

## VÝPOČET MOID A JEJÍ VÝVOJ PRO NĚKOLIK VYBRANÝCH NEBESKÝCH TĚLES

*Petr Jelínek<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Jihočeská univerzita, Jeronýmova 10, České Budějovice, 371 15

e - mail: jelinp00@pf.jcu.cz

☎ +420 387 773 124

*Zdeněk Moravec<sup>2</sup>*

<sup>2</sup>Univerzita J. E. Purkyně, České mládeže 8, Ústí nad Labem, 400 96

e - mail: moravec@pf.ujep.cz

☎ +420 475 214 417

### Abstrakt

Tato práce se zabývá metodou výpočtu MOID (Minimum Orbital Intersection Distance) a jejího časového vývoje pro několik vybraných nebeských těles. MOID, který určuje minimální prostorovou vzdálenost mezi eliptickými drahami dvou nebeských těles, je parametr, který umožňuje odhadnout, do jaké míry dané těleso, např. planetka představuje nebezpečí srážky s jiným tělesem, především se Zemí.

### Úvod

V této práci se zabýváme výpočty MOID pro planetky, především pak pro ty, které by v budoucnu mohly představovat nebezpečí v podobě srážky se Zemí.

Planetky, které se mohou na své dráze přiblížit k Zemi patří do skupiny těles označovaných jako NEA nebo NEAs, z angl. NEA(s) – Near Earth Asteroid(s), někdy je možno setkat se také s názvem planetky typu AAA. Název AAA je složen z prvních písmen názvů planetek, které byly objeveny jako první. Tyto planetky mají názvy Aten, Apollo a Amor. Planetky typu Aten jsou taková tělesa, jejichž velká poloosa je menší než 1,0 AU. Planetky skupiny Apollo jsou taková tělesa, jejichž perihelová vzdálenost leží uvnitř oběžné dráhy Země, konkrétně se jedná o tělesa, jejichž perihelová vzdálenost je menší než 1,0 AU a velká poloosa je větší než 1,0 AU. Konečně tělesa typu Amor jsou tělesa, jejichž perihelová vzdálenost leží uvnitř dráhy planety Mars. Konkrétně je perihelová vzdálenost těchto těles větší než 1,0 AU, ale menší než 1,3 AU.

K 3. lednu 2002 podle údajů z Minor Planet Center známe celkem 1 677 blízkozemních těles, z nichž je 126 typu Aten, 770 typu Apollo a 781 typu Amor.

Skupina těles, která je pro nás velmi významná je skupina, do které patří ta tělesa, která jsou tzv. potenciálně nebezpečná pro Zemi. Tato skupina těles se označuje jako PHA nebo PHAs, z angl. Potentially Hazardous Asteroid, resp. Potentially Hazardous Asteroids, to jsou taková tělesa, která se k naší planetě mohou přiblížit na vzdálenost menší než 0,05 AU, to je zhruba 7,5 milionů kilometrů a jejichž absolutní hvězdná velikost ve vizuální oblasti spektra je menší nebo maximálně rovna  $H = 22,0$  mag. Takových těles, které patří právě do skupiny PHAs známe k 3. lednu 2002 celkem 358.

### MOID – Minimum Orbital Intersection Distance

Minimum Orbital Intersection Distance – MOID, je minimální prostorová vzdálenost eliptických drah dvou nebeských těles. V této práci se zabýváme především minimální

prostorovou vzdáleností mezi planetkou a planetou Zemí. MOID nám umožňuje odhadnout, do jaké míry daná planetka představuje nebezpečí v podobě srážky se Zemí. MOID se počítá pro určitou epochu nebo datum, ve kterém jsou přesně známy elementy eliptické dráhy pro obě tělesa. Ovšem pro tuto epochu nebo datum se budou ve skutečnosti pravé anomálie obou těles poněkud lišit od těch, pro které by bylo možno vzdálenost mezi tělesy považovat za minimální, proto i okamžitá vzdálenost obou těles pro tuto epochu bude odlišná od vypočteného MOIDu. Na rozdíl od okamžité vzdálenosti dvou těles v prostoru tedy MOID poskytuje pouze informaci o jisté minimální hodnotě, na kterou by se dvě tělesa mohla na svých eliptických drahách k sobě přiblížit, pokud by se v určitém okamžiku hodnoty jejich pravých anomálií rovnaly námi vypočítaným hodnotám. Z výše uvedeného tedy vyplývá, že vlastně nikdy nemusí nastat taková situace, kdy se tato dvě tělesa k sobě přesně na takovou minimální vzdálenost přiblíží.

### Časový vývoj MOID

Hodnota MOID se pozvolna v čase mění. Ke změnám MOID dochází proto, že v důsledku vzájemného gravitačního působení všech těles ve sluneční soustavě dochází ke změnám elementů drah všech těchto nebeských těles. Protože výpočet MOID je založen na znalosti přesných hodnot elementů dráhy toho kterého tělesa, musí se tedy nutně měnit v důsledku změn elementů drah i hodnota minimální prostorové vzdálenosti – MOID.

K tomu, abychom tedy mohli zjišťovat změny MOID, musíme pro každý okamžik zjistit změnu elementů dráhy Země a planetky, pro kterou MOID počítáme a teprve potom, po zjištění změny můžeme spočítat pro danou epochu MOID nový. Tímto postupem tedy dostaneme několik hodnot MOID pro určitý časový úsek a vynesení do grafu dostaneme časový vývoj MOID tak, jak je uveden v níže uvedených grafech.

### Postup výpočtů MOID a časového vývoje MOID

K tomu, abychom mohli počítat vzdálenosti dvou těles v prostoru, musíme nejdříve jednoznačně určit polohu tělesa v prostoru. Pro výpočet polohy tělesa v prostoru používáme heliocentrické ekliptikální pravouhlé souřadnice, jejichž případné odvození lze nalézt např. v knize [1] a podle nichž platí např. pro  $x$ -ovou souřadnici  $i$ -tého tělesa tělesa následující vztah:

$$x_i = \frac{a_i(1 - e_i)(P_{x_i} \cos v_i + Q_{x_i} \sin v_i)}{1 + e_i \cos v_i}$$

kde  $a$ ,  $e$  je velká poloosa a excentricita dráhy tělesa. Veličina  $v$  je pravá anomálie. Pro zbylé dvě souřadnice, tedy  $y$  a  $z$  dostaneme analogické vztahy, pouze správně oindexujeme vektorové elementy  $P$  a  $Q$ . Pro dvě tělesa máme tedy celkem šest souřadnic a můžeme použít vztah z analytické geometrie pro výpočet vzdálenosti dvou bodů v prostoru:

$$\Delta = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$

Při výpočtu MOID jde vlastně o to, nalézt minimum této funkce. Při praktickém výpočtu jsme hledali hodnoty pravých anomálií obou těles, při kterých bude hodnota funkce  $\Delta$  minimální. Po nalezení těchto hodnot můžeme vypočítat hodnotu funkce  $\Delta$ , a tak dostáváme hodnotu minimální prostorové vzdálenosti – MOID.

Při výpočtu časového vývoje MOID postupujeme obdobným způsobem. Tato fáze výpočtu je ale složitější. Rozdíl oproti předchozímu případu je v tom, že nepočítáme MOID pro jednu epochu, ale pro několik časových okamžiků. Výpočet je tedy složitější o zjišťování změn v elementech drah nebeských těles. Tedy pro každé datum musíme nejdříve vypočítat změnu elementů dráhy tělesa a teprve potom z těchto "nových" elementů dráhy vypočteme hodnotu MOID.

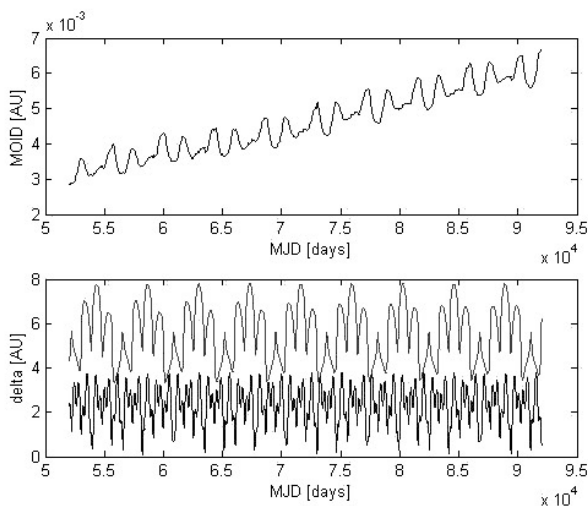
V první fázi výpočtu jsme pomocí několika programů napsaných v Matlabu počítali MOID pro všechny číslované planetky, tj. takové, které měly přesně spočítanou dráhu. Takových těles bylo k 1. 4. 2001 celkem 27 654. Z tohoto celkového počtu všech číslovaných těles byla vybrána taková tělesa, u kterých byla hodnota MOID menší než 0,003 AU, což zhruba odpovídá vzdálenosti Země – Měsíc. Tato tělesa jsou uvedena v následující tabulce:

Číslo	Planetka	MOID[AU]
1981	Midas	0,002944
2201	Oljato	0,001607
7482	1994 PC1	0,000417
20425	1998 VD35	0,002562

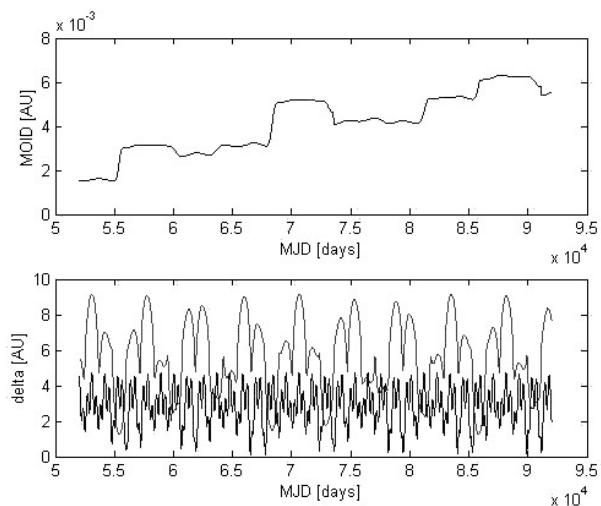
Pro tato tělesa byl opět programy napsanými v Matlabu proveden výpočet časového vývoje MOID. Výpočet časového vývoje MOID byl proveden na 40 000 dní, tj. zhruba na 100 let, do budoucnosti. Výsledky našich výpočtů jsou znázorněny v přiložených grafech. V grafech je uvedena i okamžitá vzdálenost dané planetky od největší planety sluneční soustavy – Jupiteru a planety Země.

### Výsledky výpočtů

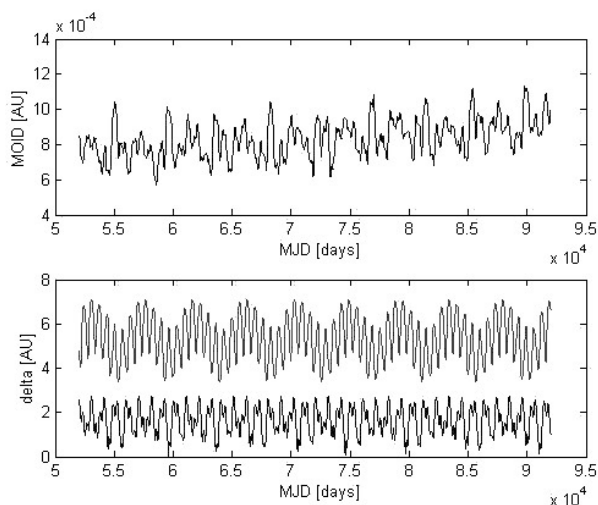
Planetka (1981) Midas



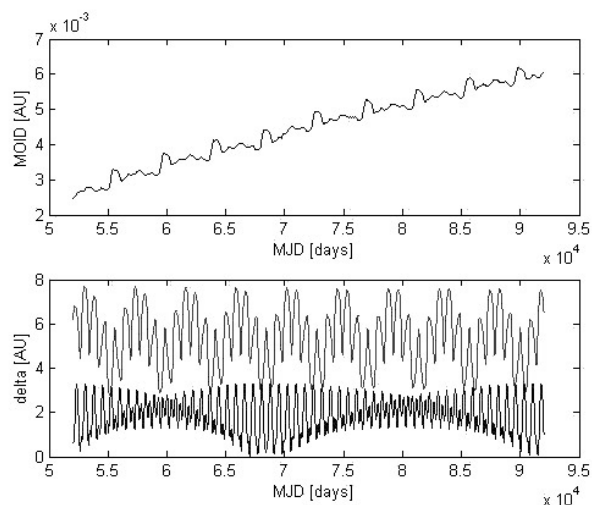
Planetka (2201) Oljato



## Planetka (7482) 1994 PC1



## Planetka (20425) 1998 VD35



### Závěr

Z provedených výpočtů v této práci bylo zjištěno, že u vybraných planetek dochází ke změnám hodnoty MOID převážně v závislosti na vzdálenosti od nejhmotnější planety ve sluneční soustavě - Jupiteru. Jak je z příložených grafů vidět, největší změny nastávají při nejtěsnějším přiblížení k této planetě, kdy dochází ke zvětšování hodnoty MOID pro danou planetku.

### Literatura

- [1] Andrlé, P.: *Základy nebeské mechaniky*, Academia, Praha, 1971
- [2] Bowell, E.: *Lowell Observatory – Asteroid Data Services*, <http://asteroid.lowell.edu>
- [3] Jelínek, P.: *Výpočet minimální prostorové vzdálenosti dvou drah a její vývoj pro několik vybraných nebeských těles*, Diplomová práce, Jihočeská Univerzita, České Budějovice, 2002
- [4] Marsden, B. G.: *IAU – Minor Planet Center*, <http://cfa-www.harvard.edu/iau/mpc.html>
- [5] Milani, A.: *Near Earth Dynamics Site*, <http://newton.dm.unipi.it/neodys>