

Ján Svoreň; Marek Husárik

Populácia asteroidov v slnečnej sústave z hľadiska možných zrážok so Zemou

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 51 (2006), No. 2, 99--111

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/141307>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2006

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

# Populácia asteroidov v slnečnej sústave z hľadiska možných zrážok so Zemou

Ján Svoreň a Marek Husárik, Tatranská Lomnica

## 1. Asteroidy

Asteroidy (tiež malé planéty, planétky, planetoidy) sú menšie, neaktívne telesá podobné planétam obiehajúce okolo Slnka a vyskytúce sa vo veľkom množstve najmä v oblasti medzi Marsom a Jupiterom.

Prvý asteroid Ceres objavil 1. januára 1801 G. Piazzi v Palerme. Na rozdiel od planét mal vzhľad ako hviezda, preto dostal názov *asteroid* (hviezde podobný). V roku 1892 bol objavený prvý asteroid fotograficky, potom už počet objavov rýchlo rástol. Odhaduje sa, že v dosahu dnešných ďalekohľadov je približne 250 000 asteroidov. V hlavnom páse by malo byť asi 700 000 asteroidov s priemerom väčším ako 1 km, počet známych telies už dosiahol magickú hranicu 100 000.

Najväčší asteroid Ceres má priemer 940 km, z doteraz objavených asteroidov 63 má priemer nad 200 km, 450 asteroidov nad 100 km, najmenší pozorovaný asteroid, 1991 BR, má priemer len 5 m (všetky uvádzané počty asteroidov sú podľa stavu k začiatku októbra 2005). V tabuľke 1 sú rozmery 10 najväčších asteroidov.

TABUĽKA 1. Zoznam desiatich najväčších objavených asteroidov.

Názov	Priemer (km)	Názov	Priemer (km)
(1) Ceres	940	(511) Davida	324
(4) Vesta	576	(65) Cybele	308
(2) Pallas	538	(52) Europa	292
(10) Hygiea	430	(87) Sylvia	282
(704) Interamnia	338	(451) Patientia	280

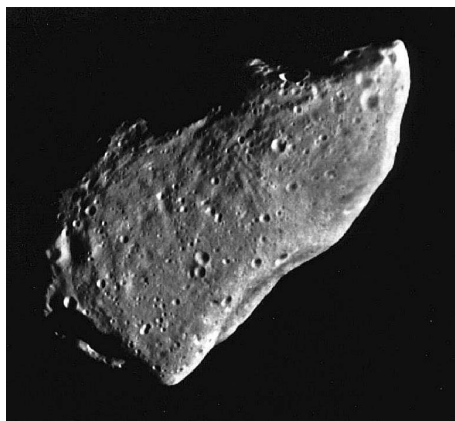
Asteroidy (okrem desiatky najväčších) nie sú sféricky symetrické, ale veľmi nepravidelne tvarované. Gravitačná sila na ich povrchu nie je dostatočne veľká na vytvorenie guľového tvaru. Najhmotnejší asteroid Ceres má hmotnosť približne  $1,2 \cdot 10^{21}$  kg. Celková hmotnosť všetkých ďalších asteroidov okrem Ceresa je len 0,8 hmotnosti Ceresa — menej ako dvadsatina hmotnosti nášho Mesiaca. Typická hustota asteroidov je

---

Doc. RNDr. JÁN SVOREŇ, DrSc. (1949), Astronomický ústav SAV, riaditeľ, SK-059 60 Tatranská Lomnica, e-mail: astrsven@ta3.sk

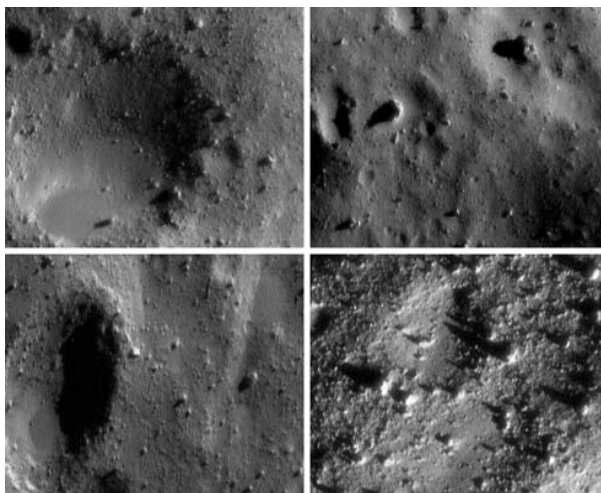
Mgr. MAREK HUSÁRIK (1976), Astronomický ústav SAV, doktorand, SK-059 60 Tatranská Lomnica, e-mail: mhusarik@ta3.sk

približne od  $2000$  do  $3500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , čo je približne polovica v porovnaní s priemernou hustotou zemského materiálu. Iba jeden z asteroidov — Vesta — leží na hranici viditeľnosti voľným okom, ostatné vidno len v ďalekohľade. Na rozdiel od minulosti asteroidy nepovažujeme za zvyšky rozpadnutej planéty. Pravdepodobne sú to zvyšky pôvodného materiálu, ktorý sa v oblasti silného rušivého pôsobenia Jupitera nemohol pospájať a vytvoriť väčšie teleso.



Obr. 1. Asteroid Gaspra odfotohovaný sondou Galileo. Jeho veľkosť je  $20 \times 12 \times 11$  km. Povrch odráža až 20 % dopadnutého slnečného svetla.

Jasnosť asteroidov sa mení nielen vďaka zmene geometrických podmienok (vzdialeností od Zeme a Slnka a fázového uhla), ale časť zmien je spôsobená ich rotáciou. Hlavnou príčinou zmien jasnosti je zmena viditeľnej časti povrchu, nie albeda povrchu.



Obr. 2. Detailné zábery povrchu planétky Eros. Zábery boli urobené postupne z výšok 13,5 až 4,9 km. Vidieť, že povrch je posiaty balvanmi rôznej veľkosti. Na obrázkoch naľavo sú zreteľne vidieť impaktné krátery. Snímky boli získané 25. – 28. januára 2001.

Čo sa týka zloženia, rozoznávame podľa typu spektra a hodnoty albeda 4 základné typy asteroidov [1]:

- C-typ (75 %) – podobné uhlíkatým chondritom,
- D-typ (5 %) – spektrá organických zlúčenín,
- S-typ (15 %) – spektrá typické pre kremičitany,
- M-typ (4 %) – vysoký obsah železa a niklu.

Na povrchu asteroidov sa vyskytujú impaktné krátery, ktorých rozmery sú často neprimerane veľké vzhľadom k rozmerom asteroidov. Podľa nasýtenosti povrchu krátermi sa odhaduje vek niektorých asteroidov na minimálne 4 miliardy rokov.

## 2. Rozloženie asteroidov v slnečnej sústave

Pomerne dlho boli asteroidy objavované len v oblasti medzi Marsom a Jupiterom. V súčasnosti ich nachádzame prakticky v celej slnečnej sústave, aj keď vzniká odôvodnený dojem, že do tejto kategórie zaraďujeme, okrem planét, ich mesiacov a komét, všetky, aj nedostatočne preskúmané telesá.

Pri postupe od okrajov slnečnej sústavy smerom k Slnku narazíme najskôr na transneptúnické objekty alebo objekty Edgeworthovho-Kuiperovho pásu. Objavených je 912 telies z odhadovaného počtu zhruba 70 000 s priemerom väčším ako 100 km. Delíme ich na objekty

- rozptýleného disku (vzdialenosť perihélia 30 AU až vzdialenosť afélie 1300 AU) — tvoria 1 % transneptúnických objektov,
- klasického pásu — približne kruhové dráhy — nazývame ich kjobewany — tvoria až dve tretiny všetkých objektov,
- vnútorného pásu — rezonančné dráhy s Neptúnom (2:3-plutina, 3:4, 3:5, 1:2) — 12 % objektov Edgeworthovho-Kuiperovho pásu.

Napriek tomu, že ich zaraďujeme k asteroidom, tieto ľadové objekty vonkajšej slnečnej sústavy sú skôr nejaké protokométy.

Na prechodových dráhach v oblasti medzi Jupiterom a Neptúnom sa pohybujú tzv. *Kentaury*. Známych je 153 z odhadovaných 2000 väčších ako 50 km (údaj k 21. 10. 2005 [2]).

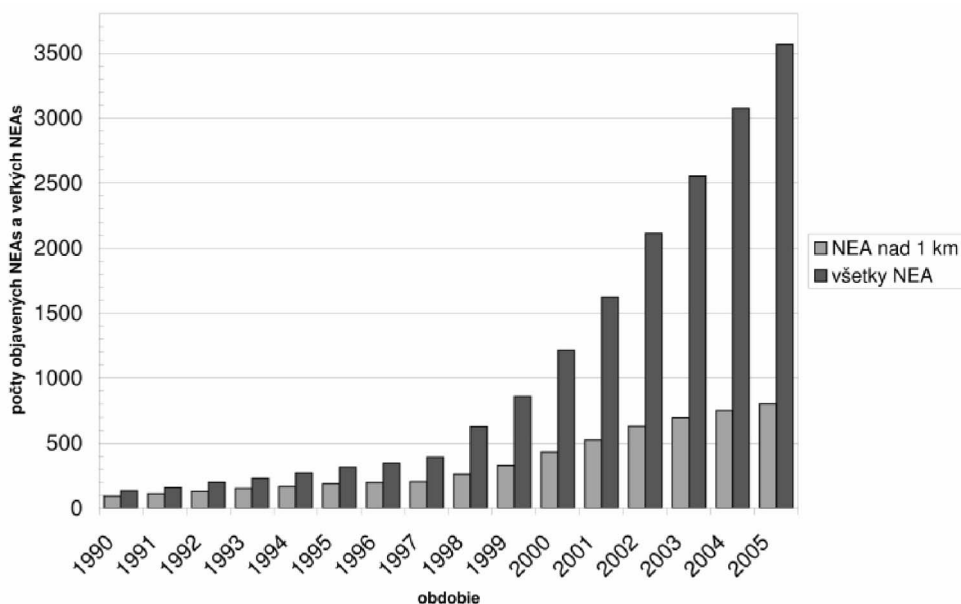
V libračných bodoch  $L_4$  a  $L_5$  sústavy Slnko-Jupiter sa pohybujú *Trójania*. V súčasnosti je známych 1831 objektov (údaj k 21. 10. 2005).

V oblasti hlavného pásu medzi dráhami Marsu a Jupitera sa pohybuje 97 % všetkých asteroidov. Pás dosahuje šírku 2 AU a je zložito štruktúrovaný vďaka rezonanciam stredného pohybu s Jupiterom.

Vo vnútri hlavného pásu sa nachádzajú **Near-Earth Asteroids (NEA)** — asteroidy, ktoré sa môžu mimoriadne priblížiť k Zemi.

### 3. NEA

Dnes pozorované blízkozemské asteroidy alebo NEA sú planétky, ktoré boli v minulosti gravitačnými silami planét posunuté na dráhy, ktoré im dovoľujú pohybovať sa v blízkosti zemskej dráhy, alebo ju dokonca pretínať. Aj v súčasnosti vďaka chaotickým rezonančným a zrážkovým procesom môže dochádzať k zmene dráh asteroidov hlavného pásu na dráhy križujúce obežnú dráhu Marsu prípadne aj ďalších terestrických planét.



Obr. 3. Nárast počtu objavov blízkozemských asteroidov (všetky NEA) a blízkozemských väčších než 1 kilometer (NEA nad 1 km) za posledných 16 rokov. Rok 2005 nie je úplný, údaje pre tento sú k 1. 10. 2005.

Podľa perihélievej vzdialenosti  $q$ , afélievej vzdialenosti  $Q$  a veľkej polosi  $a$  ich môžeme rozdeliť na tri skupiny — Apollo, Amor a Aten. Existuje ešte jedna špecifická skupina blízkozemských planétočiek, a to skupina potenciálne nebezpečných asteroidov (Potentially Hazardous Asteroids, PHA). Definované sú na základe miery potenciálneho ohrozenia blízkym preletom okolo Zeme, resp. kolízie s našou planétou. Inak povedané, všetky asteroidy preletujúce okolo Zeme vo vzdialenosti menšej než 0,05 AU (tzv. Minimum Orbit Intersection Distance, MOID) a s absolútnou jasnosťou  $H \leq 22,0$  (väčšie ako 150 m) sú považované za potenciálne nebezpečné. Monitorovaním a spresňovaním ich dráh je možné predpovedať pravdepodobnosť ohrozenia Zeme. V tabuľke 2 je prehľad jednotlivých skupín [3].

K 1. októbru 2005 bolo objavených 3567 objektov mimoriadne sa približujúcich k zemskej dráhe, z toho 290 planétočiek typu Aten, 1384 typu Amor a 1847 typu Apollo. Až 798 z nich má priemer väčší ako 1 km. Potenciálne nebezpečných je 724 (údaje podľa štatistiky Minor Planet Centra v Cambridge, MA, USA).

TABUĽKA 2. Popis jednotlivých skupín blízkozemských asteroidov na základe ich veľkej polosi  $a$ , perihélievej  $q$  a afélievej vzdialenosti  $Q$ , prípadne absolútnej jasnosti  $H$ .

Skupina	Popis	Definícia
NEA	blízkozemské planétky	$q < 1,3 \text{ AU}$
Aten	zemskú dráhu križujúce blízkozemské planétky s veľkou polosou menšou než je veľká polos dráhy Zeme	$a < 1,0 \text{ AU}; Q > 0,983 \text{ AU}$
Apollo	zemskú dráhu križujúce blízkozemské planétky s veľkou polosou väčšou než je veľká polos dráhy Zeme	$a > 1,0 \text{ AU}; q < 1,017 \text{ AU}$
Amor	k zemskej dráhe sa približujúce zvonka	$a > 1,0 \text{ AU}; 1,017 < q < 1,3 \text{ AU}$
PHA	potenciálne nebezpečné planétky	$MOID \leq 0,05 \text{ AU}; H \leq 22,0$

#### 4. Ohrozenie Zeme v minulosti, dnes a v budúcnosti

Postupne s vývojom našich vedomostí o jednotlivých populáciách medziplanetárnych telies sa čoraz nástojčivejšie začal objavovať nový aspekt. Cieľom už nebolo len dokonalejšie poznanie ich vlastností, aby sa rozšíril horizont ľudského poznania, ale tiež vytipovanie objektov, ktoré by mohli ohroziť našu civilizáciu.

Myšlienka, že Zem nie je celkom bezpečná pred zrážkami s menšími členmi slnečnej sústavy (planétkami a kométami) sa objavila v histórii niekoľkokrát. Serióznejšiu podobu dostala po uvedomení si skutočnosti, že kráterovitý vzhľad mesačných morí svedčí o podobnej minulosti aj našej planéty. Toto zistenie sa väčšinou odbavilo poznámkou o bombardovaní meteoritmi prevažne len v prvých fázach vývoja slnečnej sústavy. Až zdokonalenie pozorovacej techniky, umožňujúce pozorovať stále menšie a menšie planétky, prelietavajúce v tesnej blízkosti Zeme, prebralo astronómov z letargie.

TABUĽKA 3. Zoznam minulých a nasledujúcich tesných priblížení Toutatis (vzdialenosť Mesiaca  $\sim 0,4 \times 10^6 \text{ km}$ ).

Dátum	Vzdialenosť [km]
31. októbra 2000	$11,1 \times 10^6$
30. septembra 2004	$1,6 \times 10^6$
10. novembra 2008	$7,5 \times 10^6$
12. decembra 2012	$6,9 \times 10^6$
6. novembra 2069	$3,0 \times 10^6$

V januári roku 1989 bolo objavené rýchlo sa pohybujúce teleso 1989 AC (Toutatis). Jeho rýchly pohyb na hviezdnom pozadí s najväčšou pravdepodobnosťou nasvedčoval, že bolo len málo vzdialené od Zeme. Vzbudilo to mimoriadnu pozornosť, a bolo preto intenzívne sledované. V krátkom čase bola známa jeho presná dráha. Zistilo sa, že toto teleso obieha v rovine, ktorá má mimoriadne malý sklon k rovine ekliptiky, patrí do

skupiny Apollo, a taktiež, že sa jedná o stratený asteroid 1934 CT. Časové extrapolácie jeho dráhy vykazovali mimoriadne tesné priblíženie k Zemi v roku 2004, čo vyvolávalo, samozrejme, v médiách a vo verejnosti paniku, že koniec sveta je za dverami. Nebeská mechanika dala jednoznačnú odpoveď, že zrážka v roku 2004 nehrozí. Zistila aj to, že ak je teleso v rezonancii 1 : 3 s Jupiterom, čo je prípad Toutatisa, môže prejsť do dočasnej rezonancie 1 : 4 so Zemou, a to vedie k opakovaným tesným priblíženiam k Zemi každé 4 roky. Najtesnejšie priblíženie nastalo 30.9.2004 na vzdialenosť len 1 560 000 kilometrov (viď tabuľka 3). Na najbližších 300 rokov je zrážka vylúčená.

## 5. Pozorovacie a vyhľadávacie programy

Od prvého memoranda týkajúceho sa ohrozenia z kozmu uplynuli len dve desaťročia, postoje vedeckej komunity sa však značne zmenili. Memorandum zaslané do NASA začiatkom osemdesiatych rokov nabádalo k zavedeniu Spacewatch komory vybavenej CCD technikou pre sledovanie slabých planétok a komét [6]. Dôvody boli už vtedy vcelku jasné. Vychádzalo sa z Alvarezovej hypotézy vyhynutia 60 % živočíšnych druhov pred 65 miliónmi rokov vďaka zrážke s asteroidom. Na základe hrúbky nájdenej irídiovej vrstvy bola odvodená hmotnosť telesa rovná  $2 \cdot 10^{15}$  kg s priemerom približne 10 km. Opakovanie takéhoto stretnutia by malo opäť katastrofálne následky. Za pred-



Obr. 4. Impaktný kráter Wolfe Creek. Je relatívne dobre zachovaný. Priemer má 880 metrov. Jeho okraj vystupuje asi 25 metrov nad povrch a je hlboký 50 metrov od okraja. Situovaný je v oblasti severnej časti centrálnej Austrálie na rovných pláňach púšte. Je druhým najväčším zachovaným kráterom na Zemi.

pokladu, že by k zrážke došlo typickou rýchlosťou  $20 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ , kinetická energia by bola  $2,5 \cdot 10^{13}$  ton TNT, v porovnaní s  $2 \cdot 10^4$  ton TNT atómovej bomby v Hirošime. Počet asteroidov s klesajúcim priemerom rýchlo vzrastá. Ešte asteroid s priemerom 1 km by zničil veľké mesto, riziko je veľké i pri menších telesách. Známy kráter v Arizone s priemerom 1200 m a hĺbkou 174 m vytvoril meteorit s priemerom okolo 35 m. Globálnu katastrofu však môžu spôsobiť len telesá s priemerom aspoň 2 km.

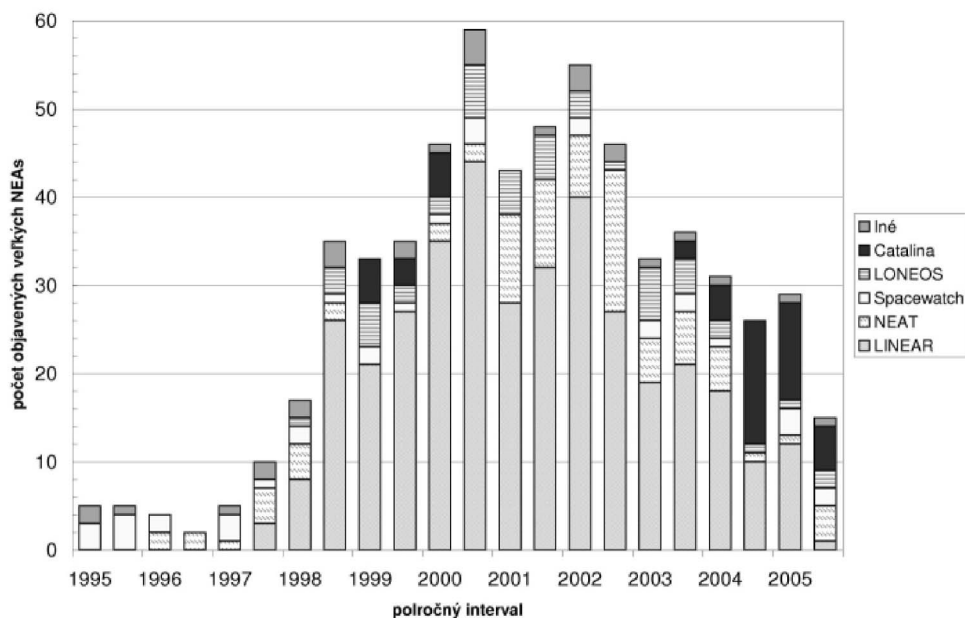
Zavedenie Spacewatch CCD kamery na 0,9-m reflektore observatória Kitt Peak Univerzity v Arizone v roku 1984 viedlo k dovtedy nevídanému rastu našich vedomostí o planétkach. Rozhýbali sa aj ďalšie vedecké tímy, čoho výsledkom je objav 3521 asteroidov približujúcich sa k zemskej dráhe. Niektoré objavy sú skutočne na hranici snov. Tak asteroid 1991 BA s priemerom 10 metrov preletel vo vzdialenosti menšej ako polovica vzdialenosti Mesiaca. Asteroid 1991 BR má priemer snáď len 5 metrov!

Ukázalo sa však, že ani Spacewatch už nestačí. Nemôže nám predsa ísť o zachytenie, aj keď veľkej časti NEO objektov, pričom jednotlivý kus, ktorý ujde našej pozornosti, spôsobí katastrofu. (Skratka NEO použitá v predchádzajúcej vete označuje všetky objekty mimoriadne sa približujúce k zemskej dráhe — okrem NEA sem patrí aj časť komét.) Aby astronómovia včas zbadali každého nebezpečného príselca a mohli uvažovať o jeho odklonení alebo rozbití, na to je potrebný dokonalejší systém. Tzv. Spaceguard systém, skladajúci sa zo špecializovaných prístrojov rozmiestnených na južnej i severnej pologuli, by mal zaznamenať objekty do 22. magnitúdy. V priebehu 25 rokov by sme mali prehľad o 91% asteroidov väčších ako 0,5 km, pričom by ich mal Spaceguard objaviť už vo vzdialenosti 20 miliónov km. V súčasnosti sa objavom NEA venuje množstvo vedeckých tímov. Najefektívnejšie sú:

- **LINEAR (Lincoln Near Earth Asteroid Research)** — Massachusetts Institute of Technology a NASA, prístroje Socorro, Nové Mexiko
  - 1-m ďalekohľad + CCD (od 1997)
  - 1-m ďalekohľad + CCD (od 1999)
  - 0,5-m ďalekohľad na dohľadávanie (od 2002)
- **NEAT (Near Earth Asteroid Tracking)** — Jet Propulsion Laboratory a NASA, prístroje Mt. Palomar a Mt. Haleakala na Havajských ostrovoch
  - dva rovnaké 1,2-m ďalekohľady
- **LONEOS (Lowell Observatory Near Earth Object Search)** — Flagstaff, Arizona
  - 0,6-m Schmidtova komora + CCD (od 1993)
- **Catalina Sky Surveys**
  - 0,7-m Schmidtova komora (Tucson, Arizona)
  - Siding Spring Survey (0,5-m Schmidtova komora, Siding Spring Observatory, Austrália)
  - Mt. Lemmon Survey (1,5-m Steward Observatory na Mt. Lemmon, Tucson)



Z českých a slovenských skupín, ktoré sa venujú vyhľadávaniu asteroidov je najúspešnejšia hvezdáreň na Kleti s viac ako 800 a na Slovensku observatórium Univerzity Komenského v Modre s takmer 100 objavenými očíslovanými asteroidmi. Výsledky na svetovej úrovni vo fotometrii blízkozemských asteroidov s objavom niekoľko desiatok binárnych objektov dosiahla skupina dr. Pravca z Astronomického ústavu AV ČR v Ondřejeve. Dynamike a teoretickému modelovaniu asteroidov sa venujú na Matematicko-fyzikálnej fakulte Univerzity Karlovej v Prahe a fotometrii a astrometrii asteroidov v observatóriu Astronomického ústavu SAV na Skalnatom plesu.



Obr. 5. Porovnanie počtu objavených veľkých blízkozemských asteroidov väčších než 1 kilometer pomocou viacerých vyhľadávacích programov. Druhá polovica roka 2005 nie je úplná, údaje sú k 1. 10. 2005.

Hlavným cieľom prehliadok je do roku 2008 objaviť 90 % asteroidov väčších ako 1 kilometer, ktoré križujú dráhu Zeme. Ich počet sa odhaduje na 1000 až 1200 telies. Z toho vychádza frekvencia zrážok asi raz za  $1,5 \cdot 10^5$  rokov. Do súčasnosti je objavených už takmer 73 % týchto asteroidov.

V roku 2002 si dala NASA vypracovať štúdiu o ďalšom výskume menších NEA [4]. Najmenšie NEA schopné preletieť atmosférou a spôsobiť škody pri explózii nad pevninou majú priemer približne 50 m. Podľa definície meteorickej astronómie sú to vlastne veľké meteoroidy (až do priemeru 100 m), z hľadiska účinku zrážky to však nie je podstatné. Odhaduje sa, že počet takýchto telies, ktoré križujú dráhu Zeme, je približne  $5 \cdot 10^5$ . Z toho vychádza frekvencia zrážok približne raz za tisíc rokov. Štúdia doporučila pokračovať v pátraní po 90 % objektov s priemerom 140 m až 1 km, pričom ako vedľajší produkt bude objavených zvyšných 10 % asteroidov s priemerom nad 1 km a bude nájdených aj 60 % telies s priemerom nad 50 m.

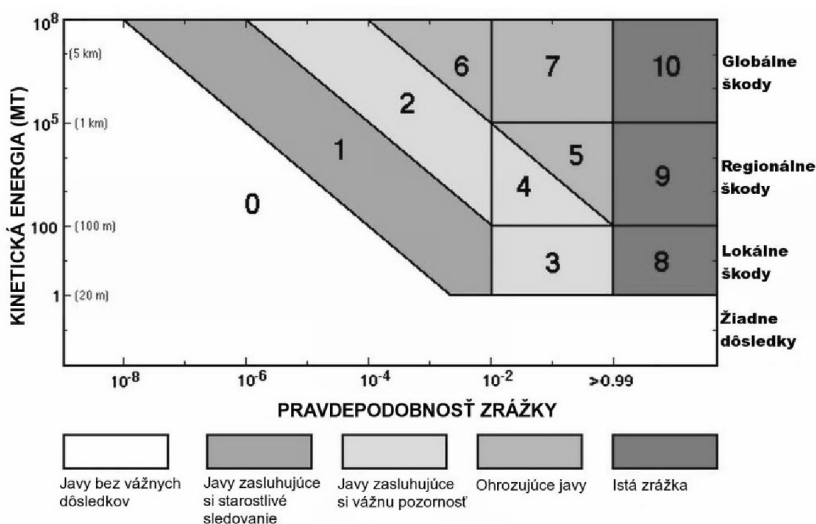
Riziko neočakávanej zrážky je možné znížiť až na 10 % buď

- prevádzkovaním dvoch 2-m ďalekohľadov na južnej a severnej pologuli po dobu 15 rokov za cenu 300 miliónov US \$ alebo
- prevádzkovaním 0,5-m ďalekohľadu pri Venuši a 4-m ďalekohľadu na Zemi počas 10 rokov za cenu 400 miliónov US \$.

## 6. Ocenenie rizika zrážky — Turínska škála

Existujú dve schémy pre klasifikáciu možných impaktov:

- jednoduchšia Turínska škála — v roku 1999 ju navrhla Medzinárodná astronomická únia (International Astronomical Union, IAU) na charakterizovanie miery nebezpečenstva zrážok s asteroidmi a kométami ako nástroj pre včasné a adekvátne varovanie kompetentných činiteľov a vysvetlenie situácie pre laikov (obrázok 6) [5],
- komplexnejšia Palermská škála [5].



Obr. 6. Turínska škála.

## 7. Palermská technická škála na ocenenie nebezpečenstva zrážky

Palermská škála umožňuje špecialistom na NEO, aby zoradili potenciálne riziká v širokom rozsahu dátumov zrážok, energií a pravdepodobností. Hodnoty Palermskej škály menšie ako  $-2$  popisujú javy, ktoré by nemali žiadne dôsledky, zatiaľ čo hodnoty medzi  $-2$  a  $0$  označujú situácie zasluhujúce si pozorné monitorovanie. Škála porovnáva pravdepodobnosť zistenej potenciálnej zrážky s priemerným rizikom vyplývajúcim zo

zrážok s objektami rovnakých rozmerov alebo väčšími počas celej doby až do času vypočítanej zrážky. Toto priemerné riziko z náhodných zrážok je známe ako požadové riziko. Škála je logaritmická, tak napr. hodnota +2 znamená, že pravdepodobnosť označenej zrážky je 100-násobne väčšia ako požadové riziko náhodnej zrážky.

Palerská škála sa líši od Turínskej v niekoľkých prístupoch. Turínska škála je určená predovšetkým na komunikáciu s verejnosťou. Nadobúda hodnoty od 0 do 10. Čím väčšie číslo, tým vyššia pravdepodobnosť ohrozenia Zeme. Berie do úvahy predpovedanú energiu zrážky práve tak ako pravdepodobnosť skutočnej udalosti. Palerskú škálu používajú špecialisti na NEO, aby určili kvantitatívne viac ako pomocou Turínskej škály. Užitočnosť palerskej škály spočíva v možnosti starostlivo zhodnotiť riziko ohodnoteného na Turínskej škále nulou, ktorá vlastne zahŕňa takmer všetky potenciálne nebezpečné objekty v súčasnosti. Objekty sú zoradené podľa hodnoty na palerskej škále v takom poradí, v akom si vyžadujú dodatočnú pozornosť (napr. pozorovania a analýzy). Táto škála je kontinuálna (povolené sú kladné aj záporné hodnoty) a zahŕňa čas medzi súčasným stavom a predpovedanou možnou zrážkou, a taktiež predpovedá energiu asteroidu pri dopade a pravdepodobnosť výskytu zrážky.

Odhadovaním tzv. stupňa požadového rizika zrážok so Zemou definujeme hodnotu ohrozenia z úplnej populácie asteroidov spriemerovanej na veľmi dlhom časovom intervale. Pretože existuje nepomerne viac malých asteroidov ako veľkých, stupeň požadového rizika závisí na veľkosti blízkozemského asteroidu. Požadový stupeň môže byť myslený ako bežná situácia, a tak keď dôjde k blízkemu priblíženiu veľkého blízkozemského asteroidu, hodnota na Palerskej škále vzrastie nad požadový stupeň (hodnota v Palerskej škále je potom väčšia ako nula), a teda vieme, že priblíženie je mimoriadne a treba mu venovať pozornosť.

Keďže Palerská škála je kontinuálna a závisí na čase (na počte rokov) do možného impaktu, neexistuje jednoznačná konverzia medzi oboma škálami. Vo všeobecnosti však, keď nejaký jav vystúpi nad požadovú hladinu, nadobudne na Palerskej, ale aj na Turínskej, škále hodnoty väčšie ako nula.

Hodnotu stupňa rizika v Palerskej škále je možné vypočítať pomerne presne. Palerská škála je definovaná ako dekadický logaritmus relatívneho ohrozenia:

$$PS = \log_{10} R.$$

Relatívne ohrozenie je dané ako pomer

$$R = P_I / (f_B \cdot DT),$$

kde  $P_I$  je pravdepodobnosť zrážky a  $DT$  je čas v rokoch ostávajúci do zrážky. Ročná požadová zrážková frekvencia

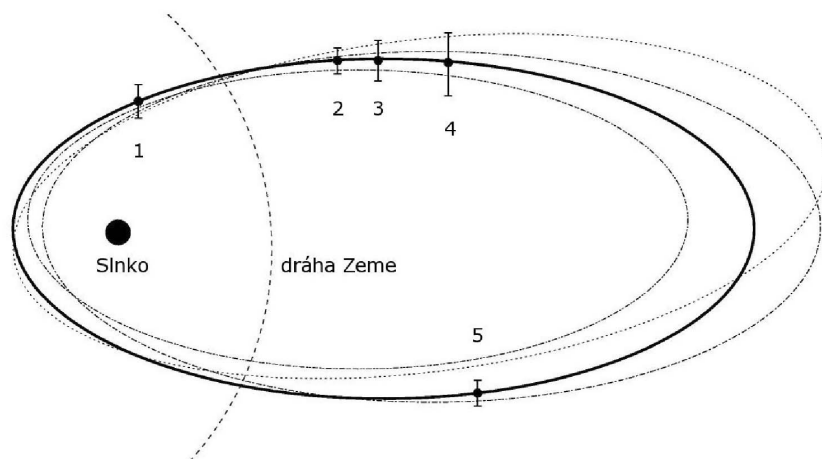
$$f_B = 0,03 \cdot E^{-0,8}$$

je ročná pravdepodobnosť zrážky s energiou  $E$  určenou v megatonách ( $1 \text{ MT} = 4,2 \times 10^{15} \text{ J}$ ). Kumulatívna hodnota Palerskej škály odráža vážnosť celkového odhaleného potenciálneho ohrozenia. Opäť je to dekadický logaritmus súčtu jednotlivých hodnôt relatívnych ohrození:

$$PS_{\text{cum}} = \log_{10}(10^{PS1} + 10^{PS2} + 10^{PS3} + \dots).$$

## 8. Minulé a budúce priblíženia

Scenár každého jednotlivého „poplachu“ bol doteraz (našťastie) rovnaký. Po objavení asteroidu na blízkozemskej dráhe bol vypočítaný čas v budúcnosti, v ktorom nebolo možné vylúčiť zrážku so Zemou. Žiaľ, pre väčšinu masovo-komunikačných prostriedkov to bol jasný pokyn na rozpútanie hystérie, že ku zrážke skutočne dôjde. Tento výpočet bol urobený na základe tzv. predbežnej dráhy založenej na malom počte pozorovaní, ktoré navyše pokrývali len zanedbateľne malý úsek dráhy telesa. Keďže meranie presných polôh asteroidov, tak ako každé iné fyzikálne meranie, je zaťažené určitou chybou, chybové úsečky umožnili preložiť celý vejár dráh, z ktorých nejaká časť mohla prechádzať Zemou. Postupne s pribúdajúcimi pozorovaniami, alebo priradením predobjavového pozorovania, sa neistota zmenšovala, až bolo možné vyhlásiť, že k zrážke určite nedôjde. Toto spresnenie však už väčšina novinárov s prehľadom ignorovala a tak mnohí ľudia stále trpia predstavou, že stretnutie Zeme s asteroidom je už v blízkej budúcnosti neodvratnou skutočnosťou.



Obr. 7. Obrázok ilustruje situáciu, keď nedostatok pozorovaní s rôznym stupňom presnosti vedie k určeniu viacerých dráh. Tie potom môžu viesť k viacerým určeniam časových okamihov, kedy Zem tieto dráhy pretne. Vďaka nepresným polohám planétky (body 1–4) je možné vypočítať mnoho dráh, pokiaľ je pozorovaní málo. Ale po zahrnutí ďalších polôh (bod 5) sa počet dráh zminimalizuje. Hrubá plná elipsa znázorňuje reálnu dráhu asteroidu, čiarkovano-bodkované vypočítané. Pre lepšiu názornosť majú uvažované dráhy približne nulový sklon.

### 2005 FN

18. marca 2005 o 22:43 SEČ, sa k Zemi priblížil asi 14 metrov veľký asteroid 2005 FN na vzdialenosť 150 tisíc kilometrov. Bol zaregistrovaný po prvýkrát vyhľadávacím projektom LINEAR 17. marca 2005 ako slabý objekt, ktorý však o jeden deň výrazne zjasnel. Umiestnenie na webovskej stránke NEO Confirmation Page pomohlo stanoviť presnejšie dráhu a jednoznačne vylúčiť kolíziu so Zemou.

## 2004 FH

Nový objav projektu LINEAR z 15. marca 2004 — blízkozemného asteroidu s tesným priblížením k Zemi bol oznámený v noci 17./18. marca 2004. Asteroid 2004 FH je typu Aten a k Zemi sa najviac priblížil 18. marca 2004 o 23:08 SEČ na vzdialenosť iba 43 000 kilometrov. Miesto najtesnejšieho priblíženia bolo nad južnou časťou Atlantického oceána. Jeho odhadovaná veľkosť bola približne 30 metrov. Planétka mala na oblohe pri najtesnejšom priblížení jasnosť 10 až 12 magnitúd.

## 2004 FU<sub>162</sub>

Planétka označená 2004 FU<sub>162</sub> preletela popri Zemi vo vzdialenosti iba 0,000086 AU (tj. 13 000 kilometrov) od stredu Zeme. Ak zoberieme do úvahy polomer Zeme 6378 km, tak k povrchu Zeme sa planétka priblížila približne na 6500 km! Najtesnejšie priblíženie nastalo 31. marca 2004 (presnejšie o 15:36 UT). Malý asteroid objavil vyhľadávací projekt LINEAR v Novom Mexiku len o niekoľko hodín skôr. Prv než boli spracované snímky, asteroid prešiel na dennú časť oblohy a tak jeho ďalšie sledovanie už bolo nemožné. Aj napriek malému napozorovanému oblúku len 44 minút, dráha je dosť presne určená. Napriek malej vzdialenosti, nemusíme mať z neho žiadne obavy. Išlo o malé teleso s odhadovaným rozmerom do 10 metrov.

## 2004 MN<sub>4</sub>

25. decembra 2004 planétka 2004 MN<sub>4</sub> bola zaradená na Turínskej škále na 4. priečku, čo bolo doposiaľ najviac. O polroka neskôr klesla pravdepodobnosť zrážky takmer na nulu.

Planétka 2004 MN<sub>4</sub> (dnes má označenie 99942 Apophis) objavená 19. júna 2004 R. Tuckerom, D. Tholenom a F. Bernardim v rámci projektu UHAS na observatóriu Kitt Peak v Arizone pomocou 2,3-m Bokovho ďalekohľadu, je teraz stredobodom záujmu astronómov. V júni 2004 bolo toto teleso sledované iba počas dvoch nocí, a teda jeho dráha nemohla byť presne určená. Znovuobjavené bolo 18. decembra 2004 G. Garradeom v rámci Siding Spring Survey. Spresnené výpočty ukazovali, že nie je vylúčená zrážka tohoto objektu so Zemou 13. apríla 2029! Navyše je to prvé teleso, ktorého pravdepodobnosť zrážky na Turínskej stupnici dosiahol stupeň 4 na desaťstupňovej škále. O tri dni neskôr existovala menšia než 3%-ná pravdepodobnosť zrážky so Zemou vyrátanou na 13. apríla 2029. Astronómovia z projektu Spacewatch našli predobjavové pozorovania asteroidu 2004 MN<sub>4</sub> z 15. marca 2004, ktoré natolko spresnili dráhu (pozorovací oblúk sa predĺžil zo 109 na 288 dní), že výpočty vylúčili zrážku v roku 2029. Aj keď je zrážka už vylúčená, preletí veľmi tesne okolo našej planéty, mnohokrát bližšie než je Mesiac (asi 60 000 km). Planétka 2004 MN<sub>4</sub> je typu Aten s veľkou polosou dráhy  $a = 0,92$  AU, excentricitou  $e = 0,19$  a sklonom dráhy k rovine ekliptiky  $3,33^\circ$ .

Na Vianoce roku 2004 Paul Chodas, Steve Chesley a Don Yeomans z Near Earth Object Program (NASA) vypočítali, že dôjde ku kolízii so Zemou s pravdepodobnosťou 1 : 60 práve v piatok 13. apríla 2029. „Planétka je veľká asi 320 metrov. Je dosť veľká na to, aby preletela atmosférou Zeme a zdevastovala územie veľké ako Texas, alebo spôsobila rozsiahle cunami,“ povedal Chodas. 13. apríla 2029 večer budeme môcť zažiť nevšedné divadlo — vidieť malú planétku na vlastné oči. Krátko pred 20:00 LSEČ planétka vyjde na východnom obzore v nevýraznom súhvezdí Havran. Už v tomto čase bude na hranici viditeľnosti voľným okom (4 magnitúdy). Na prvý pohľad jej rýchlosť bude nevýrazná, ale svedomitejším pozorovateľom jej pohyb určite neujde. Sekundovať na jej ceste oblohou bude na začiatku Mars, ktorý bude o niečo jasnejší ako planétka (−1 magnitúda) a bude sa nachádzať východne od nej. Okolo 22:30 LSEČ planétka dosiahne svoju maximálnu jasnosť 3 magnitúdy. Vtedy bude 40 stupňov nad obzorom v súhvezdí Sextant. Už výraznejším pohybom preletí okolo Regula v súhvezdí Leva do súhvezdia Raka, kde nakrátko — od 23:15 LSEČ — pobudne v prítomnosti otvorenej hviezdokopy Jasličky. Od tejto doby by každý mal zaostriť teleobjektívy fotoaparátov a kamier, pretože o 23:37 LSEČ dosiahne planétka svoju minimálnu vzdialenosť od Zeme. Od povrchu našej planéty ju bude deliť len 30 000 kilometrov! Iba na okraj, geostacionárne družice letia vo výške 36 000 kilometrov. Od tohoto okamihu sa bude planétka už len vzdalovať a jej jasnosť klesať postupne medzi hviezdami súhvezdí Blížencov, Povožníka, Perzea a Barana.

## 1950 DA

V súčasnosti existuje jediný objekt, ktorého hodnota v Palermskej škále je väčšia ako nula. Pre asteroid 1950 DA je predpovedaný buď veľmi blízky prechod popri Zemi alebo zrážka so Zemou ( $p \leq 0,003$ ) v roku 2880. Ak by došlo k zrážke, uvoľnená energia by zničila väčšinu života na planéte. Ľudstvo má však viac ako 800 rokov na zlepšenie odhadu dráhy asteroidu a jeho prípadné odklonenie, ak sa to ukáže ako potrebné.

**PodĎakovanie.** Táto práca bola podporená grantom č. 4012 Slovenskej grantovej agentúry VEGA.

## L i t e r a t ú r a

- [1] MCSWEEN, H. Y., JR.: *Meteorites and Their Parent Planets*. Cambridge University Press 1999.
- [2] IAU: Minor Planet Center. <http://cfa-www.harvard.edu/cfa/ps/mpc.html>
- [3] BOTTKE, W. F., JR., CELLINO, A., PAOLICCHI, P., BINZEL, R. P.: *Asteroids III*. The University of Arizona Press 2002.
- [4] Near-Earth Object Program. <http://neo.jpl.nasa.gov/>
- [5] CHESLEY, S. R., CHODAS, P. W., MILANI, A., VALSECCHI, G. B., YEOMANS, D. K.: *Quantifying the risk posed by potential Earth impacts*. *Icarus* 159 (2002), 423–432.
- [6] GEHRELS, T.: *Hazards due to comets and asteroids*. The University of Arizona Press 1994.