

NA OBISKU PRI KOMETU

JANEZ STRNAD

Fakulteta za matematiko in fiziko
Univerza v Ljubljani

PACS: 96.30.Cw

Vesoljsko sondo Rosetta, ki se kot umetni satelit giblje okoli kometa Čurjumov-Gerasimenko, in pristanek njenega pristajalnika Philae na tem kometu pogosto navedejo kot najpomembnejši dosežek v fiziki leta 2014. Izšla so tudi že prva poročila o rezultatih merilnikov na Rosetti.

VISITING A COMET

The spacecraft Rosetta, that is moving as an artificial satellite around the comet Churyumov-Gerasimenko, and the landing of the lander Philae on this comet is often quoted as the breakthrough of the year 2014 in physics. First results obtained with instruments on Rosetta have already been published.

Kometi

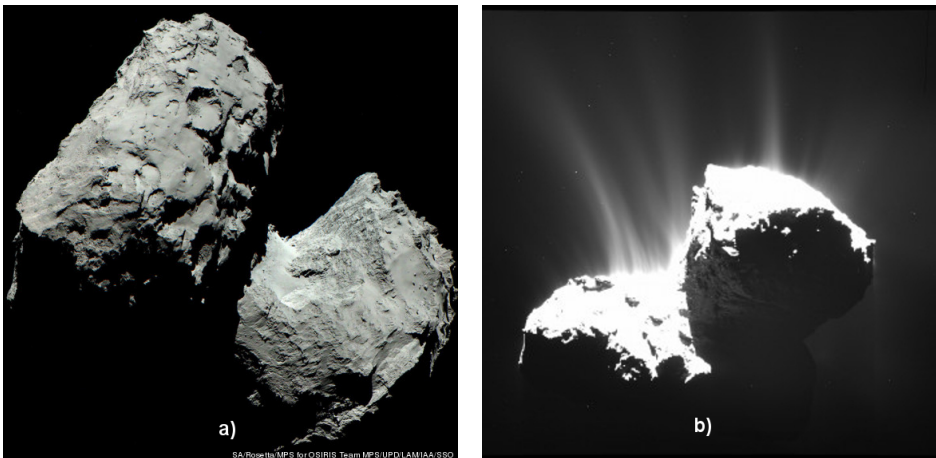
Komete med vsemi telesi v Osončju sestavlja snov, ki je najbolj podobna snovi na začetku Osončja. Astrofiziki si prizadevajo, da bi ugotovili sestavo snovi kometov. Zanimajo jih tudi organske spojine v njej, ki bi utegnile osvetliti razvoj življenja na Zemlji. Večina aminokislin v živih bitjih na Zemlji je levosučnih. Ali je med nesimetričnimi organskimi molekulami na kometu več levosučnih kot desnosučnih?

Ob vrnitvi Halleyjevega kometa leta 1986 so proti njemu usmerili več sond, da bi spoznali njegovo sestavo. Pozneje so proti raznim kometom poslali še nekaj sond. Pri hitrih obletih (flyby) mimo kometa so sonde zajele in analizirale le snov *kome*, to je oblaka plinov in prahu, ki obdaja jedro kometa. Spoznali so, da tako ne bo mogoče dobiti podrobnih podatkov o sestavi kometnega jedra. Z obleti tudi niso mogli neposredno zasledovati pojavov na kometu, ko se bliža Soncu in se razvijejo koma in značilna repa.

Pri Evropski vesoljski agenciji ESA in Severnoameriški vesoljski agenciji NASA so se lotili načrtov. Pri ESA so se odločili za sondo, ki naj bi se z vzorcem kometnega jedra vrnila na Zemljo, pri NASA pa za sondo, ki naj bi od blizu posnela srečanje kometa in asteroida. Leta 1992 se je NASA zaradi pomanjkanja sredstev odpovedala načrtu. Leto pozneje je iz enakega razloga ESA spremenila načrt. Po novem naj bi leta 2003 izstrelili sondo Rosetta, ki bi se kot umetni satelit gibala okoli kometa 46P/Wirtanen in nanj poslala

pristajalnik Philae. Toda leto pred tem se je ponesrečila izstrelitev rakete, kakršno so nameravali uporabiti. Dokler niso ugotovili vzroka za napako, so zadržali izstrelitve. Tako se je izstrelitev Rosette zakasnila. Zato so izbrali komet 67P/Čurjumov-Gerasimenko, ki je večji od kometa Wirtanen, in prilagodili dele načrta.

67P je komet iz Jupitrove družine, ki se mu je zaradi vpliva Jupitra in asteroidov v pasu med Marsom in Jupitrom perihelij, to je najmanjša razdalja, do katere se je približal Soncu, s časom manjšal. Po letu 1959 pa se je tirnica ustalila. Komet je periodičen z obhodnim časom 6,55 leta. Njegov vrtiljaj traja 12,4 ure. Giblje se po elipsi z veliko polosjo $a = 3,463$ a.e. in ekscentričnostjo $\varepsilon = 0,641$ (astronomska enota, a.e., je približno enaka povprečni oddaljenosti Zemlje od Sonca). Perihelij meri $r_{min} = a(1 - \varepsilon) = 1,243$ a.e., in afelij, to je največja razdalja, $r_{maks} = a(1 + \varepsilon) = 5,683$ a.e. Masa je 10^{13} kg. Komet je nepravilne oblike s prostornino $21,3 \text{ km}^3$ in povprečno gostoto 470 kg/m^3 (slika 1).



Slika 1. Komet Čurjumov-Gerasimenko. Svetlana Gerasimenko je na Astrofizikalnem inštitutu v Almi Ati posnela fotografije nekega kometa. Klim Čurjumov je po vrnitvi v Kijev leta 1969 ugotovil, da gre za nov komet in ne za tistega, ki so ga želeli opazovati. Potem so novi komet zasledili tudi z velikimi teleskopi. Komet ima nenavadno obliko. Po eni od domnev je nastal, ko sta se spojili dve telesi. Za manjšega navajajo okvirne razsežnosti 2,5 km krat 2,5 km krat 2,0 km, za večjega pa 4,1 km krat 3,2 km krat 1,3 km (a). Čeprav je komet še precej daleč od perihelija, je mogoče opazovati, kako iz nekaterih delov odparevajo curki plinov in delcev prahu (b). Naredili so zemljevid površja kometnega jedra in predelom dali imena iz egipčanske mitologije.

Rosetta in Philae

Na sondi Rosetta sistem za prenos podatkov sestavlja dve premični 2,2-metrski parabolični anteni, nepremični 0,8-metrski parabolični anteni in dve neusmerjeni anteni. Na sondi je 24 parov motorjev s potiskom po 10 newtonov, od teh štirje pari delujejo v sunkih. Silicijeve sončne celice s površino 64 m^2 v ugodnih razmerah dajejo moč 1500 W (slika 2a) [11]. V mirovanju potrebujejo naprave le 400 W . Presežno energijo hranijo štiri nikelj-kadmijeve baterije po 10 Ah . Grelniki skrbijo, da se merilniki preveč ne ohladijo. Masa sonde je ob izstrelitvi merila 2900 kilogramov vključno s pristajalnikom Philae z maso 100 kilogramov . Na voljo je bilo 1719 kg goriva in oksidacijske snovi.



Slika 2. Sonda Rosetta (a) [11] in pristajalnik Philae (b) [12]. Imena so duhovita. *Kamen iz Rosette* so našli med Napoleonovim pohodom v Egipt blizu kraja Rosette (Rashid). Na kamnu je bila izklesana uredba iz leta 196 pr. n. št. v hieroglifih in demotski ter grški pisavi. To je bilo v pomoč pri razvozlavanju hieroglifov. Na enem od obočkov Philae (File) v Nilu je bil na obelisku napis v dveh pisavah, ki je imel podobno vlogo. Tempelj so z otočka zaradi starega asuanskega jezua preselili na bližnji otok Agilkia (ti otoki ležijo pod novim asuanskim jezom). Po javnem natečaju je ESA tako imenovala načrtovani kraj pristanka. Novi kraj pristanka nima imena.

Sonda Rosetta nosi dvanajst merilnikov. Polovica jih zaznava elektromagnetno valovanje. Ultravijolični spektrograf meri delež žlahtnih plinov, po katerem je mogoče sklepati, kaj se je v preteklosti dogajalo s snovjo. Posebna kamera omogoča slikanje v vidni in infrardeči svetlobi. Drugi spektrometer daje slike v vidni in infrardeči svetlobi. Mikrovalovni merilnik ugotavlja delež in temperaturo hlapnih snovi. Radar raziskuje globlje plasti kometnega jedra z valovi s pristajalnika. Merilnik za raziskovanje jedra in bližnjih delov kome izkorišča radijske valove, sicer namenjene prenosu sporočil.

Druga polovica merilnikov zaznava delce. Magnetni masni spektrometer zaznava ione in nevtralne delce. Mikroskop na atomsko silo otipa delce prahu, ki se naberejo na silicijevi ploščici. Analizator mase ugotavlja sestavo delcev prahu po obstreljevanju z indijevimi ioni. Drug analizator z

merjenjem sipalnega preseka svetlobe ter gibalne količine, hitrosti in mase zaznava delce prahu. Merilnik plazme ugotavlja delce v sončnem vetru.

V pristajalniku Philae je pod delom z merilniki mehanizem za pristajanje, ki ga sestavljajo kardanski zglob, dušilniki, ogrodje in tri noge (slika 2b) [12]. Ob dotiku naj bi se sprožili harpuni in pristajalnik zasidrali na kometu. Enako vlogo naj bi imeli ledni vijaki, ki bi se privili v led kometnega jedra. Ob pristanku naj bi reakcijski motor deloval s silo proti kometu.

V pristajalniku je devet merilnikov. Spektrometer po rentgenskem sevanju, ki ga sprožijo delci α iz radioaktivnega izvira, ugotavlja elemente na površju jedra. Drugi merilnik združuje plinski kromatograf in masni spektrometer na čas preleta in ugotavlja elemente v komi. Merilnik meri deleže obstojnih izotopov v komi. Merilnik s sedmimi enakimi kamerami za panoramsko slikanje površja s polprevodniškimi slikovnimi napravami CCD vsebuje še optični mikroskop in infrardeči spektrometer ter zaznava sestavo, zgradbo in odbojnost vzorcev s površja. Kamera CCD med spuščanjem proti kometu snema površje z visoko ločljivostjo. Radar ugotavlja notranjo zgradbo jedra. Večnamenski senzorji dajejo podatke o toplotni prevodnosti ter o gostoti in drugih mehaničnih lastnostih površja in plasti tik pod njim. Magnetometer in merilnik plazme ugotavljata magnetno polje in delovanje sončnega vetra. Merilnik na tri načine z zvokom preiskuje lastnosti površja in prahu na njem. Sveder daje vzorce do globine 23 cm in jih posreduje desetim pečicam za srednjo in šestnajstim za visoko temperaturo ter drugim merilnikom.

Od 21 merilnikov je tri prispevala NASA, pri drugih pa so sodelovale raziskovalne ustanove iz Kanade in evropskih držav: Anglije, Avstrije, Belgije, Finske, Francije, Irske, Italije, Madžarske, Nemčije, Nizozemske, Poljske, Španije in Švice. Delovanje sonde nadzorujejo iz Evropskega centra za vesoljske operacije ESOC v Darmstadt v Nemčiji. Za zbiranje, shranjevanje in razširjanje podatkov skrbi Evropski vesoljski astronomski center ESAC v Villanuevi de la Cañada blizu Madrida. Podvig je stal okoli milijarde in tristo milijonov evrov. V njem je sodelovalo ali sodeluje okoli dva tisoč strokovnjakov.

Pot

Drugega marca 2004 so z izstrelišča v Francoski Gvajani izstrelili nosilno raketo Ariane 5G. Zadnja stopnja se je najprej gibala po tirnici okoli Zemlje. Potem so jo pospešili do ubežne hitrosti in usmerili na tirnico okoli Sonca, nato se je od nje ločila sonda. Maja so sondo preusmerili proti kometu. Marca 2005 je sonda ob prvem obletu Zemlje z gravitacijsko pomočjo (gravitational assist) dobila dodatno hitrost. Februarja 2007 se je to ponovilo ob obletu Marsa.

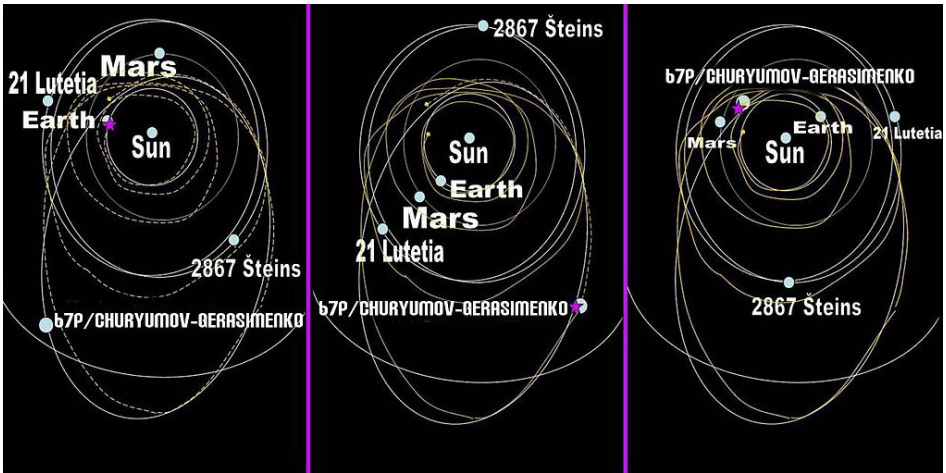
Novembra 2007 je sledil drugi oblet Zemlje s hitrostjo 12,5 km/s (ubežna hitrost z Zemlje je 11,2 km/s). Tedaj so nekateri opazovalci z Zemlje sondo zmotno imeli za asteroid. Nato je sonda letela mimo asteroida 22867 Šteins iz pasu asteroidov. Novembra 2009 je še tretjič obletela Zemljo s hitrostjo 13,3 km/s. Julija 2010 je letela mimo velikega asteroida 21 Lutetia iz pasu asteroidov. Ob obletih so preizkusili delovanje nekaterih merilnikov in posneli zanimive slike teles, mimo katerih je sonda letela. Sicer so merilniki počivali. Sonda je dohitela komet 6. avgusta 2014 v oddaljenosti 3,7 a.e. od Sonca. Motorji so hitrost glede na komet od 775 m/s zmanjšali na 7,9 m/s. Sonda se je postopno približala kometu na 100 km in nato na 50 km. Naposled se je začela gibati okoli kometu kot njegov satelit. Zdaj se giblje v oddaljenosti okoli 10 km.

Že to je bil dosežek. Po več milijard kilometrov dolgi in skoraj enajst let trajajoči poti so sondo pripeljali tja, kamor naj bi po načrtih prispela. Pred izstrelitvijo so tirnico kometu poznali le na sto kilometrov natančno. Sondo so usmerjali z motorji, ki so jih vključevali po ukazih z Zemlje. Ukaz je nazadnje do sonde potoval 28 minut. Toliko potuje tudi poročilo s sonde.

Pristanek

Dvanajstega novembra, ko je bil komet 3 a.e. oddaljen od Sonca, se je pristajalnik ločil od sonde, se začel spuščati proti kometu in ga v sedmih urah dosegel. Nazadnje naj bi se spuščal s hitrostjo okoli 1 m/s, kolikor navajajo za ubežno hitrost s kometu v modelskih računih. Komet ima zelo nepravilno obliko in njegovo gravitacijsko polje izrazito odstopa od kroglne simetrije (slika 3).

Ob spustu se je pristajalnik jedra kometu dotaknil na predvidenem kraju. Vendar je bil dotik bolj rahel, kot so predvideli, in harpuni nista delovali. Za motor, ki naj bi deloval proti jedru, so že prej ugotovili, da je pokvarjen. Kaže tudi, da je bil led zelo trd in ledni vijaki niso prijeli. Pristajalnik se je odbil s hitrostjo 0,38 m/s. Navajajo, da bi odletel v vesolje, če bi hitrost dosegla 0,44 m/s, kolikor naj bi merila ubežna hitrost na kraju dotika. Po uri in 51 minutah je pristajalnik padel nazaj na komet. Še enkrat se je odbil s hitrostjo 0,03 m/s in že po slabih 6 minutah padel nazaj. Obmiroval je na kraju, ki ga niso predvideli. V končni legi sončne celice ležijo v senci in ne morejo poganjati merilnikov. Ti so delovali le 57 ur, dokler se niso izpraznile baterije. Nadejajo se, da bodo sončne celice dobile dovolj svetlobe, ko se bo komet približal periheliju 13. avgusta, in bodo merilniki na pristajalniku zopet delovali.



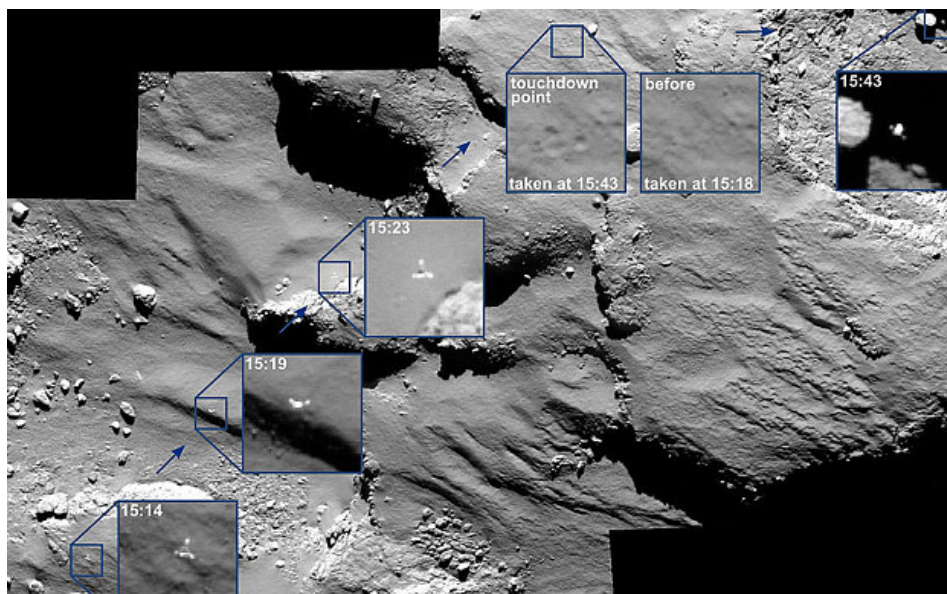
Slika 3. Okvirna risba kaže lego teles v Osončju na njihovih tirnicah ob istrelitvi marca 2004 (levo), ob prihodu sonde v bližino komete maja 2014 (sredina) in ob koncu misije decembra 2015 (desno) [11].

Rezultati z Rosette

Težave pri pristanku Philae niso zavrle raziskovanj. Glavno delo naj bi tako ali tako opravili merilniki na Rosetti. Predvidevajo, da bo delovala do decembra 2015, ko bo spremljala komet na poti okoli Sonca. Podatke merilnikov na Rosetti so že obdelali in prve rezultate objavili [3–12]. Podatke merilnikov s Philae še obdelujejo.

Posnetki kažejo, da sestavljata jedro dva dela, ki ju povezuje ozek *vrat*. V večji razdalji od Sonca kot 3 a.e. izhajajo curki plina in prahu v glavnem iz vratu. Jedro izgublja snov s sublimacijo in z izbruhi zaradi naraslega tlaka v notranjosti [8]. Ni jasno, ali je jedro nastalo s trkom in spojitvijo dveh teles ali z odparevanjem snovi z večjega telesa. Med oddaljenostma od Sonca od 3,4 do 3,6 a.e. je jedro zapustilo 35 zrnč prahu z maso med 10^{-7} in 10^{-4} g in 48 zrn z maso od 0,01 in 10 g. Ugotovili so, da je v povprečju za osvetljeni del površja razmerje med tokovoma prahu in plina okoli 4 [7]. Jedro obkroža oblak kep, od katerih imajo največje premer okoli meter. Najbrž so preostale od prejšnjega perihelija. Povprečna gostota jedra je precej manjša od pričakovane gostote ledu in prahu od 1500 in 2000 kg/m^3 . Jedro je torej precej luknjičavo.

Opazovali so, kako nastane magnetosfera, ko se komet bliža Soncu. Spočetka gre sončni veter nemoteno skozi zelo redko koma. Z odparevanjem koma postaja vse gostejša. Sončna ultravijolična svetloba in tudi delci sončnega vetra ionizirajo molekule v njej. Gostejši prevodni plin začne odbijati



Slika 4. Kamera z Rosette je spremljala spuščanje pristajalnika Philae. Na posnetku po odboju ob 15:43 je mogoče videti sledi treh nog. Tretjič je pristajalnik pristal na neznanem kraju. Sonce osvetli dele komete samo kratek čas in kamera lahko naredi dober posnetek le, če je sonda na pravem kraju. S težavo so prepoznali 30 m širok in 350 m dolg pas, na katerem je pristajalnik. – Na spletu je mogoče dobiti veliko zapisov in fotografij v Googlu na *Rosetta Mission*. Na *Comet 67P Churyumov-Gerasimenko & The Rosetta ...* je mogoče izvedeti trenutni oddaljenost komete in hitrost. Nekateri podatki med seboj niso usklajeni. ESA/Rosetta.

sončni veter. V razdalji od Sonca okoli 3,3 a.e. magnetno polje komete dobi mejo in nastane magnetosfera [2]. Magnetno polje komete niha z nihajnim časom od 20 do 25 s.

Na posnetkih je mogoče na površju jedra videti veliko različnih tvorb, ki so najbrž nastale z neenakomernim odparevanjem. Površje jedra zapuščajo tudi večji kosi [6]. Masni spektrometer je za razmerje med devterijem, težjim izotopom vodika, in lažjim navadnim izotopom vodika v atmosferi dal $(5,3 \pm 0,7) \cdot 10^{-4}$. To je precej več od povprečnega razmerja na Zemlji $1,5 \cdot 10^{-4}$. Po tem sklepajo, da vode na Zemljo niso prinesli kometi, vsaj ne kometi iz Jupitrove družine [10]. Morda so jo prinesli asteroidi.

Spektrometer je izmeril sestavo kome. Največ je vode ter ogljikovega monoksida in dioksida. Sestava pa se spreminja v odvisnosti od vrtenja kometnega jedra in od oddaljenosti od Sonca. To kaže na zapleteno odvisnost kome od jedra, za katero utegne biti odločilna razlika temperatur na površju in tik pod njim [1]. Pomembno vlogo ima prehod toplote in sublimacija ledu.

Z mikrovalovi z valovno dolžino 0,5 mm in 1,6 mm so ugotovili, da je jedro najprej vsako sekundo izgubilo 0,3 kg, avgusta pa že 1,2 kg snovi. Tok plinov in prašnih delcev se periodično spreminja tudi zaradi vrtenja jedra. Temperatura tik pod površjem se spreminja z oddaljenostjo od Sonca in zaradi vrtenja jedra [5]. Po izkušnjah z drugimi kometi se pojavita izrazitejša repa kak mesec pred perihelijem. Delci medplanetnega prahu, ki padajo na Zemljo, verjetno izvirajo iz kometov.

Jedro komete je zelo trdo in ga sestavlja led in mešanica ledu in prahu. Na nekaterih mestih ga pokriva do 20 cm debela plast prahu. Za temperaturo navajajo za zdaj od $-68\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zaznali so vodno paro, ogljikov oksid in dioksid, amoniak, metan, metanol, natrij, magnezij. Površje komete je temno in suho. Albedo je 0,06. Na površju ni vodnega ledu, a ga je obilo v notranjosti. Temno površje vsebuje železov sulfid in veliko spojin z ogljikom.

Nekaj računov

Čeprav gravitacijsko polje jedra ni krogelno simetrično, naredimo nekaj preprostih računov za krogelno simetrijo. Za maso komete vzamemo $M = 10^{13}\text{ kg}$ in za gostoto $\rho = 470\text{ kg/m}^3$. Prostornina homogene krogle je $V = 4\pi r_0^3/3$ in polmer $r_0 = (3M/4\pi\rho)^{1/3} = 1,72\text{ km}$. Težni pospešek na površju je $g = \mathcal{G}M/r_0^2 = 2,25 \cdot 10^{-4}\text{ m/s}^2$ in ubežna hitrost $v_u = \sqrt{2\mathcal{G}M/r_0} = 0,881\text{ m/s}$. Pri tem je $\mathcal{G} = 6,67 \cdot 10^{-11}\text{ m}^3/(\text{kg s}^2)$ gravitacijska konstanta. Taki računi imajo le omejen pomen, ker se oblika komete močno razlikuje od krogle, pa še porazdelitev mase ni znana.

Iz zveze $\omega^2 R = \mathcal{G}M/R$ s kotno hitrostjo $\omega = 2\pi/T$ dobimo za obhodni čas T sonde v razdalji $R = 10\text{ km}$ od komete $T = 2\pi/\omega = 2\pi\sqrt{R^3/\mathcal{G}M} = 2,43 \cdot 10^5\text{ s} = 67,6\text{ ure}$. Koma bo s časom postajala gostejša, zaradi česar bodo razdaljo povečali na 30 km. Obhodni čas se bo povečal na 14,6 dneva. 14. februarja je sonda letela mimo jedra komete v razdalji 6 km.

Vključimo v račun še čas. V gravitacijskem polju komete je na enoto mase pristajalnika preračunana polna energija:

$$\frac{1}{2}v^2 - \mathcal{G}M/r = -\mathcal{G}M/R_m. \quad (1)$$

R_m je skrajna oddaljenost, ki jo doseže pristajalnik. Če se pristajalnik v radialni smeri odbije od površja komete s hitrostjo v_0 , manjšo od ubežne hitrosti v_u , velja:

$$v_0^2 - 2\mathcal{G}M/r_0 = -2\mathcal{G}M/R_m \quad \text{in} \quad R_m = 2\mathcal{G}M/(v_u^2 - v_0^2).$$

V enačbo (1) vstavimo $v = dr/dt$ in po nekaj korakih dobimo zvezo:

$$\int \sqrt{x} dx / \sqrt{1-x} = t/\tau \quad \text{z} \quad x = r/R_m \quad \text{in} \quad \tau = \sqrt{R_m^3/2GM}.$$

Z novo spremenljivko $u = \sqrt{1-x}$ integral prevedemo v $-2 \int \sqrt{1-u^2} du$ in dobimo za čas dviganja s površja krogle:

$$t = \tau(\sqrt{x_0(1-x_0)} + \arcsin\sqrt{1-x_0}) \quad \text{s} \quad x_0 = r_0/R_m.$$

Vzemimo, da se pristajalnik odbije s hitrostjo $v_0 = 0,6$ m/s. Pri ubežni hitrosti $v_u = 0,88$ m/s da to $R_m = 3220$ m in $\tau = 5000$ s = 1,39 ure. Z $x_0 = 1720/3220 = 0,534$ je nazadnje čas dviganja $1,25 \cdot 1,39 = 1,74$ ure. Čas spuščanja je enak, tako da dobimo, da odboj pristajalnika traja 3,48 ure. To kaže primerjati s časom 1 ure in 51 minut = 1,85 ure. Po tem sklepamo, da račun ni veliko vreden. V tem okviru si ni mogoče zamisliti podatkov, s katerimi bi se približali trajanju 1,85 ure pri ubežni hitrosti 0,44 m/s in hitrosti odboja 0,38 m/s.

LITERATURA

- [1] K. Altwegg et al., *67P/Churyumov-Gerasimenko, a Jupiter family comet with a high D/H ratio*, Science **347** (2015) 1261952-1-3.
- [2] F. Capaccioni et al., *The organic-rich surface of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko as seen by VIRTIS/Rosetta*, Science **347** (2015) aaa0628-1-4.
- [3] S. Gulikis et al., *Subsurface properties and early activity of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Science **347** (2015) aaa0709-1-5.
- [4] E. Hand, *Comet close-up reveals a world of surprises*, Science **347** (2015) 358–359.
- [5] M. Hässig et al., *Time variability and heterogeneity in the coma of 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Science **347** (2015) aaa0267-1-4.
- [6] H. Nilsson et al., *Birth of a comet magnetosphere: A spring of water ions*, Science **347** (2015) aaa0571-1-4.
- [7] A. Rotundi et al., *Dust measurements in the coma of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko inbound to the sun*, Science **347** (2015) aaa3905-1-6.
- [8] H. Sierks et al., *On the nucleus structure and activity of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Science **347** (2015) aaa1044-1-5.
- [9] M. G. G. Taylor, C. Alexander, N. Altobelli, M. Fulle, M. Fulchignoni, E. Grün, P. Weissmann, *Rosetta begins its comet tale*, Science **347** (2015) 387.
- [10] N. Thomas et al., *The morphological diversity of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko*, Science **347** (2015) aaa0440-1-6.
- [11] *Rosetta (spacecraft)*, [http://en.wikipedia.org/wiki/Rosetta_\(spacecraft\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Rosetta_(spacecraft)), ogled: 9. 2. 2015.
- [12] *Philae (spacecraft)*, [http://en.wikipedia.org/wiki/Philae_\(spacecraft\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Philae_(spacecraft)), ogled: 9. 2. 2015.