12 prikazuje več značilnosti, ki postajajo vidne, ko se je plovilo približalo jedru.



↑ Jedro kometa 1P/Halley, kot ga je videlo plovilo Giotto med najbližjim obhodom.



↑ Pogled na sliko jedra kometa 1P/Halley, kot ga je videlo plovilo Giotto.



↑ Glavne značilnosti, določene s slikami kometa 1P/Halley, ki jih je vrnila sonda Giotto Evropske vesoljske agencije.

Slika 14 prikazuje lastnosti, interpretirane s slike kometa 1P/Halleyjevega jedra (Slika 13). S površine jedra je mogoče videti curke materiala ali vodnjake prahu. To je posledica hitre sublimacije hlapnih snovi na in blizu površine jedra. Ko se poveča tlak teh hlapnih snovi, ki se širijo, se sčasoma sprostijo v procesu, znanem kot izločanje plinov.

SOHO – Sončni in heliosferski observatorij

ESA/NASA Solar and Heliospheric Observatory ali SOHO spremlja Sonce z razdalje 1,5 milijona kilometrov od Zemlje (Slika 15). Tukaj skupna gravitacija Zemlje in Sonca drži vesoljsko plovilo v orbiti, priklenjeni na linijo Zemlja–Sonce. S tega položaja ima SOHO nemoten pogled na Sonce in ga tako lahko opazuje 24 ur na dan.

SOHO je bil zasnovan za preučevanje notranje strukture Sonca, njegove razširjene zunanje atmosfere (korone) in izvora sončnega vetra. SOHO, lansiran leta 1995, je opazoval Sonce v celotnem sončnem ciklu in znanstvenikom priskrbel dragocene podatke za pomoč pri razumevanju vzponov in padcev dolgoročnega obnašanja Sonca.

S svojega edinstvenega položaja je imel SOHO tudi priložnost opazovati na tisoče sončnih kometov, vključno s kometom 2012/S1 ISON, blizusončevim kometom, ki se je leta 2013 močno približal v svojem periheliju. SOHO je odkril največ kometov v zgodovini; od izstrelitve je našel več kot 2700 kometov.

Slika 15



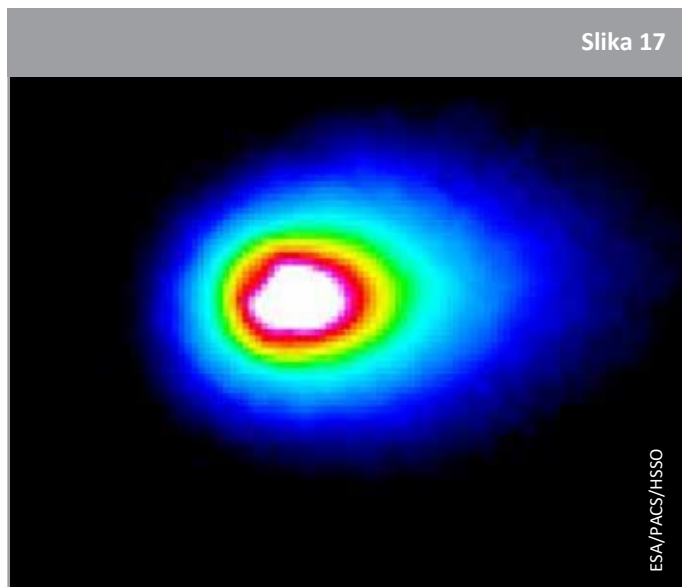
↑ Umetnikov vtis observatorija SOHO.

Komet 103P/Hartley in Herschel

Infrardeči vesoljski observatorij ESA Herschel (Slika 16) je bil lansiran leta 2009 ter je nosil največji in najzmogljivejši infrardeči teleskop, ki je kdaj letel v vesolje. To je bil prvi observatorij, ki je pokrival celotno območje, od dolgih infrardečih do podmilimetrskih valovnih dolžin. Herschelova opazovanja so raziskovala dlje v daljni infrardeči del kot katera koli prejšnja misija, in sicer s preučevanjem drugače nevidnih prašnih in hladnih območij vesolja, bližnjih in oddaljenih.



Slika 16



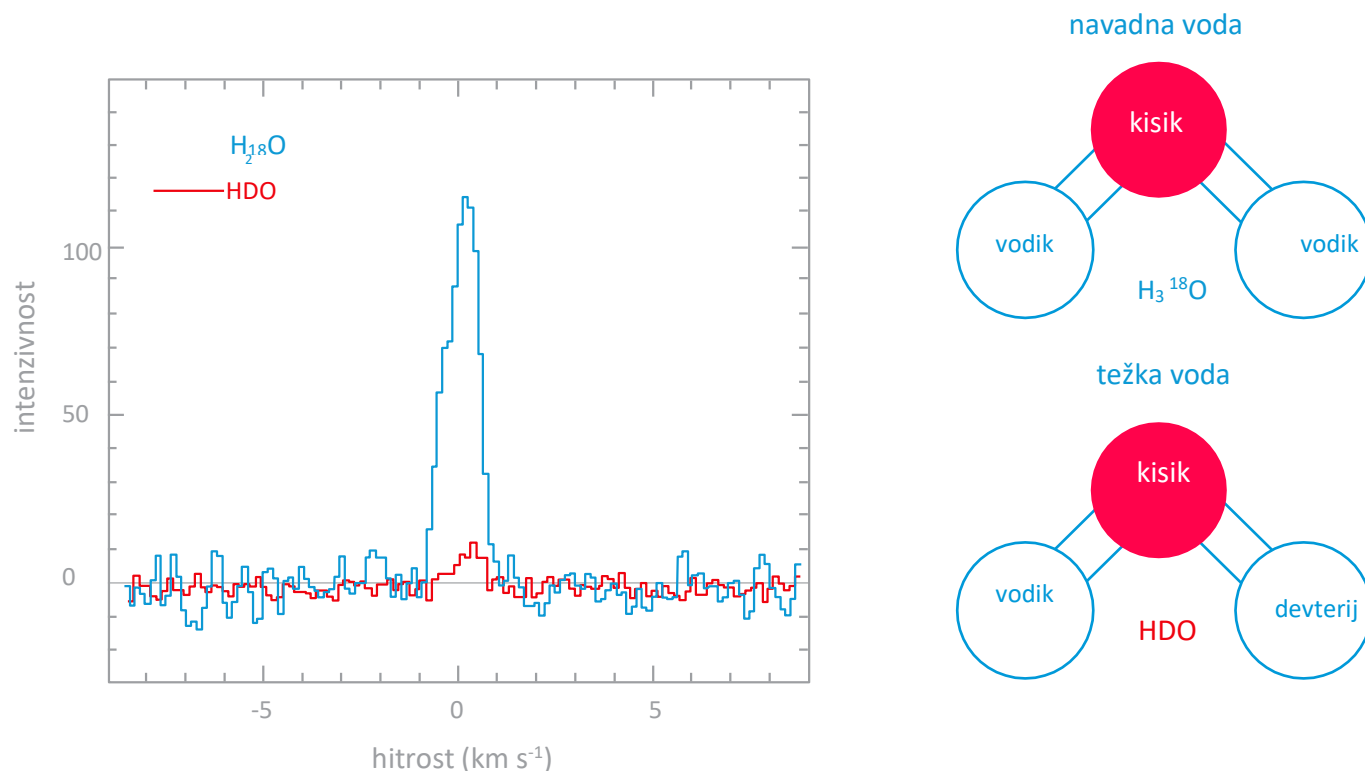
Slika 17

↑ Komet 103P/Hartley, kot ga vidi instrument PACS na infrardečem vesoljskem observatoriju Herschel.

Leta 2010 je Herschel opravil spektroskopsko opazovanje komete 103P/Hartley v daljni infrardeči svetlobi in opazoval emisijo velikih količin vode iz njegovega jedra, kot je prikazano z rdečo in belo barvo na Sliki 17. Ta opazovanja so bila izvedena blizu perihelija komete (najbližji obhod Sonca).

↑ Umetnikov vtis o infrardečem vesoljskem observatoriju Herschel.

Meritve infrardeče spektroskopije, ki jih je izvedel instrument HIFI na krovu Herschela, so omogočile oceno razmerja med devterijem (»težkim vodikom« – atomi vodika z nevtronom v svojih jedrih in protonom) in vodikom v izpuščeni vodi, ki ga oddaja jedro komete (tj. razmerje med normalno vodo in 'devterirano' vodo; Slika 18). Ugotovili so, da ima – za razliko od drugih opazovanih kometov – vsebnost vode na tem kometu enako razmerje kot vsebnost vode oceanov na Zemlji. To je prispevalo prvi neposredni dokaz v podporo teoriji, da prvotna vsebnost vode na Zemlji izhaja iz istega vira kot tista na nekaterih kometih.



↑ Z dodatnim nevtronom v eni od vodikovih komponent molekule težka voda proizvede manjši spektralni vrh.

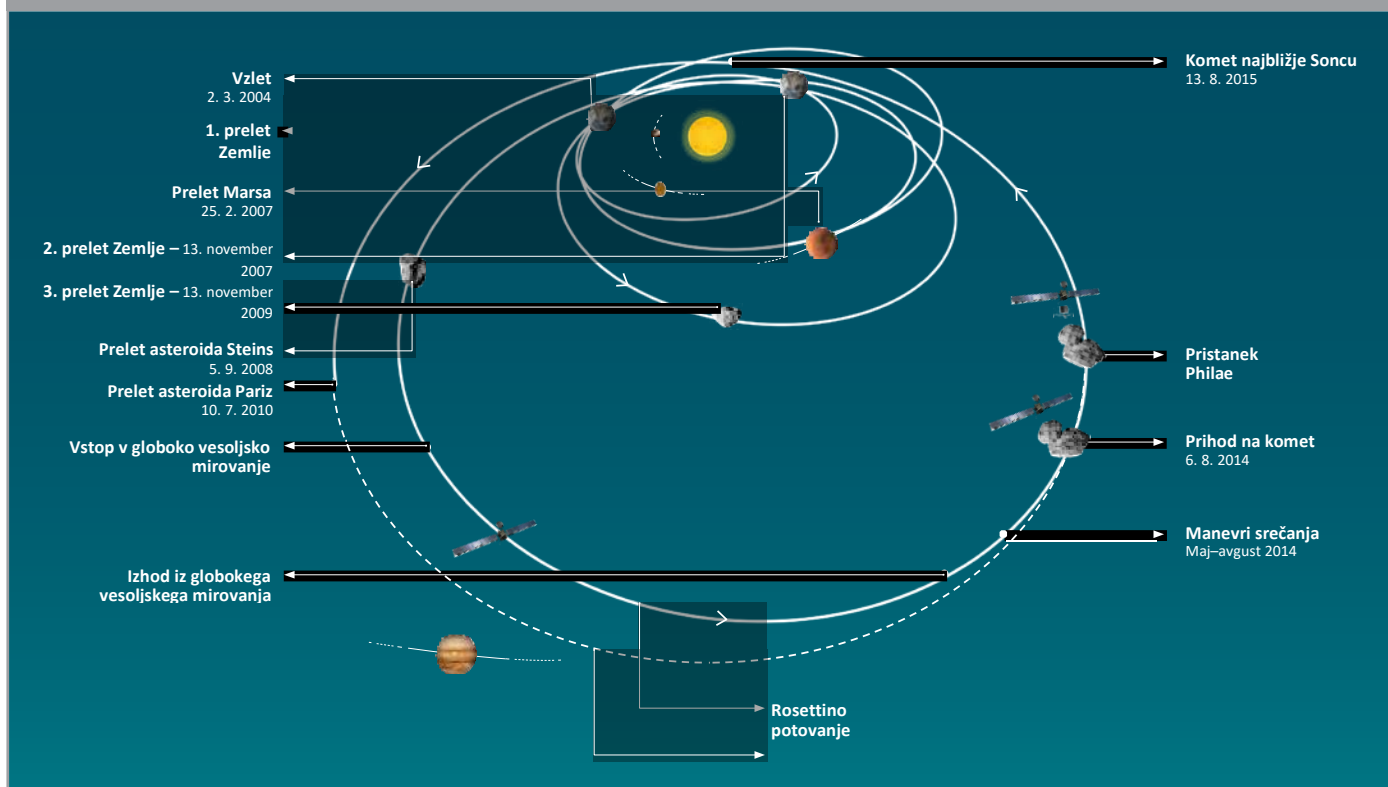
Rosetta

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 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 igrali ključno vlogo pri razvoju planetov, saj je znano, da so bili trki kometov v zgodnji fazi Osončja veliko pogostejši kot danes. Npr. kometi so morda 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 lahko igrali ključno vlogo pri razvoju življenja na Zemlji.

Da bi prišla do kometa, je morala Rosetta izvesti serijo gravitacijskih »frač«, pri katerih se gravitacija nebesnega telesa uporablja za pomoč pri pospeševanju vesoljskega plovila (Slika 19). 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 spremenila dimenzije eliptične orbite.



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

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

Januarja 2014 je Rosettina vnaprej programirana notranja 'budilka' v pripravi 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 za znanstvena opazovanja. Nato je bila izvedena serija desetih kritičnih orbitalnih korekcijskih manevrov za zmanjšanje hitrosti vesoljskega plovila glede na komet in posledično uskladitev njegove eliptične orbite.

Ko je Rosetta 6. avgusta 2014 prispela do kometa 67P/Churyumov-Gerasimeko, je začela izvajati nadaljnje manevre, da bi se postavila v »orbito« okoli jedra kometa. S tega izhodišča lahko Rosettin nabor instrumentov zagotovi podrobno znanstveno študijo kometa, ki preučuje in kartira površje s podrobnostmi brez primere (Slika 20).

Slika 20



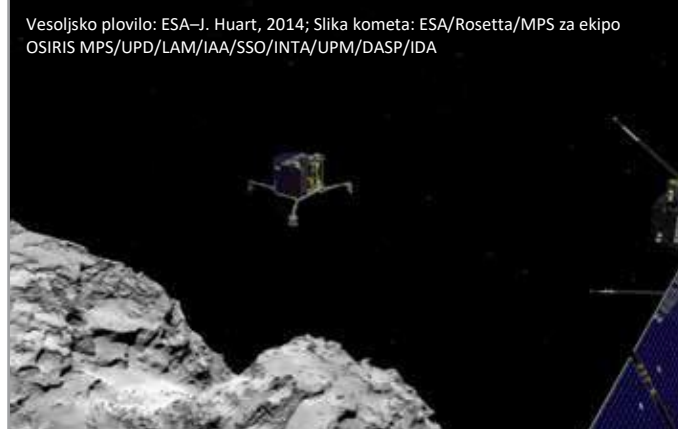
↑ Mozaik NAVCAM s štirimi slikami kometa 67P/Churyumov Gerasimenko, z uporabo slik, posnetih 19. septembra 2014, ko je bila Rosetta 28,6 km od kometa.

Po pristanku je Rosetta še naprej spremljala komet na njegovem eliptičnem potovanju. Rosetta je s kometom pospešila nazaj proti notranjosti Osončja in bo 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 poskusila prvič 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, ki pristaja na površini.

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

Slika 21



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

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

→ PRILOGA

Slovar izrazov

Afelij: Točka v orbiti, ki je najbolj oddaljena od Sonca.

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 sončnim vetrom. 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. Posledično se črte polja okoli komete upognejo, 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 planeta za povečanje svoje hitrosti in spremembo poti, se to imenuje nihanje ali maneuver gravitacijske pomoči.

Gravitacijske motnje: Spremembe tirnice nebesnega telesa (npr. planeta, komete) zaradi interakcij z gravitacijskimi polji drugih nebesnih teles (npr. planeti velikani, drugimi zvezdami).

Lagrangeove točke: V kateri koli orbitalni konfiguraciji obstaja pet točk, na katerih lahko stabilno kroži objekt, na katerega vpliva le gravitacija. Za več informacij si oglejte videoposnetek ESA Učenje z vesoljem – gravitacijski vodnjaki | VP04 (poglavje Povezave).

Obhodni čas: Čas, potreben za obhod ene orbite.

Perihelij: Točka na orbiti, ki je najbližje Soncu.

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.

Sublimat (sublimacija): Ko segrevanje povzroči, da snov preide neposredno iz trdne faze v plinasto fazo, mimo tekočega stanja. 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 Rosetta, 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/ Spletno mesto ESA

Rosetta:

www.esa.int/rosetta

Članek ESA Kids o našem vesolju:

www.esa.int/esaKIDSen/SEMYC9WJD1E_OurUniverse_0.html

Giotto

Pregled misije Giotto:

www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Giotto_overview

Herschel

Spletna stran vesoljskega observatorija ESA Herschel:

www.esa.int/herschel

So zemeljski oceani nastali iz kometov?:

www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Herschel/Did_Earth_s_oceans_come_from_comets

SOHO

Spletna stran ESA SOHO:

soho.esac.esa.int

Videoposnetek stika kometa ISON s Soncem, kot ga je videl satelit ESA/NASA SOHO:

sci.esa.int/soho/54346-soholasco-view-of-comet-ison-27-30-november-2013/

Earth impact

Simulator trkov Down2Earth:
education.down2earth.eu/

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](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Gravity_wells_-_class-room_demonstration_video_VP04)

ESA učenje z vesoljem – čudovite elipse vodnik za učitelje in dejavnosti za učence | P02:

esamultimedia.esa.int/docs/edu/P02_Marble-ous_ellipses_teacher_guide.pdf

ESA učenje z vesoljem – videoposnetek o čudovitih elipsah | VP02:

[www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Marble-ous_ellip-ses - classroom demonstration video VP02](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/07/Marble-ous_ellip-ses_-_classroom_demonstration_video_VP02)

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](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/10/Cooking_a_comet_in-gradients_for_life_-_classroom_demonstration_video_VP06)

učenje z vesoljem – kuhanje kometa | P06
www.esa.int/education

Material so za ESA razvili pri National Space
Academy, UK Illustrations by Kaleidoscope Design

Izdelek ESA Education
Copyright © European Space Agency 2014