

Dionysis Konstantinou · Corina Toma



Potovanje po vesolju



UVOD

Zamislite si potovanje z enega planeta na drugega. Zakaj moramo potovati najprej po krožnici in ne takoj naravnost? Preden gremo na pot, moramo upoštevati: krožno hitrost izhodiščnega planeta, potrebno hitrost vesoljske ladje in optimalni trenutek za izstrelitev (če ga zamudimo, bomo leteli mimo ciljnega planeta, ne da bi ga sploh opazili). Seveda moramo poznati tudi porabo goriva na poti (konec koncev v vesolju ni bencinskih servisov). V tej učni enoti učenci spoznavajo, kako vesoljska ladja doseže krožno tirnico okoli planeta in kako od enega planeta do drugega potuje po Hohmannovi prenosni orbiti. Priporočamo jo za učence, stare med 12 in 19 let. Pri njej uporabimo naslednje predmete: fiziko, matematiko, informatiko in biologijo.

SREDSTVA

Učenci potrebujejo naslednja sredstva: računalnik z dvojednim procesorjem in 2 GB delovnega pomnilnika, 3D grafični pospeševalnik; operacijski sistem Windows, Mac OSX ali Linux; prikazovalnik z ločljivostjo vsaj 1024×768 ; nameščeno programsko opremo: Oracle Java JRE 1.6; licenčni model: LGPL, internetni dostop.

Za to učno enoto smo pripravili dva javanska uporabniška programa: »Orbiting and Escaping« in »Solar System Travel« (glej www.science-on-stage.de).

JEDRO

Priredili bomo Newtonov splošni gravitacijski zakon, količine krožnega gibanja, Keplerjeve zakone ter potencialno in kinetično energijo težnostnega polja.

Krožno gibanje okoli planeta in premagovanje planetovega vpliva

Učenci naj se seznanijo s pomenom fizikalnih značilnosti krožnega gibanja satelita okoli planeta ali krožnega gibanja samega planeta. Pozorni naj bodo na hitrost krožne tirnice okoli planeta in hitrosti, potrebne za premagovanje težnostnega polja tega planeta. Enačbi za ti dve hitrosti dobijo s programsko opremo »Orbiting and Escaping«. Vrednosti lahko preverijo s programsko opremo »Solar System Travel«.

Programska oprema »Orbiting and Escaping« temelji na Newtonovem hipotetičnem poskusu: Če bi se povzpeli na vrh najvišje gore na svetu in od tod v pradavnini, ko Zemlja še ni imela ozračja, v vodoravni smeri z ustrežno hitrostjo izstrelili izstreljek, bi izstreljek kot umetni satelit začel krožiti okoli Zemlje.

Potovanje od enega planeta do drugega po Hohmannovi prenosni orbiti

Učenci v uporabniškem programu »Solar System Travel« izberejo, s katerega planeta in na kateri planet želijo potovati. S klikom na gumb Hohmann se prikaže prenosna elipsa med planetoma. Med rotacijo izhodnega planeta elipsa spreminja svoj položaj. Čaka na pravi čas, ob katerem je položaj planetov takšen, da je potovanje mogoče. Program prikaže vesoljsko ladjo na poti med planetoma in izračuna čas, potreben za pot.

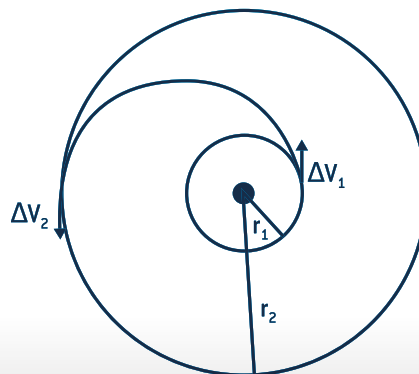
Hohmannov prenos je mogoče izpeljati le z majhnimi potiski na začetku in koncu potovanja. Na elipsi je poraba goriva nastavljena na minimum, saj je tu sprememba kinetične energije najmanjša.

Za potovanje iz krožnice s polmerom r_1 do druge s polmerom r_2 uporabimo eliptično pot z glavno osjo $= r_1 + r_2$, imenovano Hohmannova prenosna orbita ①.

Vesoljska ladja mora dvakrat spremeniti hitrost, najprej na začetku eliptične poti in potem še na koncu. To stori s tako imenovanim hitrostnim impulzom delta-v (Δv). Ta sprememba hitrosti je mera za »napor«, potreben za spremembo poti pri izvajanju orbitalnega manevra.

Predpostavljamo, da se vesoljska ladja po prvotni krožni-

① Hohmannova orbita



ci s polmerom r_1 giblje s hitrostjo v_1 , po končni krožnici s polmerom r_2 pa s hitrostjo v_2 . Gravitacijska sila je enaka centrifugalni sili:

$\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$, pri čemer je M masa sonca, m masa vesoljske ladje, G pa gravitacijska konstanta. Hitrosti v_1 in v_2 dobimo iz:

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{r_1}} \text{ und } v_2 = \sqrt{\frac{GM}{r_2}}.$$

Pri transferju začetni hitrostni impulz Δv_1 vesoljsko ladjo usmeri na eliptično pot, hitrostni impulz Δv_2 pa na krožnico s polmerom r_2 in hitrostjo v_2 . Celotna energija vesoljske ladje je vsota kinetične in potencialne energije in je enaka polovici potencialne energije pri polovični glavni osi a:

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{GMm}{r} = \frac{GMm}{2a}, \text{ pri čemer je } a = \frac{r_1+r_2}{2}.$$

Rešitev te enačbe da hitrost v_1' na začetni točki eliptične poti (perihelij) in v_2' na končni točki (afelij):

$$v_1' = \sqrt{GM \left(\frac{2}{r_1} - \frac{2}{r_1+r_2} \right)} = v_1 \sqrt{\frac{2r_2}{r_1+r_2}}$$

$$\text{in } v_2' = \sqrt{GM \left(\frac{2}{r_2} - \frac{2}{r_1+r_2} \right)} = v_2 \sqrt{\frac{2r_1}{r_1+r_2}}.$$

Pri tem primeru sta spremembi hitrosti naslednji:

$$\Delta v_1 = v_1' - v_1 = v_1 \left(\sqrt{\frac{2r_2}{r_1+r_2}} - 1 \right)$$

$$\text{in } \Delta v_2 = v_2 - v_2' = v_2 \left(1 - \sqrt{\frac{2r_1}{r_1+r_2}} \right).$$

Pomembno

- Če je $\Delta v_i > 0$, vesoljska ladja ob vklopu motorjev pospeši, če pa je $\Delta v_i < 0$, se ji hitrost zmanjša.
- Po Keplerjevem tretjem zakonu je **čas transfera** med perihelijem in afelijem enak:

$$t = \pi \sqrt{\frac{(r_1+r_2)^3}{8GM}}.$$

Čakanje na pravi trenutek

Položaj obeh planetov in njunih krožnic je ključnega pomena. Ciljni planet in vesoljska ladja morata na svojih tirnicah okoli sonca hkrati priti do iste točke. Prav zaradi tega je pri izstrelitvi treba ujeti pravi »trenutek«.

Naloga pri uporabi programa »Orbiting and Escaping«

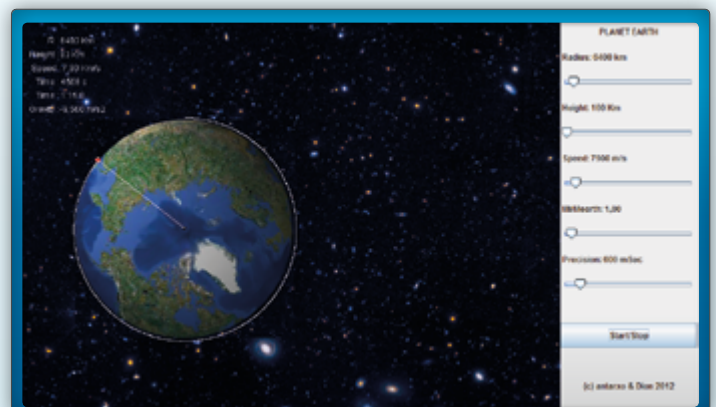
Kako dobimo vrednosti prve in druge kozmične hitrosti.

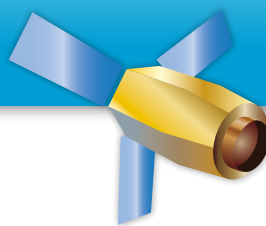
Učenci lahko krožno hitrost okoli Zemlje (prva kozmična hitrost) in ubežno hitrost (druga kozmična hitrost) določijo z izbiro »Earth« v programu. Tam lahko vidijo, kaj se zgodi, ko je začetna hitrost večja ali manjša od prve kozmične hitrosti.

Kako s tem programom določiti dve enačbi. Z eksperimentalno metodo učenci pridejo do enačb, ki opisujeta

krožno hitrost krožnice satelita okoli nebesnega telesa in njegovo ubežno hitrost. Tako spoznajo posebne vidike Newtonove gravitacijske teorije. Učenci na osnovni stopnji pri zbiranju in obdelavi programskih podatkov ugotovijo, da sta enačbi sorazmerni. Na višji stopnji lahko določijo sorazmernostni koeficient in ju spremenijo v enakost.

Z izbiro »Green Planet« (vse druge prilagoditve razen $M_i/M_{\text{Earth}} = 1$ i promień = 6400 km, pri čemer je M_i masa planeta, izražene z masami Zemlje) učenci lahko določijo enačbo za krožno hitrost. V ta namen izberejo vrednost polmera planeta in vnesejo krožno hitrost za različne vrednosti mase planeta. Ko pridejo do sklepa glede odvisnosti med krožno hitrostjo in maso planeta, uporabijo te ugotovitve in jih predelajo v enačbo za sorazmernost. Ko ponovijo iste korake s stalno maso planeta in spremenlji-





vimi vrednostmi R (polmer + višina), pridejo do druge sorazmernosti.

Postopek ugotavljanja enačbe za krožno hitrost okoli planeta je končan, ko učenci sorazmernost spremenijo v enakost. Najprej obe sorazmernosti združijo v eno. Potem izrišejo diagram $v^2 = f(M_i / R)$ (pri čemer je M_i izražena, v kg in je $M_{\text{Earth}} = 6 \cdot 10^{24}$ kg). Naklon diagrama daje koeficient, iz česar lahko učenci ugotovijo enakost.

S podobnim sklepanjem in z enakimi koraki lahko določijo enačbo za ubežno hitrost v_{escape} .

Postopki pri uporabi programa »Solar System Travel«

S tem programom učenci izberejo potovanje med dvema planetoma. Lahko preberejo vrednosti začetnih hitrosti za vsak planet in za Hohmannovo pot ter jih preverijo z na novo izdelanimi enačbami iz prvega programa.

Kot krožnice lahko spremenijo s tipko SHIFT, s tipko SCROLL pa prikaz povečajo ali pomanjšajo.

Eliptična Hohmannova pot (označena pikčasto) sledi rotacijskemu gibanju od izhodiščnega planeta. Učenci kliknejo na gumb HOHMANN in počakajo, da se elipsa ustali. V tistem trenutku se začne potovanje, saj je tedaj planet v ugodnem položaju.

Preučevanje orbitalnih hitrosti in period za različne planete

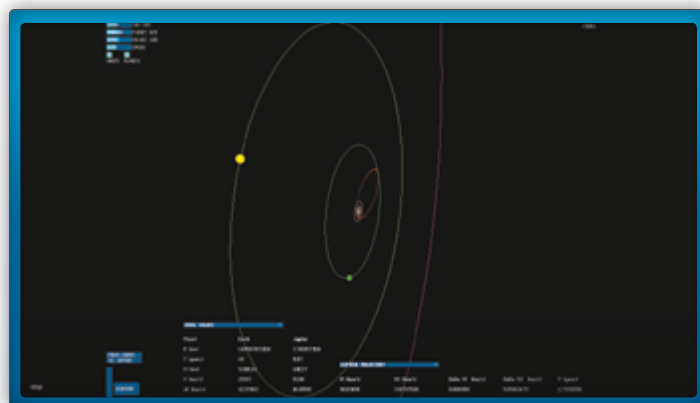
Učenci ugotovijo, da se z večanjem orbitalnega polmera manjšajo hitrosti planetov, orbitalne periode pa se večajo. Narišejo lahko diagrame hitrosti in periode planetov v odvisnosti od večanja orbitalnega premera r , $v = f(r)$ i $T = f(r)$.

Primerjava različnih potrebnih hitrostnih impulzov (delta-v)

Učenci izberejo Hohmannovo prenosno orbito od Zemlje do Venere ali Merkurja. Vidijo, da je $\Delta v_i < 0$. Če potujejo na katerega od drugih planetov dlje od sonca, ugotovijo, da je $\Delta v_i > 0$. Sklepajo lahko, da mora vesoljska ladja pospešiti, ko potujemo od manjše krožnice do večje, in nasprotno: Ko potujemo od večje krožnice do manjše, mora vesoljska ladja zmanjšati hitrost. Poraba goriva je v obeh primerih enaka.

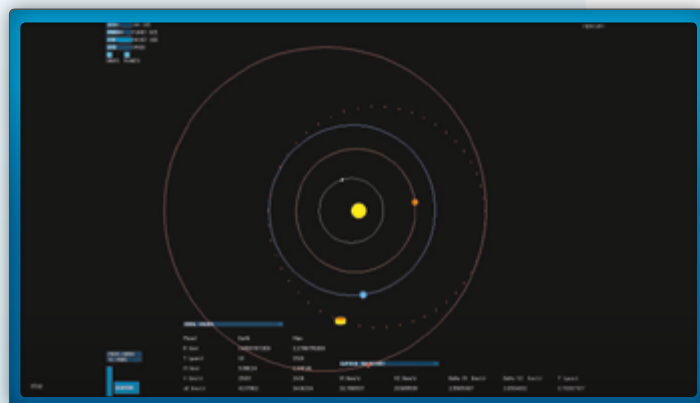
Hitrosti delta-v v odvisnosti od ubežnih hitrosti v_e

Ko učenci v tabelo vnesejo vrednosti delta-v za obe potovanj, in ubežno hitrost v_e za oba planeta, lahko ugotovijo, da sta si vrednosti zelo blizu. Z Zemlje je na primer nemogoče po Hohmannovi orbiti priti do Urana, zato je treba poiskati alternativne rešitve.



Možne posledice za astronautovo telo

S programom učenci primerjajo čase transferja t za različna potovanja. Vidijo, da je potrebni čas potovanja veliko daljši, izberejo ustrezno »izstrelitveno okno«. V



tem primeru morajo upoštevati fiziološke posledice dolgotrajnega potovanja po vesolju in šibke težnosti (na primer oslabeitev kosti in obremenjevanje srčne mišice) pod vplivom rentgenskega in gama sevanja (poškodbe celic) ter longitudinalnega pospeševanja (pretirana koncentracija krvi v astronautovi glavi ali stopalih). Učenci naj raziščejo biološke posledice potovanja po vesolju in o tem pripravijo plakate.

SKLEP

Med preučevanjem teh simulacij učenci izpopolnijo in primerjajo poznavanje sončnega sistema in potovanja po vesolju. Tako si razširijo obzorje in spoznajo različne probleme potovanja po vesolju. Kot smo že poudarili, gre za interdisciplinarno panogo, ki poleg fizike in informatike vključuje še biologijo in matematiko.

Če se želijo učenci v to tematiko še bolj poglobiti, se lahko seznanijo o možnih motnjah na takšnem potovanju: zaradi tretjega telesa, zaradi atmosferskega upora in zaradi sončnega sevanja. Lahko preizkusijo še druge orbitalne manevre, kot na primer gravitacijsko fračo in Oberthov učinek.

