

Dionysis Konstantinou · Corina Toma



Űrutazás



BEVEZETÉS

Képzeld el, hogy egyik bolygóról egy másikra utazunk. Miért van az, hogy először körpályákat kell használnunk az egyenes útvonal választása helyett? Mielőtt utunkra indulunk, vegyük figyelembe a következőket: a kiindulási bolygó forgási sebességét, az űrhajó szükséges sebességét, és az űrhajó felbocsátásának optimális lendületét (ugyanis ha ezt elmulasztjuk, akkor elhaladunk a célbolygó mellett anélkül, hogy azt észrevennénk). Végül tudnunk kell, hogy mennyi üzemanyagra van szükségünk az út során (az űrben ugyanis nincsenek benzinkutak). Ebben az anyag részben a diákok megismerik azt, hogy az űrhajók hogyan érkeznek a bolygók körüli keringési pályájára, és hogyan utaznak Hohmann transzfer pályán egyik bolygótól a másikig. Ez a rész 12 és 19 év közötti diákoknak ajánlott. Az alkalmazott tantárgyak: fizika, matematika, informatika, biológia.

FORRÁSOK

A diákoknak a következőkre lesz szükségük: egy számítógépre Intel Dual Core processzorral, 2 GB RAM-mal, 3D gyorsítású grafikai kártyával; Windows, Mac OSX, vagy Linux operációs rendszerre; minimum 1024x768 felbontású kijelzővel; és az Oracle Java JRE 1.6 telepített szoftverre (licenz modell: LGPL), internet hozzáféréssel.

Ehhez az anyag részhez 2 Java szoftver alkalmazást készítettünk: Orbiting and Escaping illetve Solar System Travel névvel. (lásd: www.science-on-stage.de).

ALAPOK

Átismételjük Newton általános tömegvonzás törvényét, a körmozgás mennyiségeit, Kepler törvényeit, és a gravitációs mező helyzeti és mozgási energiáját.

Bolygó körüli körmozgás és szökés a bolygó erőteréből

A tanulóknak meg kell ismerkedniük egy műhold bolygó körüli mozgását befolyásoló fizikai jellemzők értékeivel, vagy egy bolygó pályamozgásával. Ügyelniük kell a bolygó körüli röppálya sebességére, és a bolygó gravitációs mezejének elhagyásához szükséges sebességre. A két sebességhez tartozó képletet megtalálják az Orbiting and Escaping nevű szoftverben. Az értékeket a Solar System Travel nevű szoftverben ellenőrizhetik.

Az Orbiting and Escaping nevű alkalmazás Newton gondolat kísérletén – az ún. Newton hegyén – alapszik. Isaac Newton a következő elméleti kísérletet fogalmazta meg: ha felmászánk a Föld legmagasabb csúcsára – abban az időben, mikor a Föld atmoszférája még nem létezett – és onnan vízszintesen kilőnénk egy lövedéket a megfelelő sebességgel, akkor az Föld körüli körkörös pályán mozgó műholddá válna.

Utazás bolygótól bolygóig a Hohmann transzfer pályán

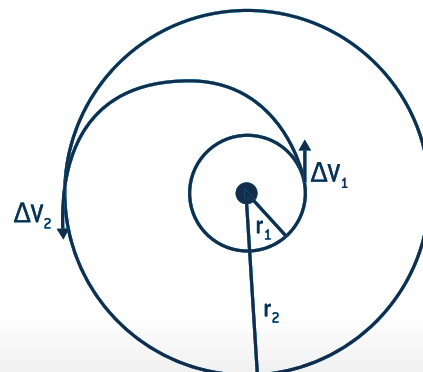
A Solar System Travel alkalmazás használatával a tanulóknak ki kell választaniuk, hogy melyik bolygótól melyik másik bolygóig szeretnének utazni. A Hohmann gombra való kattintással láthatóvá válik a bolygók közti transzfer ellipszis. Az ellipszishelyzete a kiindulási bolygó forgásával változik. Ki kell várni a megfelelő időt, mikor a bolygók pozíciója lehetővé teszi az utazást. Az alkalmazás mutatja az űrhajó bolygók közti útját, és kiszámítja a cél eléréséhez szükséges időt.

A Hohmann transzfert csak az utazás elején és végén alkalmazott kis mértékű taszítóerőkkel lehet megvalósítani. Ezen az ellipszisen a legkisebb az üzemanyag-felhasználás, mert itt a legalacsonyabb a mozgási energia változása.

Egy r_1 sugarú keringési pályáról egy másik r_2 sugarú keringési pályára történő utazáshoz elliptikus röppályát használunk, melynek nagytengelye $= r_1 + r_2$. Ez a Hohmann-féle transzfer pálya ①.

Az űrhajónak kétszer kell megváltoztatnia a sebességét, egyszer az elliptikus röppálya elején, majd a végén. Ez az

① Hohmann-féle röppálya



ún. sebességi impulzus delta v (Δv) segítségével történik. Ez a sebességváltozás annak az erő kifejtésnek a fokmérője, amely egy körpályán elvégzett művelet során a röppálya megváltoztatásához szükséges.

Tételezzük fel, hogy az űrhajó az r_1 sugarú kezdeti körpályán v_1 sebességgel és az r_2 sugarú végpályán v_2 sebességgel halad. A gravitációs erő egyenlő a centrifugális erővel:

$\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$, ahol M a Nap tömege, m az űrhajó tömege, és G a gravitációs állandó. A v_1 és v_2 sebességek az alábbiak:

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

Az átmenet egy Δv_1 sebességi impulzusból áll, amely az űrhajót az elliptikus transzfer pályára kényszeríti, és egy másik Δv_2 sebességi impulzusból, amely az űrhajót végül az r_2 sugarú körpályára állítja v_2 sebesség mellett. Az űrhajó összenergiája a mozgási és helyzeti energia összege. Ez megegyezik a helyzeti energia felével a fél nagytengelyen:

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

Az egyenlet megoldása megadja a v'_1 sebességet az elliptikus röppálya kezdőpontjánál (perihélium) és a v'_2 sebességet az elliptikus röppálya végpontjánál (aphélium).

$$v'_1 = \sqrt{GM \left(\frac{2}{r_1} - \frac{2}{r_1 + r_2} \right)} = v_1 \sqrt{\frac{2r_2}{r_1 + r_2}}$$

$$\text{in } v'_2 = \sqrt{GM \left(\frac{2}{r_2} - \frac{2}{r_1 + r_2} \right)} = v_2 \sqrt{\frac{2r_1}{r_1 + r_2}}.$$

Ebben az esetben a sebességek változásai:

$$\Delta v_1 = v'_1 - v_1 = v_1 \left(\sqrt{\frac{2r_2}{r_1 + r_2}} - 1 \right)$$

$$\text{és } \Delta v_2 = v_2 - v'_2 = v_2 \left(1 - \sqrt{\frac{2r_1}{r_1 + r_2}} \right).$$

Fontos:

- Ha $\Delta v_1 > 0$, az űrhajó gyorsul. Ha $\Delta v_1 < 0$, az űrhajó sebessége csökken.
- Kepler harmadik törvénye adja meg a perihéliumtól az aphéliumig való átmenethez szükséges **időt**.

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

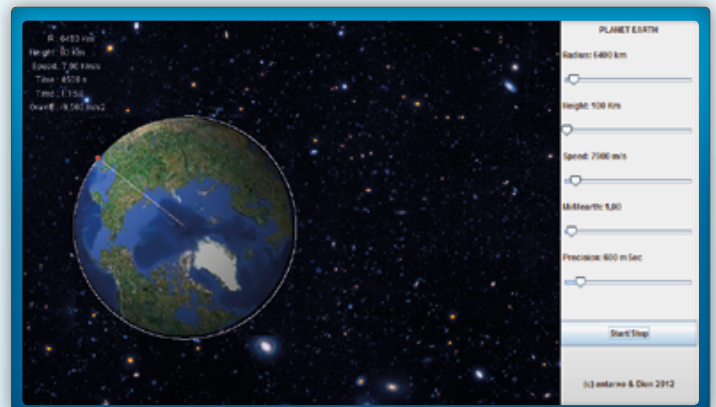
I Várakozás a megfelelő pillanatra

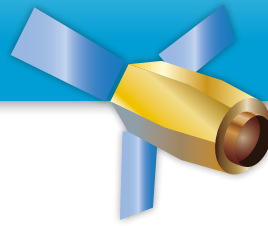
Kulcsfontosságú, hogy a bolygók hogyan helyezkednek el a pályájukon. A célbolygónak és az űrhajónak egyaránt a saját pályáján egy időben kell ugyanarra a Nap körüli keringési pontra érnie. Ez az együttállási követelmény vezet az indítási ablak fogalmának alkalmazásához.

Feladatok diákoknak az Orbiting and Escaping alkalmazás használatával

Hogyan található meg az első és a második kozmikus sebesség? A tanulók meg tudják határozni a Föld körüli keringési sebességet (első kozmikus sebesség) és a szökési sebességet (második kozmikus sebesség) az alkalmazás Earth opciójával. Láthatják, mi történik, ha a kezdeti sebesség kisebb vagy nagyobb az első kozmikus sebességnél.

Hogyan határozható meg két képlet ezzel az alkalmazással? Egy alapvető kísérleti módszert felhasználva a diákok megalkotják azt a képletet, amely leírja egy műholdpálya keringési sebességét egy égitest körül, és ennek az égitestnek a szökési sebességét. Ennek során fel-





fedezik Newton általános gravitációs elméletének jellemzőit. Az alapszinten folytatott adatgyűjtés és -feldolgozás során a tanulók felismerik, hogy a képletek arányosságok. Haladóbb szinten pedig az arányossági együtthatót meghatározva azokból egyenlőségeket alkotnak.

A Green Planet opcióval (minden más beállítás, kivéve $M_i/M_{\text{Earth}} = 1$ és sugár = 6400 km, ahol M_i a bolygó tömege, a Föld tömegeként kifejezve) a tanulók meghatározhatják a röppálya sebességének képletét. Erre a célra kiválasztanak egy értéket a bolygó sugarához és betáplálják a körpálya sebességét a bolygó tömegének különböző értékeire vonatkozóan. A körpálya sebességének és a bolygó tömegének összefüggéséről szóló következtetés levonásakor – a felismeréseket felhasználva – át kell alakítaniuk azokat arányossági szabályokká. Ugyanezeket a lépéseket a bolygó tömegének változatlan értékével, majd az R (sugár + magasság) változó értékeivel megismételve a tanulók eljutnak egy második arányossághoz.

Az egy bolygó körüli röppálya sebességére vonatkozó képlet felállításának folyamata akkor kész, amikor a tanulók az arányosságot egyenlőségre változtatják. Először egyesítik a két arányosságot. Ezután egy grafikont rajzolnak: $\text{graph } v^2 = f[M_i / R]$ [ahol M_i kg-ban van számítva és $M_{\text{Earth}} = 6 \cdot 10^{24}$ kg]. A grafikon meredeksége megadja azt az együtthatót, mely segít a diákoknak az egyenlőség felállításában.

Az előző feladat ötleteit alkalmazva és lépéseit követve a tanulók meg tudják határozni a szökési sebesség, v_{escape} képletét.

Tanulói feladatok a Solar System Travel című alkalmazás használatával

Az alkalmazást használva a tanulók ezúttal egy két bolygó közti útvonalat választanak. Le tudják olvasni a Hohmann pálya és a bolygók kezdeti sebességét, majd ellenőrzik azokat az előbbi alkalmazás újonnan alkotott képleteivel.

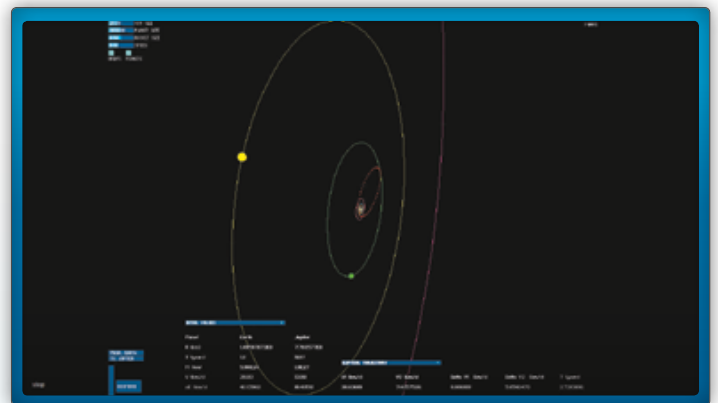
A keringési pályák szögeit a SHIFT billentyű használatával változtathatják, az egér SCROLL gombjával pedig nagyíthatnak, ill. kicsinyíthetnek.

Az elliptikus Hohmann pálya (pontosza) egy forgómozgást mutat az űrhajó kiindulási bolygóját követve. A diákok a HOHMANN gombra kattintanak és megvárják, amíg az ellipszis megáll. Ebben a pillanatban

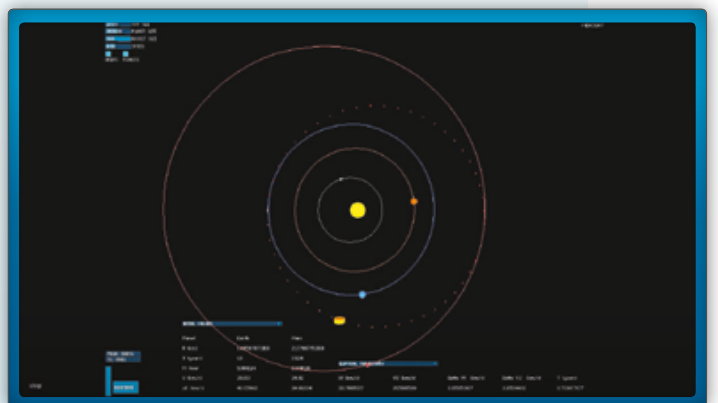
az űrhajó megkezdí útját, mivel a bolygók elhelyezkedése ekkor kedvező.

Különböző bolygók keringési pálya sebességének és keringési idejének tanulmányozása

A diákok levonhatják azt a következtetést, hogy a



növekvő keringési pályasugárral a bolygók sebessége csökken, a keringési idő pedig növekszik. Grafikonon



ábrázolhatják a bolygók sebességét és az időtartam alakulását a pályasugár növelése mellett; $r, v = f[r]$ és $T = f[r]$.

A különböző szükséges sebességi impulzusok összehasonlítása (delta-v)

A diákok válasszanak ki egy Hohmann transzfer pályát a Földről a Vénusz vagy a Merkúr felé. Megfigyelhetik, hogy $\Delta v_1 < 0$. Ha egy másik, a Naptól távolabb eső bolygóra utaznak, akkor $\Delta v_1 < 0$. Azt a következtetést vonhatják le, hogy ha egy kisebb pályáról egy nagyobb felé szeretnének utazni, akkor az űrhajónak gyorsítania kell és fordítva. Ha egy nagyobb pálya felől szeretnének egy kisebb felé haladni, az űrhajónak lassítania kell. Az üzemanyagfogyasztás azonos.

Delta-v sebesség kontra szökési sebesség v_e

Ha a diákok táblázatba foglalják az egyes utazásokhoz tartozó delta-v értékeket és az adott bolygók szökési sebességét (v_e), akkor láthatják, hogy néhány esetben a két érték nagyon közel áll egymáshoz. Például a Földről az Uránuszra Hohmann pályán nem lehet eljutni, ezért egyéb megoldásokat kell találni.

Az űrhajósok testét érő lehetséges károsodások

Az alkalmazást használva a tanulók hasonlítsák össze a különböző utazások transzfer idejét (t). Láthatják, hogy a szükséges utazási idő sokkal hosszabb, amikor figyelembe kell venni a megfelelő indítási ablakot. Ebben az esetben tekintettel kell lenni a hosszabb űrutazás során fellépő élettani hatásokra: Mikrogravitációban például a csontok gyengülése, a szívmok terhelése, röntgen- és gamma sugárzás alatt sejtkárosodás, hosszirányú gyorsításnál a vér fejben vagy lábokban való koncentrálódása fordulhat elő. A tanulók végezzenek kutatásokat az űrutazás által okozott biológiai károkról és készítsenek posztert az adott témáról.

KÖVETKEZTETÉS

Miközben ezeket a szimulációkat végzik, a tanulók kibővítik ismereteiket és összehasonlítják tudásukat a Naprendszerrel és az űrutazásról. Szélesítik látókörüket és tudomást szereznek az űrutazás különböző problémáiról. Amint korábban rámutattunk, ez egy interdiszciplináris elgondolás, mely nem csak a fizikát és informatikát foglalja magában, hanem a biológiát és a matematikát is.

Ezekre építkezve a tanulók esetleg szeretnék tanulmányozni az utazás során fellépő zavaró tényezőket, mint például egy harmadik test gravitációs hatása, légköri ellenállás, napsugárzásból adódó zavarok. Egyéb pálya manővereket is kipróbálnának, például a gravitációs csúzlit, vagy az Oberth-effektust.

