

Animace letů vesmírných sond

TOMÁŠ FRANČ

*Astronomický ústav Univerzity Karlovy, Matematicko-fyzikální fakulta,
Karlova Univerzita v Praze*

Abstrakt

Kosmonautika je opomíjená oblast fyziky, která může oživit výuku. Jednou z možností je znázornění letů vesmírných sond. V příspěvku je uveden stručný návod na vytvoření animací letů vesmírných sond a několik návrhů na využití v hodinách fyziky.

Úvod

Cílem příspěvku je ukázat možnost oživení výuky fyziky pomocí animací letů vesmírných sond. Takové animace sice nejsou k dispozici, nicméně není problém si vytvořit vlastní. K tomu je především potřeba získat data, kudy daná sonda letěla – to umožňuje webové rozhraní *HORIZONS Web-Interface* [1]. Dále je potřeba mít vhodný program, my jsme použili *Wolfram Mathematica* [2]. Kdo však nemá takový program k dispozici nebo nechce trávit čas vlastní tvorbou animací, může použít námi vytvořené animace, které plánujeme dát plně k dispozici. Na přehrání animací navíc není potřeba samotný program, ale stačí přehrávač takových souborů, *Wolfram CDF Player* [3], který je zdarma a umožňuje kromě přehrání animací i natáčení a přibližování 3D grafiky. Na konci příspěvku uvedeme možnosti využití animací v hodinách výuky fyziky.

Vytvoření animací

Stažení souřadnic

Nejprve je potřeba dostat se k potřebným datům, to umožňuje webové rozhraní *HORIZONS Web-Interface* [1], kde zvolíme následující nastavení (viz Obrázek 1):

Ephemeris Type: OBSERVER

Observer Location: Sun (body center)[500@10]

Table Settings: QUANTITIES=18,19,22; suppress range-rate=YES

Display/Output: download/save (plain text file)

Target Body – zde zadáváme jak jména misí, tak i planet, případně komet atd.

Time Span – pro danou volbu z *Target Body* je vždy k dispozici údaj o dostupném časovém rozsahu, zároveň máme na volbu z časového kroku (*Step Size*) – bohatě postačující je volba 1 den, ale lze zvolit i jemnější krok (my používáme 1 hodinu).

Po všech nastavených volbách zvolíme *Generate Ephemeris* a vygenerovaný soubor uložíme do počítače. Je velmi důležité zvolit vhodný způsob pojmenovávání souborů!

The screenshot shows the NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) Horizons web interface. At the top, there is a navigation bar with links for JPL HOME, EARTH, SOLAR SYSTEM, STARS & GALAXIES, and TECHNOLOGY. Below this is a large banner for "Solar System Dynamics" with a background image of the solar system. A secondary navigation bar contains links for BODIES, ORBITS, EPHEMERIDES, TOOLS, PHYSICAL DATA, DISCOVERY, FAQ, and SITE MAP. The main content area is titled "HORIZONS Web-Interface" and contains a description of the tool, current settings, and a "Generate Ephemeris" button. The settings are as follows:

- Ephemeris Type [change]: OBSERVER
- Target Body [change]: Galileo Spacecraft [-77]
- Observer Location [change]: Sun (body center) [500@10]
- Time Span [change]: Start=1989-Oct-19 02:00, Stop=2003-Sep-30 11:00, Step=1 d
- Table Settings [change]: QUANTITIES=18,19,22; suppress range-rate=YES
- Display/Output [change]: download/save (plain text file)

Below the settings is a "Generate Ephemeris" button and a "Special Options" section with the following list:

- set default ephemeris settings (preserves only the selected target body and ephemeris type)
- reset *all* settings to their defaults (caution: all previously stored/selected settings will be lost)
- show "batch-file" data (for use by the E-mail interface)

At the bottom of the page, there is a footer with links for ABOUT SSD, CREDITS/AWARDS, PRIVACY/COPYRIGHT, GLOSSARY, and LINKS. It also includes the "FIRSTGOV" logo, the server date/time (2012-Sep-12 11:52 UT), and contact information for the Site Manager (Donald K. Yeomans) and Webmaster (Alan B. Chamberlin).

Obr. 1. Nastavení webového rozhraní pro získání souřadnic.

Příprava dat před importem do programu *Wolfram Mathematica*

Před vlastním vložením dat do programu *Wolfram Mathematica* je potřeba ve všech získaných textových souborech umazat jejich začátky a konce tak, aby v nich zbyly jen tabulky s údaji (úplně první údaj v souboru tak bude datum pro první souřadnici). Dále se ukázalo jako výhodné vytvořit textové soubory zvlášť pro každou souřadnici, datum i rychlost – to lze udělat např. pomocí programu *MS Excel* [4] takto: Volba *Otevřít – Všechny soubory*, dále *Zdrojový typ – Pevná šířka, Další*, vždy vybereme jen jeden sloupec, který chceme osamostatnit a zvolíme pro něj *Formát dat ve sloupcích – Text*, u ostatních sloupců zvolíme *Neimportovat* a vložený sloupec uložíme jako typ: *Text oddělený tabulátory* (u následné hlášky dáme *Ano* a při zavírání *Excelu* dáme naopak *Ne* u *Chcete uložit změny provedené...*). Toto provedeme pro všechny sloupce, které budeme chtít importovat do programu *Mathematica*.

Transformace souřadnic

Ještě před vlastním vytvářením animací je lepší heliocentrické sférické souřadnice převést do heliocentrických kartézských souřadnic (*Mathematica* umí vytvořit grafy i ze sférických, ale vykreslování trvá příslušnému příkazu déle než vykreslení kartézských souřadnic) – k tomu poslouží známá transformace souřadnic:

$$x = r \cos \theta \cos \varphi$$

$$y = r \cos \theta \sin \varphi$$

$$z = r \sin \theta$$

kde r je *Radial Distance*, θ *Latitude* a φ *Longitude*. Přepočítání lze provést v programu *Mathematica* a výsledky pak exportovat jako textové soubory.

Import dat do programu *Wolfram Mathematica*

Klasický příkaz `Import` se ukázal jako nepříliš efektivní (vlození velkých objemů dat dlouho trvá a počítač navíc obvykle zamrzne) – lepší je následující způsob:

```
f=OpenRead["C:\\MissionsGravitationalAssist\\Dawn\\DawnData\\xCoordinatesDawn.txt"];
xCoordinatesDawn=ReadList[f,Number];Close[f];Clear[f];
```

kde je zadána jak cesta a název zdrojového souboru, tak následné označení příslušné souřadnice (zde `xCoordinatesDawn`).

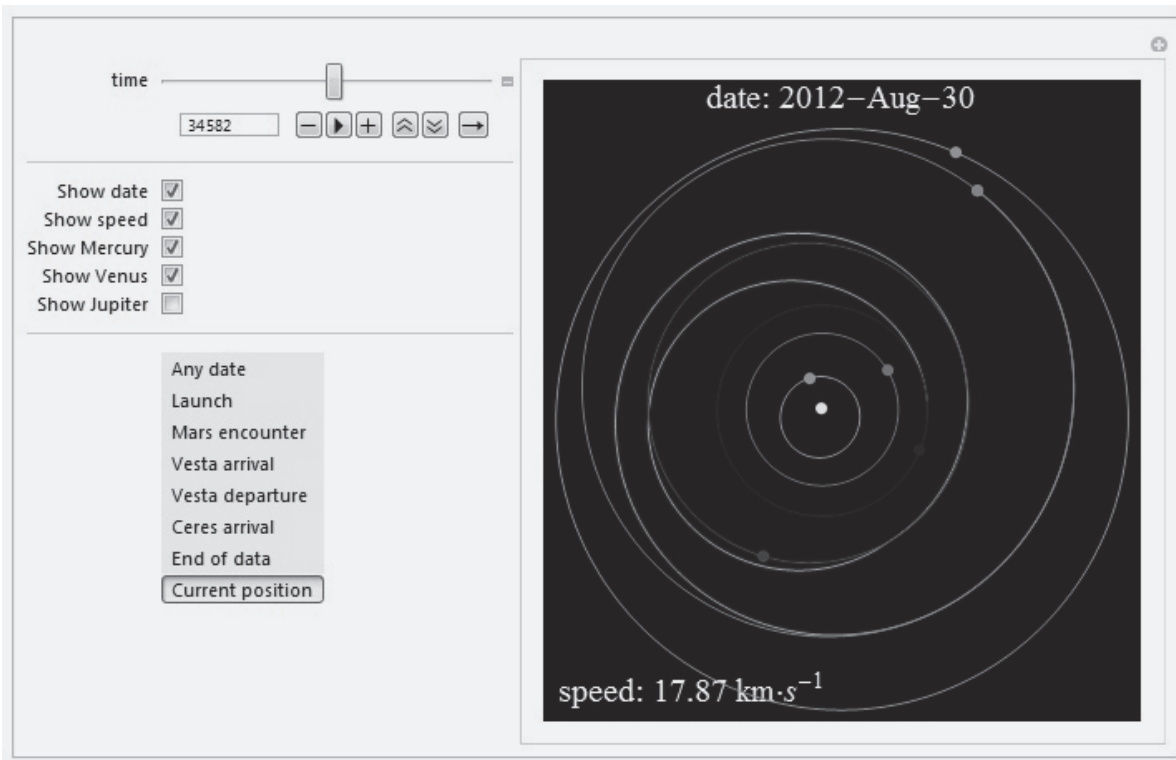
Vytvoření animace

Nyní zde pouze stručně nastíníme základní příkazy potřebné pro vytvoření animace:

```
Manipulate[Show[Graphics[{{Line[Table[
{xCoordinatesDawn[[i]],yCoordinatesDawn[[i]]},{i,1,k}]]},
{Point[{xCoordinatesDawn[[k]],yCoordinatesDawn[[k]]}]},
ParametricPlot[]]]],{k,1,lengthDawn,1}]
```

Příkaz `Point` vykreslí danou polohu sondy, příkaz `Line` vykresluje její trajektorii, `lengthDawn` označuje délku seznamu souřadnic. Pohyb planet získáme opět příkazem `Point`. Záměrně jsme nevyplnili příkaz `ParametricPlot`, který by měl vykreslit trajektorie planet, protože zde je menší problém. Trajektorie planet by bylo možné vykreslit příkazem `Line` stejně jako pro sondy, ovšem například pro Neptun se takto získá jen malý úsek jeho celé trajektorie – pokud si speciálně pro něj nenecháme vypsát souřadnice pro 165 let jeho oběžné doby. Lepší je takový postup, kdy získáme dráhové elementy planet (jde o text vymazávaný ze souborů získaných z [1] nebo je nalezneme v návodu [5]) a dále použijeme návod popsáný v [5] (prakticky nejde o nic jiného než o rovnici elipsy ve 3D, která „prošla“ 3 otočeními v prostoru, které odpovídají Eulerovým úhlům – dráhovým elementům). Nakonec rovnici nenecháme vykreslit právě příkazem `ParametricPlot`. Je napínavé pak sledovat, jestli pozice planet získaných z [1] odpovídají trajektoriím vykresleným pomocí dráho-

vých elementů planet. Ukázka obrázku animace (vylepšené o několik nastavení) je na Obrázku 2. (Z předešlého je tedy zřejmé, že pohyby planet nemodelujeme řešením Keplerovy rovnice, používáme skutečné pozice planet v čase získané z [1], stejně tak nemodelujeme pohyby sondy v gravitačním poli Slunce).



Obr. 2. Ukázka z 2D animace letu sondy *Dawn*.

Možnosti využití animací ve výuce

Základní využití se přímo nabízí – studium průběhu letu sondy, vývoj rychlosti apod. (Totéž vlastně lze udělat jen pro samotné planety – studovat jejich pohyby – mj. i ve 3D, kdy studenti – možná poprvé – uvidí, že planety neobíhají Slunce v jedné rovině). Pokud však navíc vybereme nějakou zajímavou misi, možnosti se dále rozšiřují. Zajímavé jsou zejména mise, které během letu využily techniku tzv. *gravitačního praku*. Jde o techniku, kdy sonda vhodným způsobem přiletí k planetě a ta ji urychlí či zpomalí; tato technika se také používá ke změně směru letu (vše vztaheno vůči Slunci). Tato technika funguje díky zákonu zachování energie, což znamená, že v případě urychlení sondy je planeta zpomalena (a naopak, opět vše vůči Slunci). Takové mise jsou zajímavé z toho důvodu, že se sonda musí s planetou „potkat“ – je tedy napínavé sledovat, že k takovému setkání skutečně v uvedených misích dojde. Dále je možné zkoumat, zda sonda obletí planetu „před“ planetou nebo „za“ planetou – na tom totiž závisí právě to, zda je sonda urychlena nebo zpomalena (vzhledem k Slunci). V tento okamžik je velice užitečné sledovat i údaj o rychlosti sondy.

Animace je vhodné samozřejmě doplnit povídáním o přípravě mise, startu, problémech, financování, cílech mise a nových objevech, poukázat na to, jaké otázky mise zodpověděla a jaké naopak díky ní vyvstaly. Rovněž je nesmírně zajímavé zjistit, co

se stalo se samotnou sondou. To je ideální úkol pro studenty na doma, misí je dostatek, takže na všechny se jistě dostane. Součástí prezentace studentů mohou být také fotografie, které sondy pořídily a které bychom jinak nikdy nezískali. To vše by navíc mohlo vést k tomu, že se studenti zeptají, jak vlastně gravitační prak přesně funguje. Dále je možné hovořit o třech kosmických rychlostech, startu sond (s ohledem na vlastní rotaci Země, oběh kolem Slunce) či vhodné volbě vztažné soustavy (s tím se na středních školách příliš nepracuje). Pokud půjdeme ještě o trochu dále, lze se dostat i na mezipředmětové vztahy – většina stránek, ze kterých by studenti čerpali výše zmíněné informace, je v angličtině. Je možné se zabývat chemickým složením jiných planet, komet, asteroidů. A lze se dostat i k biologii, a sice zabývat se otázkou existence mimozemského života...

Něco z výše uvedených lze zařadit do běžné výuky, něco naopak jen do semináře. Další předností takové práce je použití **reálných** dat ve výuce.

Seznam misí, které využily gravitační prak

Pioneer 10 & 11, Mariner 10 (pro něj však data nejsou na [1] k dispozici), *Voyager 1 & 2, Galileo, Ulysses, Cassini, Rosetta, Messenger, New Horizons, Dawn, Juno*.

Celkem tak máme k dispozici minimálně 12 velice zajímavých misí, které během svého letu využily alespoň jednou gravitační prak u nějaké planety (některé navíc tuto techniku využily dokonce čtyřikrát během letu a pokaždé tedy došlo k setkání sondy a planety – a to vše bylo naplánováno dlouho před startem!).

Závěr

V tomto příspěvku jsme popsali postup, jak lze vytvořit vlastní animace letů kosmických sond. Uvedli jsme možnosti využití takových animací ve výuce. Animace plánujeme dát k dispozici, k jejich přehrání postačuje program *Wolfram CDF Player*, který je zdarma. Rovněž na internetové adrese <http://sirrah.troja.mff.cuni.cz/~franc/> zpřístupníme soubory stažené ze stránek [1] pro ty, co by si chtěli animace předělat podle svých představ a nechtěli se zdržovat zdoluhavým stahováním a úpravou textových souborů. (Budeme se snažit dát vše k dispozici nejdéle do konce listopadu – nyní „vychytáváme poslední mouchy“).

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory Grantové agentury Univerzity Karlovy (číslo smlouvy 341311). Dále děkujeme NASA za poskytnutí dat na adrese [1].

Literatura

- [1] <http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>
- [2] <http://www.wolfram.com/mathematica/>
- [3] <http://www.wolfram.com/cdf-player/>
- [4] <http://office.microsoft.com/cs-cz/excel/>
- [5] http://ssd.jpl.nasa.gov/txt/aprx_pos_planets.pdf