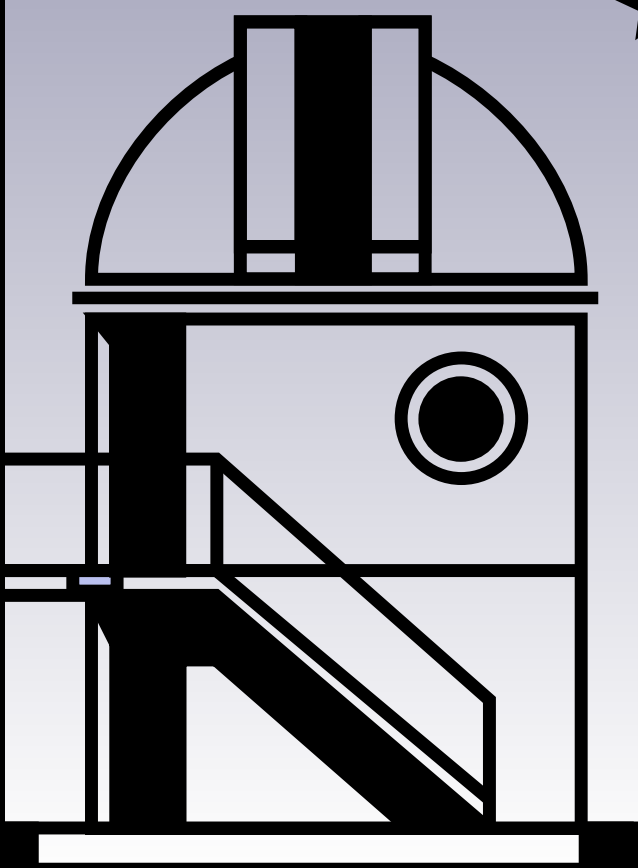


# DNY ASTRONOMIE 2008

## SYLABY



HVĚZDÁRNA  
VSETÍN

# *Dny Astronomie 2008*

SYLABY

Vydala *Hvězdárna Vsetín* v roce 2008

## Obsah:

<u>Tunguzská katastrofa – fakta</u> .....	4
<u>Jsou asteroidy opravdu nebezpečné?</u> .....	7
<u>Meteory aneb když padají hvězdy</u> .....	10
<u>Země jako kosmický terč</u> .....	14
<u>Jak se ubránit Deep Impactu</u> .....	17

# Tunguzská katastrofa – fakta

Emil BŘEZINA

*Je všeobecně známo, že ráno 30. června 1908 došlo v Rusku v oblasti střední Sibiře nedaleko osady Vanavara (povodí řeky Podkamenná Tunguzska) k mohutné explozi. Ta způsobila rozsáhlý lesní polom o ploše 1 500 – 2 000 km<sup>2</sup>, což odhadem představuje 70 až 80 milionů zničených stromů. V následujícím textu si stručně přiblížíme jak krajinný charakter místa katastrofy, tak i expedice, které se pokoušely rozřešit záhadu Tunguzské katastrofy.*

Místo, kde došlo k výše zmíněné explozi, se nachází přibližně na souřadnicích 60° 53' 09" s. š. a 101° 53' 40" v. d. [1]. Jde o oblast, která leží na hranicích výskytu permafrostu (tj. trvale zmrzlé půdy), který zde dosahuje mocnosti kolem 25 – 30 m. V létě rozmrzá pouze tenká svrchní vrstva země, což umožňuje růst a existenci vegetace. Samotná krajina je poměrně plochá, s četnými bažinami a rašeliništi, množstvím řek, říček a také jezer. Mnohá jezera a močály vznikly v důsledku tání permafrostu, jsou tedy výsledkem tzv. termokrasových jevů. Krajinu pokrývá převážně jehličnatý severský les – tajga.

Původními obyvateli jsou Evenkové, někdy též nazývaní Tunguzové. Živili se lovem a mimo to také chovem sobů. Jejich jazykem je evenkština (příbuzná mongolštině), kterou ale v současnosti hovoří spíše menšina Evenků. Uvádí se, že dnes celosvětově známé slovo „šaman“ bylo údajně převzato právě z evenkštiny.

Protože pochopitelně neexistuje žádný záznam průběhu Tunguzské katastrofy (dále jen T. k.), bylo nutno její průběh zrekonstruovat až později, ze svědeckých výpovědí. Pokud víme, odehrála se T. k. přibližně takto: časně ráno 30. června 1908 se na bezmračném nebi objevilo letící ohnivě těleso, které za sebou zanechávalo světlou kouřovou stopu. Let tělesa doprovázely silné zvukové projevy – dunění, rachot, rány atd., a posléze vše skončilo oslepujícím výbuchem. Při výbuchu vznikla tak silná rázová vlna, že ještě 600 km daleko od místa exploze strojvůdce zastavil vlak, protože měl obavy, že nápirem vzduchu vykolejí. Jak bylo později zjištěno, projevy této rázové vlny byly zachyceny i v Evropě a podle přístrojů dokonce dvakrát oběhla celou zeměkouli. V Irkutské observatoři, která se nachází asi 900 km jižně od místa T. k., zaznamenaly seismografy neobvyklé zemětřesení, které však bylo do souvislosti s popisovanou událostí dáno až později.

Přímým následkem exploze byl, již dříve zmíněný, vznik lesního polomu (a také požáru). Není známo, že by došlo k nějakým obětem na lidských životech.

Dalšími uváděnými následky jsou nebývale vysoký výskyt nočních svítících oblaků [2], které ovšem mají v červnu na severní polokouli běžně maximum výskytu, a také velmi světlé noci (na většině území Ruska a také v západní Evropě), kdy údajně bylo možné bez pomoci umělého osvětlení pohodlně číst noviny. Rovněž západy a východy Slunce se staly velkolepou podívanou.

Výše uvedené skutečnosti přivedly tehdejší odborníky na domněnku, že se Země setkala s oblakem kosmického prachu (o T. k. pochopitelně ještě dlouho prakticky nikdo nic nevěděl). Dánský vědec Thorwald Koool však již tehdy vyslovil dohad o výskytu velkého meteoritu, ať už v Dánsku nebo jinde.

Dlouho se o T. k. téměř nikdo nezajímal. Rusko počátkem 20. století prožívalo řadu krizí, válek, převratů atd., takže na výzkum T. k. nebylo ani pomyšlení. Až v letech 1921 – 1922 proběhla expedice, vedená mineralogem Leniodem A. Kulikem, zaměřená na sběr meteoritů. Nedlouho před odjezdem se Kulikovi dostal do rukou novinový výstřižek popisující T. k. Vzbudil v něm podezření, že by se mohlo jednat o pád velkého meteoritu. Během expedice provedl Kulik výsledky některých očítých svědků události a zjištěná fakta jej ještě více utvrdila v přesvědčení, že severně od osady

Vanavara dopadl do tajgy obrovský meteorit. Rád by se jej vydal hledat, ale finanční prostředky již byly vyčerpány, takže se namísto toho musel vrátit.

Po návratu se Kulik pokoušel zorganizovat novou expedici, která by se vydala za Tunguzským meteoritem. Jeho závěry o dopadu velkého meteoritu však byly přijímány se značnou nedůvěrou, takže vysněnou expedici se mu podařilo zrealizovat až v roce 1927.

První přímý průzkum oblasti předpokládaného pádu Tunguzského meteoritu se tedy uskutečnil teprve devatenáct let po události. Kulikovi se nakonec, přes všechny potíže – neprostupný terén, sníh a neochotu Evenků zavést členy expedice (byli mimochodem jen dva) na dané místo – podařilo proniknout až k hranicím lesního polomu. Rozsahem události, která se zde musela odehrát, byl ohromen. Posléze, po dalších potížích, pronikl i do nitra polomu. Tam následně našel močálovitou kotlinu, od které vyvrácené stromy paprskovitě směřovaly ven, což Kulik správně interpretoval jako centrum exploze. Zde také našel řadu kruhových kráterů, o kterých předpokládal, že byly vyhloubeny dopadem meteoritů. Pro nedostatek potravin však nemohl tyto krátery prozkoumat a musel expedici ukončit.

Když Kulik přednesl svůj názor, že meteority dopadly do oblasti kotliny a že se nacházejí v kráterech, které našel, byl vystaven silné kritice a musel těžce bojovat, aby dokázal potřebnost dalšího průzkumu. Pochybnosti o kráterech byly oprávněné – v oblasti Podkamenné Tunguzsky je takových útvarů mnoho – vznikají přirozenou cestou a řadí se mezi termokrasové jevy. Kulika to však nepřesvědčilo. Zastával názor, že Tunguzský meteorit byl železný a že jeho kusy bude možné z kráterů vyzvednout.

Během druhé a také dalších expedic tedy Kulik zkoumal povahu kráterů a byl nakonec nucen uznat, že se v nich žádné meteority nenacházejí. Jeho pátrání po Tunguzském meteoritu následně přerušila druhá světová válka, která byla Kulikovi osudná – padl do německého zajetí a v roce 1942 zemřel v koncentračním táboře na tyfus.

Ačkoliv Kulik nikdy žádný zbytek Tunguzského meteoritu nenalezl, přesto vykonal velmi cenný kus práce, počínaje zmapováním oblasti polomu (včetně leteckého průzkumu) a výslechy očitých svědků události konče.

Po druhé světové válce se na T. k. příliš nemyslelo. O oživení tohoto tématu se tentokrát, poněkud netradičně, postaral jistý A. P. Kazancev, který zveřejnil svoji povídku nazvanou Výbuch. Ve svém díle představil hypotézu, podle které byla T. k. způsobena havárií meziplanetární atomové lodi, jež měla být k Zemi vyslána civilizací z Marsu. Mezi širokou veřejností získala tato představa velký ohlas.

Pozornost odborné veřejnosti však brzy nato odlákal pád železného meteoritu Sichte-Aliň (shodou okolností rovněž dopadl na Sibiř do oblasti  $46^{\circ} 10'$  s. š. a  $134^{\circ} 39'$  v. d.) 12. února 1947, kdy podle odhadů spadlo na Zemi asi sto tun meteorického železa. Z tohoto množství se podařilo najít a odvézt přibližně několik desítek tun. Pád meteoritu byl pozorován mnoha svědky a jeho popis se značně podobá popisu letu Tunguzského bolidu, včetně zvukových efektů. Na rozdíl od Tunguzského meteoritu však v tomto případě nedošlo k explozi tělesa v závěrečné fázi letu.

První poválečná expedice se za záhadou T. k. vypravila až v roce 1958 (předběžná obhlídka terénu však byla provedena už v roce 1953). Málokdo v té době pochyboval, že byl Tunguzský meteorit železný a vybavení expedice tomu odpovídalo. Během ní se ale ukázalo, že nelze najít žádné kusy meteorického železa. Jen ve vzorcích půdy se podařilo nalézt množství nepatrných magnetitových a silikátových kuliček, které mohly mít spojitost s T. k. Dalším důležitým zjištěním bylo, že k explozi nedošlo na zemském povrchu, ale spíše několik kilometrů vysoko v atmosféře [3].

Výše uvedená zjištění potvrdily i další expedice vyslané na místo T. k. a jsou v hrubých rysech platná dodnes. Těleso, které tehdy proniklo do atmosféry, nevydrželo aerodynamické a tepelné namáhání, jemuž bylo během svého letu vystaveno, a došlo k jeho destrukci, která se

projevila zmíněným výbuchem. Obrovský lesní polom byl způsoben rázovou vlnou při její kolizi se zemským povrchem, což mělo za následek i vznik zemětřesených vln. Odhady energie, která se při explozi uvolnila, se pohybují ve velmi širokých mezích od „skromných“ třech až po padesát megatun TNT [1].

Skutečnost, že není možné najít žádné kusy kamenných nebo železných meteoritů, byla jedním ze spouštěcích mechanismů odpovědných za desítky teorií či hypotéz, které se snažily T. k. nejrůznějšími způsoby vysvětlit. V odborných kruzích je však v současné době diskuze zúžena prakticky již jen na dvě hlavní varianty: zda šlo o těleso kometárního nebo planetkového charakteru. Při vstupu do atmosféry mělo mít toto těleso podle odhadů rozměr mezi 30 až 100 m [4].

Zhruba v polovině roku 2007 se v médiích objevila informace, že byl nalezen kráter po dopadu Tunguzského meteoritu. Tímto kráterem má být jezero Čeko, jež se nachází nedaleko centra T. k. S tímto názorem přišli odborníci z univerzity v Bologni (Itálie). Ti během průzkumných prací na jezeře zjistili, že jeho charakter (např. profil dna) je na místní poměry značně neobvyklý a navrhli, že by mohlo být impaktního původu. Tito odborníci však pouze prohlašují, že zatím zjištěné charakteristiky jezera Čeko jsou s její hypotézou slučitelné [5], i když ani to dnes již není tak úplně jisté [6]. Důkaz, který by jednoznačně potvrdil, že je Čeko skutečně impaktního původu (a že jeho vznik souvisí s T. k.) v současné době neexistuje. Jak se věci opravdu mají může ukázat jen další průzkum jezera.

Nejpravděpodobnějším vysvětlením T. k. je, již výše uvedený, střet Země s malou kamennou planetkou nebo částí kometárního jádra. Tento scénář zároveň ilustruje potenciální nebezpečí hrozící od „malých“ těles sluneční soustavy.

#### Zdroje:

- [1] Longo G.: "The Tunguska event". Dostupné z: <http://www-th.bo.infn.it/tunguska/Asteroids-Chapter-18.pdf>.
- [2] Noční svítící oblaka. Dostupné z: <http://www.hvezdarna-vsetin.inext.cz/view.php?cisloclanku=2007070004>.
- [3] Vronskij, B.: Tajemství tunguzského meteoritu. Panorama, Praha 1982.
- [4] Sisyfos, skeptický slovník. Dostupné z: <http://www.sysifos.cz/index.php?id=slovník&act=zobrazit...>
- [5] A possible impact crater for the 1908 Tunguska Event. Dostupné z: <http://www.blackwell-synergy.com/doi/pdf/...>
- [6] Lake Cheko and the Tunguska Event: impact or non-impact? Dostupné z: <http://www.blackwell-synergy.com/doi/...>
- [7] Wikipedia, Image: Kulik.jpg. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Kulik.jpg>.
- [8] Wikipedia, Image: Tunguska event fallen trees.jpg. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Tunguska ...>

## *Jsou asteroidy opravdu nebezpečné?*

Jiří SRBA

Meziplanetární hmota představuje pro současnou vědu velice významnou součást materiálu sluneční soustavy, jedná se o hojně zastoupené objekty malých rozměrů, typicky 10 m až 100 km – planety a komety společně označovaná jako malá tělesa sluneční soustavy, a meziplanetární prach. Objekty tohoto typu najdeme ve sluneční soustavě v několika dobře definovaných rezervoárech – hlavním pásu asteroidů, Kuiperově pásu a Oorthově oblaku. Řada z těchto objektů se však pohybuje prakticky po libovolných drahách i ve vnitřní sluneční soustavě (v okolí terestrických planet), což z nich dělá nebezpečné objekty hrozící srážkou s některou z planet. Přestože první planeta (asteroid) byla objevena v roce 1801 [byl to Ceres dnes mající postavení trpasličí planety], rozvoj této oblasti započal výrazněji teprve s nástupem CCD techniky v polovině 80. let 20. století. Spolu s objevy nových těles a statistikou drah dnes čítající asi 400 000 objektů, se rozvíjí také naše znalosti o jejich fyzikálních vlastnostech, především složení a struktuře. Tyto informace jsou odvozovány na základě podobných spektrálních vlastností povrchů asteroidů a na zemi dopadlých meteoritů. Rozlišujeme planety železné, kamenné a složením podobné uhlíkatým chondritům, komety jsou pak více méně ledovo-prachová tělesa s různým poměrem uvedených složek a velikostí prachových zrn. Z dnešního pohledu je rozdíl mezi některými typy planetek a komet zanedbatelný. Obecně máme co do činění s objekty, které mohou mít střední hustotu v rozsahu  $1,1 - 7 \text{ g/cm}^3$  a navíc mohou být monolitickými kusy železa nebo volně vázanými slepenci různě velkých kamenů. Tento rozptyl možných vlastností představuje zásadní mezeru v našich znalostech o jednotlivých tělesech. Efekty způsobené při srážce planety s tělesem o nízké hustotě se ve srovnání se škodami způsobenými stejně velkým železným objektem, se mohou lišit řádově.

Země je obecně ohrožována několika typy objektů, které řadíme mezi NEO/NEA (blízkozemní objekty/asteroidy) a dělíme je do pěti skupin. Planety typu Apollo, Aten, Amor a prakticky neznámá skupina IEO (tělesa na drahách, na kterých jsou vždy blíže Slunci než Země). Poslední jsou pak NEC – blízkozemní komety. Ze zhruba 5 500 dnes známých NEA, je 950 řazeno do podskupiny PHA (potenciálně nebezpečných – přibližují se na méně než 20 násobek vzdálenosti Měsíce a jsou větší než asi 150 m). Tyto asteroidy jsou od roku 1998 vyhledávány systematicky, ovšem zdaleka ne s takovou podporou mezinárodních institucí, jak se dříve počítalo (zde bych si dovolil malou parafrázi: „Tady se pořád čeká – Lipany, Bílá Hora, Moravský pole, Tunguska, ...“). Těšit nás může fakt, že populace těles s velikostí kolem 1 km, která jsou opravdu nebezpečná z pohledu globální katastrofy, je dnes již známa asi z 95 %. O tělesech menších víme jen málo a na tomto místě je potřeba si uvědomit, že Arizonský kráter vyhloubil železný objekt o průměru kolem 60 m a Tunguzskou katastrofu má na svědomí asi 50 m „kamínek“. Předpokládá se však, že roku 2020 bychom měli mít slušnou statistiku těles o velikostech kolem 300 m.

S předpovědí přiblížení libovolného asteroidu je problém. Vědci z NASA/JPL, Kalifornského Technologického Institutu a Observatoře Arecibo zveřejnili v lednu 2008 výsledky radarových pozorování potenciálně nebezpečného asteroidu 99942 Apophis doplněné o detailní analýzu jeho pohybu ([http://neo.jpl.nasa.gov/apophis/Apophis\\_PUBLISHED\\_PAPER.pdf](http://neo.jpl.nasa.gov/apophis/Apophis_PUBLISHED_PAPER.pdf)).

Planetka Apophis byla poprvé pozorována 20. června roku 2004 (2004 MN4), po znovuobjevení koncem téhož roku, bylo odhadováno, že pravděpodobnost jejího střetu se Zemí v roce 2029 je asi 2.7%. Další optická měření polohy a nalezená předobjevová pozorování prokázala, že tento asteroid [typ Sq – podobný LL chondritům; absolutní magnituda  $19,7 \pm 0,4$ ; průměr  $270 \pm 60$  m; geometrické albedo  $0,33 \pm 0,08$ ; perioda rotace 30,4 h podle fotometrické křivky s amplitudou 0,9 mag] v roce 2029 nebezpečný nebude, ale nad našimi hlavami se odehraje úkaz,

ke kterému dochází cca jednou za 800 let. V pátek 13. dubna 2029 v 21:45 UT těleso prolétne ve vzdálenosti 5,62 – 6,30 RZ od středu Země, v době největšího přiblížení se bude nacházet mimo oběžné dráhy geostacionárních družic a průlet bude pozorovatelný nad Asií, Afrikou a Evropou. Těleso bude mít jasnost kolem 3 mag a průměr 1,3 – 2,4“, což znamená že velkými dalekohledy bude možné dosáhnout rozlišení povrchových útvarů až v řádu metrů. Maximální rychlost pohybu dosáhne 50“/s.

V letech 2005 a 2006 byla planetka sledována radioteleskopem v Arecibu na vzdálenost 27 – 40 Mkm (0,192 – 0,268 AU), přičemž byla získána vysoce přesná poziční měření. Po jejich zahrnutí do výpočtů dráhy tělesa se riziko srážky v roce 2029 ještě snížilo, nejistota v předpovědi pozice asteroidu se zmenšila o 98%. Významně však vzrostly nejistoty v předpovědi dalšího vývoje a objevila se malá pravděpodobnost (méně než 1:45 000 podle standardních dynamických modelů – SDM) srážky se Zemí 13. dubna 2036. Zpřesněná dráha průletu v roce 2029 totiž zavedla těleso mnohem hlouběji do gravitačního pole Země (o 45% blíže než udávala řešení založená na čistě optických datech), až na úroveň srovnatelnou s drahami geostacionárních družic, což velmi významně ovlivnilo rychlost vývoje chyby v předpovědi polohy asteroidu v následujících letech (narostla až o 800%). Největší nárůst nejistoty zaznamenala poloha asteroidu ve smyslu pohybu po dráze, přičemž centrum pravděpodobnosti se pro 13. dubna 2036 po prvních pozorováních radarem nacházelo ve dvojnásobné vzdálenosti Měsíce od Země (LD) a pravděpodobnost střetu byla kolem 1:10 000. Vzhledem k nevhodné geometrické pozici pro optická pozorování do roku 2011 a velké vzdálenosti pro radarová měření až do roku 2013 bylo nutné uvážit základní fyzikální aspekty pohybu asteroidu, abychom lépe porozuměli případnému nebezpečí.

Pro tyto účely bylo nutné použít zpřesněný SDM. Předpovědi vývoje drah asteroidů jsou obvykle založeny na SDM sluneční soustavy, který obsahuje Slunce, Měsíc, planety a tři největší asteroidy. V tomto případě je však třeba uvážit i další faktory, které mohou ovlivnit výsledný pohyb asteroidu (rotace tělesa, jeho hmotnost, množství odraženého a absorbovaného slunečního záření, vyzářování povrchu, přiblížení k dalším asteroidům, ...). Tyto detaily byly zkoumány společně s efekty způsobenými nehomogenním gravitačním polem Země a limity počítačů, které výpočty provádějí (byla využívána přesnost až 128 bitů oproti obvyklým 64). Za normálních okolností by výše jmenované faktory postupně měnily dráhu tělesa v průběhu stovek let a jejich vliv na odhad pozice tělesa by z krátkodobého hlediska byl zanedbatelný. V případě Apophise jsou způsobené změny malé až do roku 2029, kdy jsou však významně zesíleny v důsledku těsného průletu gravitačním polem Země.

Například bylo zjištěno, že energie ze Slunce může způsobit změnu pozice asteroidu v rozmezí 20 – 740 km v průběhu 22 let (do průletu v roce 2029). Během dalších 7 let (do roku 2036) je již vliv „markantnější“ – 0,52 až 30 Mkm tedy 0,0035-0,2 AU. Z tohoto pohledu je velmi těžké předpovědět, zda vůbec dojde v roce 2036 k přiblížení tělesa k Zemi, či nikoliv.

Dále bylo spočteno, že malé nejistoty v hmotnostech a pozicích planet či hmotnosti Slunce (v případě Země se například jedná o změnu  $1,36 \times 10^{-5}$  % v hmotnosti a ~1 km vzhledem k barycentru sluneční soustavy oproti SDM) mohou způsobit chybu předpovědi pozice asteroidu v roce 2036 až 23 poloměrů Země – RZ.

V SDM, uvažujícím Zemi jako hmotný bod, způsobí tato aproximace chybu pro rok 2036 až 2,9 RZ v porovnání s parametrizovaným polem naměřeným družicemi v posledních dekádách. Citlivost na změny gravitačního pole není příliš vysoká (projevuje se výrazněji jen v případě délkové variace potenciálu) a globální model je tedy potřeba uvažovat jen pro předpověď případného místa impaktu. Podobné závěry platí také pro Měsíc, kde v případě těsného přiblížení je opět potřeba uvážit nehomogenitu pole oproti bodové aproximaci. Z výše uvedeného plyne, že pro výpočet pravděpodobnosti impaktu je potřeba uvážit minimálně zploštění Země a použít zpřesněné hmotnosti a efemeridy planet.



Gravitace dalších blízkých asteroidů může způsobit chybu v předpovědi pozice Apophise v roce 2036 až 2,3 RZ. V modelech pro období 2004-2036 bylo uvažováno 373 000 známých asteroidů, přičemž největší vliv na poruchy v pohybu Apophise mají čtyři největší (68,3% celkové změny). Bylo odhaleno několik relativně blízkých setkání s doposud známými tělesy (na ~2 LD). V konečném výpočtu bylo uvaženo 128 asteroidů nejvíce ovlivňujících dráhu Apophise (93% celkové poruchy), přičemž dráha je nejcitlivější na prvních 32 těles. Velmi zajímavé přiblížení se odehraje 17. července 2034, kdy se Apophis setká na vzdálenost jen 6,71 LD s tělesem 2004 VD17 (asi si vzpomenete na PHA s pravděpodobností srážky se Zemí  $1,7 \times 10^{-8}$  v roce 2102 a druhý objekt v historii, který dostal „2“ na Turinské škále). V rámci nejistot vývoje drah obou těles podle SDM může dojít k přiblížení až na 1,63 LD. Vystává zde tedy otázka proveditelnosti takových změn drah jednoho nebo obou těles ve vhodném okamžiku, které by vedly ke vzájemné srážce a eliminaci obou nebezpečí najednou (viz dále). Bylo by však třeba mít dostatečnou kontrolu nad pohybem milionů tun materiálu a to tak, aby se tělesa dostala do stejné oblasti s průměrem kolem 100 m v předpovězený časový okamžik.

Tým dospěl k následujícímu závěru. Byly nalezeny variace v absorpčních a odrazných vlastnostech povrchu asteroidu, které dostačují k takové změně dráhy, aby způsobily rozdíly mezi impaktním a průletovým modelem pro rok 2036. Změna množství povrchem absorbované energie o 0,5% nejpozději do roku 2018 (například pokrytím plochy 40×40 m povrchu lehkým materiálem odrážejícím světlo – což by obnášelo asi 8 kg užitečného zatížení) může do roku 2036 způsobit změnu polohy tělesa o minimálně 1 RZ. Kvůli nejistotám předpovědi by bylo potřeba změnit dráhu asteroidu o něco více než o toto požadované minimum. V případě Apophise by pouhých 250 kg reflexní či absorpční látky (například síť uhlíkových vláken uvažovaná pro sluneční plachetnice) rozprostřené na povrchu mohlo být použito k takové změně dráhy, že by se „99,9999998 %“ statisticky možných drah ocitlo do 18 let daleko od Země.

Přestože se neočekává nutnost použití jakýchkoliv metod pro odklonění, je v práci demonstrováno, že metody odchýlení musí způsobit takovou změnu dráhy, o které je předem známo, že bude větší než všechny zdroje nejistot v rámci předpovědi včetně některých relativně velkých odchylek plynoucích ze SDM. Například, způsobí-li použitá metoda odchylku 10 RZ, ale nejistoty od všech parametrů jsou 20 RZ, dojde ke změně v rámci „šumu“, což může vést k nepředvídaným výsledkům nebo dokonce k vytvoření nového nebezpečí.

Doufejme, že použití kritérií prezentovaných v rámci této studie pro pozorování uskutečněná v letech 2011 nebo 2013 potvrdí, že Apophis o velikonoční neděli v roce 2036 v poklidu prolétne v bezpečné vzdálenosti plných 49 Mkm od Země.

# Meteory aneb když padají hvězdy

Martin LESKOVJAN

*Padá hvězda – rychle si něco přej! Taková slova můžeme slyšet, když oblohu rozzáří meteor. Co jsou a odkud se berou ona drobná tělíška ve sluneční soustavě, která nám připravují tato krásná představení? Jaký je vlastně rozdíl mezi meteoroidem, meteorem a meteoritem? A jak probíhalo poznávání těchto jevů od minulosti po současnost?*

Asi se to stalo každému z nás. Večer zvedneme oči k obloze na níž září stovky hvězd a tu spatříme, jak oblohu protne ohnivá stopa. Někdy jde jen o nepatrný okamžik a jev tak slabý, že si nejsme jisti, zda se to opravdu stalo nebo to byl jen prelud. Ale když máme štěstí, tak tato stopa může být jasnější než nejjasnější hvězdy na obloze a celý úkaz může trvat řádově několik sekund, ba i déle. O co vlastně jde? Dnes už všichni víme co se stalo – do atmosféry naší „matičky“ Země vstoupil návštěvník z vesmíru – meteor – a ukončil tu tak svou pouť. Ale nebylo tomu tak vždy. Lidé, jak si ukážeme vzápětí, dlouho přisuzovali těmto jevům nejrůznější, mnohdy až absurdní příčiny. Ale než se pustíme do exkurze staletími, slušelo by se udělat si pořádek v terminologii tohoto jevu.

## 1. CO JE CO...

Původ slova „meteor“ musíme hledat v řečtině. Vychází totiž z starořeckého výrazu meteōros, který znamená (ve volném překladu) „věc vznášející se v ovzduší“.

Původní definice jevu zněla:

„Meteor je tělíško tak drobné, že jej mezi planetami nepozorujeme a teprve při vniknutí do atmosféry se projeví jako meteor.“

Tato definice sice docela vystihuje podstatu děje, je však trochu zamotaná. Slovo „meteor“ se v této větě vyskytuje ve dvou (fyzikálních) významech, což není zrovna příjemné ani praktické. Proto bylo zavedeno následující pojmenování tohoto jevu a věcí s ním souvisejících:

- **meteoroid** – drobné kosmické tělíško putující sluneční soustavou
- **meteor** – světelný jev, který vzniká když meteoroid vstoupí do horních vrstev naší atmosféry
- **meteorit** – meteoroid, který proletěl všemi vrstvami naší atmosféry a dopadl na povrch Země

## 2. HISTORICKÉ OKÉNKO...

Nejstarší dochované zprávy týkající se meteorů pocházejí již z antiky. První kdo vyslovil myšlenku, že meteory jsou mimozemského původu, byl *Anaxagorás* (asi 500 až 428 př. n. l.), starořecký filozof tzv. íónské školy. Ani stará Čína nemohla tyto úkazy na obloze jen tak pominout, a tak se dochovaly záznamy z roku 687 př. n. l. o pozorování meteorického roje a z roku 644 př. n. l. o pádu meteoritu.

Bohužel středověk byl na jakékoliv rozumné záznamy o meteorech a meteoritech více než skoupý. Dobové záznamy jsou velmi zkreslené a nepřesné, svědecky doložené pády meteoritů jsou označovány za boží zázrak a zbytky nalezených meteoritů končily v kostelích a kláštrech.

Ani počátkem novověku se oficiální věda nechtěla smířit s tím, že kameny mohou padat

z nebes. Zásadní zlom v poznání přinesly práce *Chladniho*, *Brandese* a *Benzenberga*, *Olmsteda* a v neposlední řadě italského astronoma *Schiaparelliho*, který první publikoval myšlenky o shodě drah meteorů a známých komet.

I českou stopu můžeme najít v historii poznávání těchto jevů – první fotografii meteoru pořídil ředitel klementinské hvězdárny v Praze *Ladislaus Weinek* v roce 1885 [1].

Průběh zájmu o meteorickou astronomii (jak bylo toto odvětví vědy nazýváno) připomínal houpačku. Zatímco v první polovině 19. století se takřkajíc hrála na výsluní, přelom 19. a 20. století přinesl prudký pokles zájmu o meteory a věci s nimi spojené. Tento útlum trval v podstatě až do 50. let dvacátého století. Celé toto období přežila meteorická astronomie jen díky amatérským pozorovatelům.

### 3. METEORY A METEORICKÉ ROJE...

Na meteory můžeme nahlížet z různých hledisek. Můžeme je členit například dle jasnosti stopy, kterou po sobě v atmosféře zanechávají od teleskopických meteorů až po bolidy. Taky výskyt meteorů v atmosféře nám dává určitý klíč k dělení na *rojové* a *sporadické* meteory. Zajímavý je i původ mateřských těles, kdy můžeme rozlišit meteory jejichž původci pocházejí např. z kometárních jader nebo jde o zbytky materiálu po srážkách planetek, případně o materiál vyvržený z jiných objektů sluneční soustavy (především planet), který se do kosmického prostoru dostal při bombardování jejich povrchu většími tělesy.

Co se vlastně odehrává v atmosféře při vstupu mateřského tělesa (tedy meteoroidu) do jejích svrchních vrstev? Oblíbené tvrzení, že meteor v atmosféře shoří není přesné. Jedná se totiž o velmi složitý proces fyziky vysokých teplot. Musíme si uvědomit, že se tyto jevy odehrávají velmi vysoko v atmosféře naší planety. Ta sahá tisíce kilometrů daleko do vesmíru. A už tady dochází k prvním kontaktům mateřského tělesa s atomy a molekulami atmosféry. Tyto nárazy rozrušují povrch tělíška, dochází k excitaci atomů jak mateřského tělesa, tak i okolní atmosféry. Energie uvolněná při návratu atomů do původního stavu je pak vyzářena ve formě světelného záření. Při dostatečném počtu těchto jevů začne být světlo viditelné – meteor se rozzáří. Nezáří tedy samotné těleso, ale atmosféra kolem něj – pozorovaný jev je vždy mnohokrát větší než vlastní těleso. Toto se obvykle děje ve výškách 120 až 80 km nad zemským povrchem. Mimo to se povrch meteoru zahřívá a kapalní. Drobné kapičky jsou strhávány atmosférou a rychle chladnou. Meteor rychle ztrácí hmotu a doslova se v atmosféře rozpráší.

Složitější situace nastává, když do atmosféry vstoupí dostatečně rozměrné, hmotné a relativně pomalé těleso, které pak září jako bolid. Takovéto těleso pak vstupuje hlouběji do naší atmosféry, i méně než 70 km. Zde k předchozím jevům přistupuje i samotné brzdění tělesa vzduchovým polštářem, který toto těleso stlačuje před sebou. Nastává adiabatická komprese a prudký ohřev (teplota vzduchu dosahuje 2 000 až 3 000 °C). Vzduch i meteor začnou silně zářit, meteor se silně odpařuje. Většinou se odpaří úplně až pohasne. Pokud ale má mateřské těleso dostatek hmoty, aby vydrželo její odpařování do doby, než jeho rychlost poklesne pod úroveň rychlosti zvuku v okolní atmosféře, dojde k oddělení vzduchového polštáře. Tím zmizí příčina zahřívání, meteor se prudce ochlazuje a přestává zářit – zmizí pozorovateli z očí. Vlastní zbytky mateřského tělesa pak pokračují již v podstatě volným pádem k povrchu Země – mluvíme o meteoritu.

Původ většiny rojových meteorů můžeme hledat v kometárních jádrech. Teorií jejich vzniku je více. Od nahodilého úniku částic z jádra, přes srážky s jiným tělesem až k rozpadu jader díky působení slapových jevů. Se zajímavou teorií vzniku rojů přišel Miroslav Plavec. Jedná se o eekci způsobenou vnitřními silami v kometárním jádru.

Meteorický roj prochází během své existence několika stádii. Nejprve se jedná o *meteorický*

*oblak*, velmi úzký a ostře ohraničený útvar, který se na Zemi projeví jen když dráha mateřské komety protíná dráhu naší planety a navíc se jak Země, tak i kometa nacházejí poblíž tohoto průsečíku. Takovýto „mladý“ roj se vyznačuje velmi ostrým maximem své činnosti s vysokým hodinovým počtem pozorovaných meteorů.

Díky rozdílným hmotnostem vyvržených částic (a v důsledku toho jejich různým oběžným dobám) se původní oblak rychle roztáhne po celé dráze mateřské komety a vzniká *meteorické vlákno*. Takovýto roj má pak již každoroční návraty a může mít velké výkyvy v hodinových frekvencích.

Působením gravitační síly (a dalších vnějších sil) se dráhy částic roje stále více rozptylují a tím roste šíře roje. Začínáme mluvit o *meteorickém proudu*. Takovýto roj se pak vyznačuje velmi dlouhou aktivitou s nevýrazným maximem. Hodinové frekvence roje jsou poměrně nízké, ale stabilní. Země se na své dráze může potkat i s proudy jejichž mateřské těleso ji mívá ve velké vzdálenosti.

Posledním stádiem meteorického roje je široký meteorický proud. Zde je již hustota částic roje velmi nízká. Postupně se zvětšující dráhové rozdíly mezi jednotlivými částicemi roje vedou k tomu, že roj přestává být spolehlivě rozeznatelný a zaniká ve sporadickém pozadí.

Naše planeta se během roku potká s řadou rojů. Z těch významných stojí za připomenutí například lednové *Quadrantidy*, které patří mezi tři nejaktivnější roje. Mateřským tělesem je planetka 2003 EH1 a roj má ostré maximum kolem 3. a 4. ledna. V dubnu navštěvují naši oblohu *Lyridy* s velmi jasnými meteory. Mateřské těleso roje je kometa C/1861 G1 Thatcher a maximum činnosti roje je 22. dubna. Roj v minulosti několikrát překvapil velmi výrazným zvýšením své hodinové frekvence. Velmi populárním rojem i mezi laickou veřejností jsou prázdninové *Perseidy*, jejichž maximum můžeme pozorovat mezi 12. a 13. srpnem. Za původce roje označil astronom Schiaparelli kometu 109P/Swift-Tuttle. Za pozornost určitě stojí také roj *Leonid* navštěvující naši oblohu v listopadu. Tento roj má velmi rychlé meteory které pocházejí z komety 55P/Tempel-Tuttle. Jedná se o roj s maximem činnosti 18. listopadu. Právě tento roj svými návraty v první polovině 19. století přispěl k zvýšení zájmu o meteory. Závěr roku pak patří *Geminidám*, roji s relativně pomalými meteory typicky nažloutlé barvy. Jejich zdrojem je planetka (3200) Phaeton a maximum roje připadá na 14. prosince.

#### 4. METEORITY...

Pokud původní těleso, které zazáří na obloze jako meteor, je dostatečně velké, hmotné a pomalé, můžou jeho zbytky dopadnout na povrch Země jako meteorit. Rozlišujeme dva základní typy meteoritů – kamenné a železné. Můžeme najít i meteority smíšené – železokamenné, ale jen velmi vzácně. Mezi kamennými meteority jsou nejběžněji zastoupeny *chondrity*. Ty získaly své jméno podle kulovitých shluků (chonder či chondrulí) olivínu nebo pyroxenu v jejich struktuře. Můžeme se domnívat, že materiál těchto meteoritů je vlastně původní stavební materiál naší sluneční soustavy. Tyto meteority můžeme nalézt krátce po jejich pádu, případně pokud je jejich pád dobře zdokumentován. Nejvzácnější mezi nálezy kamenných meteoritů jsou *uhlíkaté chondrity*, které se podobají strukturou klasickým chondritům, ale obsahují příměsi těkavých látek (vody, amorfního uhlíku a jeho sloučenin). Třetí skupinu kamenných meteoritů tvoří tzv. *achondrity*, které se podobají pozemským horninám a podle všeho pochází z povrchu nějakého diferencovaného (těleso s těžkým a pevným jádrem obklopeným lehčím pláštěm, případně i kůrou) kosmického tělesa, nejpravděpodobněji z hlavního pásu asteroidů. Achondrity lze najít jen bezprostředně po jejich pádu, později se již velmi obtížně rozlišují od ostatních pozemských hornin.

Železné meteority – *syderity* jsou tvořeny slitinou železa s relativně velkým podílem niklu. Podle všeho pocházejí z jader diferencovaných těles. I když mají ze všech typů meteoritů největší

šanci na úspěšný průlet atmosférou naší planety, jsou jejich pády poměrně vzácné. Díky tomu, že se volně v přírodě téměř nevyskytuje čisté krystalické železo, jsou velmi nápadné a dají se najít i mnoho let po jejich dopadu.

V roce 2008 si mimo jiné připomínáme i 200 let od pádu tzv. *stonařovských meteoritů*, kdy 22. května 1808 dopadlo do blízkého okolí obce Stonařov na Jihlavsku přibližně 200 až 300 kusů kamenných meteoritů – HED achodritů, pocházejících pravděpodobně z povrchu planety Vesta. Celou událost krátce po pádu důkladně zdokumentoval ředitel c. k. přírodovědných sbírek ve Vídni Dr. Karel Schreibers [2].

Velkým úspěchem české, tedy přesněji československé vědy je případ *meteoritu Příbram*. Poprvé v historii astronomové na základě fotograficky zdokumentovaného průletu meteoru určili místo dopadu zbytku původního tělesa. Nedaleko Příbrami byly na základě výpočtů nalezeny čtyři meteority o celkové hmotnosti kolem 5 kilogramů. Tyto případy jsou ve světě vzácné. O to cennější je pak skutečnost, že se našim vědcům podařilo tento husarský kousek zopakovat 6. 5. 2000 s *meteoritem Morávka*. Na základě svědectví lidí a několika amatérských videozáběrů bylo nalezeno několik úlomků původního tělesa.

#### Použitá literatura:

PLAVEC Miroslav: Meteorické roje, Nakladatelství ČSAV, Praha 1957

ZNOJIL Vladimír: Návod na pozorování meteorů, Sekce meziplanetární hmoty, Brno 1993

JAKEŠ Petr: Létavice a lunatici, MF – edice Kolumbus, Praha 1978

#### Další zdroje:

[1] ŠOLC Martin: Lunární kráter Weinek – historická pocta klementinskému astronomovi, Bulletin plus 4/2003, Národní knihovna České republiky. Dostupné z: [http://www.nkp.cz/bp/bp2003\\_4/19.htm](http://www.nkp.cz/bp/bp2003_4/19.htm).

[2] 200 let od pádu meteoritů v okolí Stonařova, tiskové prohlášení ČAS č. 115, dostupné z: <http://www.astro.cz/clanek/3190>.

# *Země jako kosmický terč*

Pavel SVOZIL

## 1. ÚVOD

I když je planeta Země chráněna atmosférou, její povrch byl v minulosti mnohokrát zjizven dopady planetek či kometárních jader. Většina impaktních kráterů byla přírodou zahlazena, některé jsou však na tváři Země stále viditelné. Dalšími důkazy o bombardování naší planety kosmickými projektily jsou nálezy meteoritů resp. přímé pozorování pádů těchto „nebeských kamenů“ na zemský povrch.

## 2. SLUNEČNÍ SOUSTAVA

Všechna tělesa sluneční soustavy se v minulosti srazila s nějakým jiným tělesem, větší tělesa (např. planety) se stala terčem pro impakty menších těles (planetek, kometárních jader, meteoroidů). Povrchy většiny známých objektů ve sluneční soustavě – Měsíce, Merkuru, Venuše, Marsu, planetek aj. – jsou i nyní pokryty impaktními krátery.

K dalším srážkám a dopadům (s následným vznikem impaktních kráterů) bude samozřejmě v celém solárním systému docházet i v budoucnu, i když v menší míře, než tomu bylo v minulosti. Rovněž Země bude i nadále „kosmickým terčem“ zejména pro velmi malé objekty z vesmíru. Odhaduje se, že za jeden rok dopadne na Zemi až milion tun drobných kosmických tělísek.

## 3. VZNIK ZEMĚ A MĚSÍCE

Planeta Země vznikla před asi 4,57 miliardy let. Poté následovalo období velmi častých srážek formující se (a ještě horké) planety s planetesimálami, které se podobně jako Země zformovaly ze zárodečné mlhoviny. Toto období trvalo několik stovek milionů let, než se okolí planety, ale i ostatních větších těles ve sluneční soustavě, částečně „pročistilo“. Mezitím se asi před 4,53 miliardy let vytvořil Měsíc.

V současnosti je přijímána teorie velkého impaktu, podle které Měsíc pochází z vyvrženého materiálu po srážce Země (staré v té době 30 až 50 milionů let) s planetesimálou o velikosti Marsu.

Období největšího kosmického bombardování resp. kráterování má Země již tedy dávno za sebou. Ale i nyní se ještě může srazit s nějakou prozatím neznámou a poměrně velkou planetkou, která zkříží její dráhu okolo Slunce. A pokud by měl tento objekt velikost větší jak 0,5 kilometru, mohla by mít taková srážka pro některé formy života na naší planetě katastrofální následky.

## 4. IMPAKTNÍ STRUKTURY NA POVRCHU ZEMĚ

Většina impaktních kráterů na povrchu Země již byla zahlazena

- vodní či větrnou erozí, geologickou aktivitou planety (sopečnou aktivitou, zemětřeseními a pohyby zemských desek) a také činností samotných lidí.

V současnosti je na Zemi známo celkem 174 impaktních struktur [1].

V České republice se však nenachází žádný známý impaktní kráter.

Zajímavé impaktní struktury na Zemi:

- Suavjärvi** – místo: Karelia, Rusko velikost = 16 km stáří = asi 2,4 miliardy let  
– Nejstarší známá impaktní struktura na Zemi.
- Vredefort** – místo: Jižní Afrika velikost = asi 300 km stáří = 2,02 miliardy let  
– Největší známá impaktní struktura na Zemi.
- Manicouagan** – místo: Quebec, Kanada velikost = 100 (nyní 72) km stáří = 214 milionů let  
– Největší zachovaný impaktní kráter a celkově 5. největší impaktní kráter na Zemi.
- Chicxulub** – místo: Yucatan, Mexiko velikost = asi 180 km stáří = 65 milionů let  
– V současnosti se nachází z větší části v moři.  
– Dopad tělesa o velikosti asi 10 km způsobil celosvětovou katastrofu.  
– Poslední známé masové vymírání (např. dinosauři) na přelomu druhohor a třetihor.
- Ries** – místo: Bavorsko, Německo velikost = 24 km stáří = 15 milionů let  
– Přeměněná hornina po dopadu se stala na jihu Čech a JZ Moravy zdrojem vltavínů.
- Barringer** – místo: Arizona, USA velikost = 1200 m stáří = 50 000 let  
– Nejznámější pozemský impaktní kráter.  
– Vznik dopadem tělesa o velikosti 50 metrů a hmotnosti asi 300 000 tun.

## 5. METEORITY – PÁDY A NÁLEZY NA ZEMI

Celosvětová databáze The Meteoritical Society [2] obsahuje celkem 34 550 oficiálních jmen a 11 895 provizorních jmen meteoritů. Na území České republiky bylo zaznamenáno prozatím 23 pádů a nálezů meteoritů.

### Vybrané pády a nálezy meteoritů v Česku:

- Loket (Elbogen)** – nález: počátkem 15. století  
– Nejstarší známý český meteorit.  
– Železný meteorit o původní velikosti 50 cm a hmotnosti 107 kg.
- Stonařov (Stannern)** – hromadný pád: 22. května 1808 (200. výročí) [3]  
– Pád asi 200 až 300 meteoritů na Jihlavsku.  
– Hmotnost všech nalezených kusů = 52 kg.  
– Meteority patří mezi tzv. HED achondrity – eukrity.  
– Pravděpodobně pocházejí z planety (4) Vesta.
- Příbram** – hromadný pád: 7. dubna 1959 – prozatím nalezeny 4 kusy  
– Fotografování letu tělesa ze dvou stanic (Ondřejov a Prčice).  
– Poprvé spočtena dráha meteoroidu v atmosféře Země i ve sluneční soustavě.
- Morávka** – hromadný pád: 6. května 2000 – prozatím nalezeno 7 kusů  
– Poslední v České republice zaznamenaný pád meteoritů.

– Průlet tělesa atmosférou zachycen 3 videokamerami i špionážním satelitem.

### Nejzajímavější meteority ve světě:

- Hoba** – nález: počátkem 20. století místo: Hoba West, Namíbie  
 – Největší známý meteorit nacházející se na povrchu Země.  
 – Železný meteorit o přibližné velikosti  $3 \times 3 \times 1$  m a hmotnosti 60 tun.
- Tunguzka** – pád: 30. června 1908 (100. výročí) místo: Sibiř, Rusko  
 – Mohutná exploze ve výšce asi 5 až 10 km nad povrchem Země.  
 – Asi způsobena pádem velkého kamenného meteoritu nebo malé komety.  
 – Odhadovaná velikost planetky resp. jádra komety před výbuchem = 60 m.  
 – Explozí zničena oblast o rozloze 2000 km<sup>2</sup> (větší než rozloha Londýna).  
 – V dané oblasti zatím nebyly nalezeny žádné meteority ani impaktní krátery.  
 – Tzv. Tunguzská katastrofa není dodnes přesně vysvětlena.
- ALH 84001** – nález: 1984 místo: Allan Hills, Antarktida  
 – Meteorit patří mezi tzv. SNC achondrity – shergottity.  
 – Původ meteoritu pravděpodobně z Marsu.  
 – Diskuse o objevu možných fosilních zbytků jednobuněčných organismů.
- Carancas** – pád: 15. září 2007 místo: Peru (jižně od jezera Titicaca)  
 – Jeden z nejlépe zdokumentovaných pádů meteoritů.  
 – Hromadný pád meteoritů – celkem bylo nalezeno 20 až 30 kg úlomků.  
 – Meteority patří mezi chondrity.  
 – Po dopadu vznikl kráter o průměru 14 metrů a hloubce 3 metry.

## 6. ČETNOST DOPADŮ PLANETEK NA POVRCH ZEMĚ

Z následující tabulky lze vyčíst četnost dopadů planetek o různých velikostech na zemský povrch a možné následky, které tato tělesa mohou na Zemi způsobit.

Velikost planetky	Průměrná četnost dopadů	Následky na povrchu Země
50 m	1× za 200 až 300 let	zničení většího města
75 m	1× za 1000 let	zničení velkoměsta
100 m	1× za 2000 let	zničení regionu
350 m	1× za 15 000 let	zničení jednoho státu
500 m	1× za 50 000 let	zničení kontinentu
1 km	1× za 200 000 let	celosvětové následky
> 2 km	1× za miliony let	globální katastrofa

### Zdroje informací:

[1] Earth Impact Database. Dostupné z: <http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/index.html>.

[2] The Meteoritical Society. Dostupné z: <http://www.meteoriticalsociety.org>.

[3] 200 let od pádu meteoritů v okolí Stonařova. Dostupné z: <http://www.astro.cz/clanek/3190>.



# *Jak se ubránit Deep Impactu*

Martin ZAPLETAL

Na velkém množství těles sluneční soustavy jsou patrné následky dopadů jiných objektů tzv. impaktní krátery. Všichni je zajisté znají z Měsíce, ale jsou k nalezení i na planetách zemského typu a měsících velkých planet. Exemplárními příklady jsou dobře známý kráter Copernicus na Měsíci, pánev Caloris na Merkuru, z měsíců je to například Saturnův Mimas s kráterem Herschel.

Impaktních kráterů však není prosta ani Země, ačkoliv zde nejsou tak výrazné díky erozi a vulkanické aktivitě, které je pomalu zahlazují. Jedním z nejznámějších je bezesporu kráter Berringer nacházející se v Arizoně, který svým vzhledem připomíná „opravdový“ kráter. Z dalších (mnohdy větších avšak méně nápadných) jmenujme Chicxulub v Mexiku a Manicouagan v Kanadě.

Všechny tyto impaktní struktury svědčí o tom, že planety a jejich měsíce byly v minulosti silně bombardovány kosmickými projektily. O tom, že to však není pouhá minulost, ale i žhavá současnost svědčí např. dopad fragmentů komety *D/1993 F2 (Shoemaker-Levy 9)* na planetu Jupiter v roce 1994. Energie uvolněná při dopadu toho největšího je odhadována na 6 Tt TNT [1], tedy řádově více, než kolik v současnosti představuje jaderný arzenál všech mocností světa.

Dalším incidentem, který nás upozorňuje na potenciální nebezpečí plynoucí ze srážky Země s kosmickým projektilem je Tunguzská katastrofa, která se odehrála před 100 lety na Sibiři. Došlo ke srážce Země pravděpodobně s asteroidem, přičemž energie následné exploze se odhaduje na 10 – 25 Mt TNT [2]. Jak je vidět, reálné nebezpečí srážky existuje, a proto je třeba se ptát zda-li je možno jí nějak předejít a jak moc nám taková srážka jako lidstvu, ale i celému ekosystému planety, může uškodit. Jak dále uvidíme, jisté možnosti obrany existují a případné následky dopadu jsou nezanedbatelné, popřípadě rovnou katastrofální. Podívejme se tedy, jaká nebeská tělesa nás mohou ohrožovat, jak se dají najít a nakonec, co se dá dělat v případě, že takové těleso bude nalezeno.

Pro naše potřeby si zjednodušeně rozdělíme tělesa sluneční soustavy do těchto skupin: planety, trpasličí planety, asteroidy, komety a další drobná meziplanetární hmota. V dalším povídání nás budou zajímat především dvě skupiny – asteroidy a komety, přičemž hlavní důraz bude kladen na první skupinu s tím, že s jemnými výhradami lze závěry v poslední části vztahovat i na komety.

Asteroidy lze rozdělit do několika podskupin:

- asteroidy hlavního pásu (obíhají mezi drahami Marsu a Jupitera)
  - *TNO (trans-Neptunian objects)* obíhají za drahou Neptuna
  - *KBO (Kuiper belt objects)* jsou součástí Kuiper-Edgeworthova pásu za drahou Pluta
  - *Trojané* obíhají na stejné dráze jako Jupiter v jeho libračních bodech
  - *IEO (inter Earth objects)* obíhají uvnitř oběžné dráhy Země
  - *NEO (near Earth objects)* jejichž dráhy se přibližují k dráze Země nebo ji kříží
- A právě tato poslední skupina nás bude zajímat. I tato skupina se dále dělí:
- *NECs (near Earth comets)* jsou blízkozemní komety,  $Q < 1,3$  AU,  $P < 200$  let
  - *NEAs (near Earth asteroids)* jsou blízkozemní asteroidy,  $Q < 1,3$  AU, dále se dělí:
    - typu *Aten*, *NEAs* s poloměrem hlavní osy menším než 1,0 AU a vzdáleností při aféliu větší než 0,983 AU ( $a < 1,0$  AU,  $Q > 0,983$  AU)
    - typu *Apollo*, *NEAs* s poloměrem hlavní osy větším než 1,0 AU a vzdáleností při perihéliu menší než 1,017 AU ( $a > 1,0$  AU,  $q < 1,017$  AU)
    - typu *Amor*, *NEAs* s se vzdáleností při perihéliu mezi 1,017 až 1,3 AU ( $a > 1,0$  AU,

1,017 < q < 1,3 AU)

- PHA (*Potentially Hazardous Asteroids*), NEAs jejichž MOID se Zemí je 0,05 AU a méně a abs.mag. (H) je 22,0 a méně,

kde AU je astronomická jednotka (cca. 149 mil. km), a je poloměr hlavní osy, Q je vzdálenost od Slunce v periheliu, *MOID* (*minimum orbital intersection distance*) je minimální vzdálenost oběžných drah NEO a Země.

Asteroidy typu Aten a Apollo jsou tzv. křížiči, což znamená, že kříží dráhu Země, asteroidy typu Amor se k dráze Země přibližují, ale nekříží ji. Do skupiny PHA mohou patřit všechny NEOs splňující výše uvedenou definici, která prakticky znamená, že za PHA se nepovažují NEAs s velikostí pod 150 m a MOID nad 7,5 mil. km [3].

Z výše uvedeného je zřejmé, že nebezpečné jsou především PHA (jak vyplývá již z názvu). Protože PHA se „rekrutují“ z NEAs, je pochopitelné, že právě na ně je třeba se soustředit. Prvním krokem při ochraně Země před „deep impactem“ je tedy nalézt co možná nejvíce NEAs a především PHA. Tento krok sestává za prvé z nalezení takového asteroidu, za druhé z následného pozorování a určování polohy ve sluneční soustavě (následná astrometrie) a za třetí z vypočtení dráhy tělesa. Ze znalosti přesné dráhy Země a PHA lze zjistit, jestli dojde nebo nedojde ke srážce.

Hledáním potenciálně nebezpečných asteroidů se dnes na celém světě zabývá velké množství pracovišť. V následujícím výčtu jsou uvedeny některé z významných vyhledávacích programů:

- *Lincoln Near-Earth Asteroid Research (LINEAR)*
- *Near-Earth Asteroid Tracking (NEAT)*
- *Spacewatch*
- *Lowell Observatory Near-Earth Object Search (LONEOS)*
- *Catalina Sky Surveys (Catalina Survey, Siding Spring Survey, Mt.Lemmon Survey)*
- *Japanese Spaceguard Association (JSGA)*
- *Asiago DLR Asteroid Survey (ADAS)*

Pro přiblížení toho, jak asi tyto projekty fungují, se blíže podíváme na dva z nich, a to LINEAR a Catalina Sky Survey.

LINEAR společně provozují Letectvo Spojených států amerických (USAF) a Lincoln laboratory na MIT (Massachusetts institute of technology) na teleskopech GEODSS v Socorro, New Mexico, které jsou součástí pozorovacího systému blízkého okolí Země USAF. K dispozici jsou dva dalekohledy s průměrem zrcadla 1 m a jeden dalekohled s průměrem 0,5 m. Dalekohledy byly na počátku vybaveny snímacími prvky CCD (charge coupled device) s rozlišením 1 024 × 1 024 px, později byly upgradovány na 1 960 × 2 560 px. Jedná se o plně robotizované systémy, takže zvládnou přehlédnout celou dostupnou oblohu 5× za noc. Jako ukázkou výkonnosti systému uveďme krátkou statistiku objevů k 31. 12. 2007: bylo provedeno 22 349 515 pozorování zaslaných do MPC (Minor planet center), přičemž bylo zachyceno 5 370 805 asteroidů, z toho 225 957 bylo nově objevených, z tohoto počtu představovalo 2 019 NEAs a bylo objeveno 236 komet [4].

Program Catalina sestává ze tří víceméně samostatných, leč úzce spolupracujících, projektů, a to Catalina Sky Survey (CSS), Siding Spring Survey (SSS) a Mt. Lemmon Sky Survey (MLS). Schmidtův 0,6 m dalekohled CSS je umístěn na Mt. Bigelow v pohoří Catalina severně od Tucsonu v Arizoně. CSS je v provozu od dubna 1998, kdy byla k dispozici CCD 4 000 × 4 000 px, software pro automatickou analýzu byl implementován v září 1999 a funkční je od dubna 2000. Během prvních 7 měsíců činnosti bylo objeveno 46 NEOs. SSS je umístěna na Siding Spring Observatory nedaleko Coonabarabran v Austrálii. Rutinní pozorování na SSS započalo v dubnu 2004 na teleskopu identickém s tím na CSS. Navzdory jistým problémům bylo za 2 měsíce provozu pořízeno

22 400 astrometrických pozic a objeveno 6 NEOs, 1 PHA a jedna kometa. V rámci projektu SSS je provozován 1 m dalekohled určený k následné astrometrii (této problematice se budeme věnovat dále). MLS využívá 60 palcový teleskop typu Cassegrain na Steward Observatory arizonské univerzity na hřebenu Mt. Lemmon v pohoří Catalina. Tento systém ve spojení s mozaikovou CCD kamerou umožňuje snímat zorné pole o velikosti  $1^\circ$  a snímat objekty do jasnosti 22 mag. Dále je zde umístěn 1,5 m teleskop pro následnou astrometrii [5].

Dobrá tedy, uvažujme, že jsme našli těleso (ať už asteroid nebo kometu), které může být podle předběžných výpočtů z několika málo pozorování považováno za nebezpečné tj. nacházející se na kolizní dráze se Zemí. Co tedy dále? V předchozím textu jsme již několikrát narazili na pojem následná astrometrie. Přehlídkové systémy, o kterých byla řeč výše, poskytují většinou právě jen hrubá data o dráze tělesa ve sluneční soustavě a pro její velmi přesné určení je třeba daný objekt pozorovat dále a získat co nejvíce pozic. Právě tato činnost je následná astrometrie. Zhruba lze říci, že ze dvou měření je možno získat předpověď o poloze tělesa na několik dní dopředu, ze tří již na několik měsíců. Nicméně jak Země tak asteroid nebo kometa jsou z vesmírného hlediska naprostými trpaslíky, a to i na poměry sluneční soustavy jako takové, z čehož vyplývá, že nároky na přesnost znalosti dráhy impaktoru jsou extrémní. Jako příklad může sloužit asteroid Apophis. Planetka byla objevena 19. června 2004 na observatoři Kitt Peak v Arizoně. Protože byla pozorována jen během dvou nocí, nebylo možno přesně spočítat dráhu. Znovu byla pozorována až 18. prosince 2004 v rámci projektu SSS. Přesnější výpočty brzy po objevu nevyklučovaly srážku se Zemí a planetka tak byla zařazena mezi PHA a na turínské stupnici získala stupeň 4 (o turínské stupnici se ještě zmíníme) a pravděpodobnost byla spočtena na 1,6%. Do pozorování se proto zapojilo velké množství observatoří na jižní polokouli. Dále byla v archivech nalezena předobjevová pozorování (jedná se o pozorování objektu, která byla zaměřena na něco jiného a daný objekt je zachycen náhodou), která pomohla značně zpřesnit dráhové elementy (jedná se o parametry dráhy, které jednoznačně definují polohu tělesa v prostoru). Kromě těchto optických pozorování bylo provedeno i množství radarových měření, která nakonec srážku se Zemí definitivně vyloučila [6].

Následnou astrometrií se zabývá velké množství observatoří na celém světě, jako příklad můžeme uvést speciální části nám již známých projektů SSS a MLS (které dohromady jsou nejvýkonnějším systémem tohoto druhu na světě). Pro občany České republiky může být zajímavé pracoviště, které se nachází na osmém místě tohoto žebříčku, a tím je Observatoř Klef v jižních Čechách, která je součástí Hvězdárny a planetária České Budějovice. Tato observatoř má dlouholetou tradici ve výzkumu meziplanetární hmoty, v poslední době se soustřeďuje právě na objevování a následnou astrometrii NEOs. K tomuto účelu je zde provozován projekt KLENOT využívající teleskop téhož jména. Jde o dalekohled s průměrem primárního zrcadla 1,06 m s  $f/3$  vybavený CCD kamerou Photometrics Serie 300 s velikostí čipu  $1024 \times 1024$  px (chlazenou kapalným dusíkem) se zorným polem cca.  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ .

Turínská stupnice (též škála) je metoda pro kategorizaci nebezpečí dopadu blízkozemních objektů jako planetek a komet. Tato škála má 10 stupňů, které jsou rozděleny do čtyř skupin s různými barvami (bílá, zelená, žlutá, oranžová a červená). Byť i jen jednoduchý výčet a popis jednotlivých stupňů je mimo rozsah tohoto sylabu, proto zájemce odkazujeme na [8].

Dalším nezbytným krokem v případě, že by bylo nalezeno těleso mířící na Zemi je jeho charakterizace, tj. určení jeho chemického složení, struktury, hmotnosti atd. protože, jak uvidíme v závěrečné části, většina hypotetických metod planetární ochrany je založena na silových účincích a znalost těchto faktorů je kritická. Některé z uvedených parametrů je možno zjistit ze Země např. pomocí spektrální analýzy, z radarových měření, zákrytů hvězd apod. Avšak například strukturu komety nebo asteroidu je obtížné nebo nemožné takto zjistit, proto je nám zde velkým pomocníkem kosmonautika, přesněji řečeno nepilotované sondy. Opět si zde uvedeme jejich krátký přehled

a o některých se zmíníme trošku podrobněji:

- *Near-Earth Asteroid Rendezvous (NEAR)*
- *Deep Impact*
- *Deep Space 1 (DS1)*
- *STARDUST*
- *Hayabusa (MUSES-C)*
- *Dawn*
- *Rosetta*

Pravděpodobně nejzajímavější a také nejvíce mediálně propagovanou byla (a po prodloužení stále je [9]) mise Deep Impact. Sonda startovala z Mysu Canaveral 12. ledna 2005 pomocí nosné rakety Delta 2. Sonda se skládala ze dvou základních částí. Za prvé z mateřského tělesa vybaveného dvěma teleskopy, jedním s průměrem zrcadla 30 cm (osazen multispektrální CCD kamerou a infračerveným spektrometrem) a druhým se zrcadlem o průměru 12 cm (osazený rovněž multispektrální CCD kamerou, ale s malým rozlišením). Za druhé tzv. impaktorem, který byl určen, jak už název napovídá, ke střetu s jádrem komety. Tento impaktor byl z velké části tvořen mědí, aby neinterferoval při spektrálních analýzách. Vybaven byl kromě navigačního systému, motorků atd. také dalekohledem o průměru 12 cm pro navigaci a získání detailních fotografií povrchu jádra. Podrobnější popis v češtině na Spaceprobes/kosmo.cz [10] a výsledky této mise v angličtině na stránkách NASA [11].

Krátce se zde zmíníme ještě o japonské misi Hayabusa (MUSES-C). Hlavním a velmi zajímavým cílem této mise bylo odebrat vzorek z povrchu asteroidu Itokawa a vrátit se s ním zpět na Zemi k analýzám. Dalšími cíli bylo určení tvaru, rotační charakteristiky, složení, struktura atd. Bohužel, co se týče návratu vzorků, u sondy došlo k mnoha technickým obtížím a není jisté, zda byl odběr vůbec úspěšný, a pokud i ano, další problémy způsobily, že sonda se vrací po velmi protáhlé dráze a i v případě úspěchu dopadne přistávací pouzdro do Austrálie až v roce 2010. Podrobnější informace na [12].

Nyní se již soustředíme na samotné dopady a jejich následky na biosféru, lidské výtvořiny a lidstvo samotné. K tomuto účelu nám poslouží webové stránky arizonské univerzity věnované odhadům důsledků dopadů kosmických těles na Zemi [13].

V prvním případě uvažujme impaktor o průměru 100 m, specifické hmotnosti (hustotě)  $2\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  s dopadovou rychlostí  $20\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$  při úhlu  $45^\circ$  do oblasti s hustotou  $2\,500\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a zároveň předpokládejme, že se nacházíme ve vzdálenosti 100 km od místa dopadu (v tomto případě od hypotetického místa dopadu, protože při zadaných charakteristikách těleso nedosáhne povrchu jak je uvedeno dále). Energie před vstupem do atmosféry je v tomto případě asi 5 Mt TNT (odpovídá středně silným termonukleárním zbraním), těleso se začne rozpadat ve výšce cca. 68 km a zcela se rozpadne ve výšce kolem 300m, energie výbuchu je okolo 4,9 Mt TNT. Tlaková vlna dorazí k pozorovateli za 5 minut se špičkovým přetlakem 2,5 kPa, hluk by se pohyboval kolem 70 dB. Nyní se podívejme, co se stane, když pozorovatele posuneme do vzdálenosti jen 20 km. Všechny charakteristiky samotného dopadu zůstávají pochopitelně stejné, změní se ovšem to, jak pozorovatel vnímá následky ve svém okolí. Například tlaková vlna dorazí již za jednu minutu, špičkový přetlak bude plných 24 kPa, rychlost větru 51,1 m/s a hluk na hladině 88 dB. Také stavby již budou poškozeny, dřevěné budovy budou strženy, střechy vážně poškozeny a 1/3 stromů bude vyvrácena. Průměrný interval mezi dopady takového tělesa za poslední 4 mld. let je  $2,2\cdot 10^3$  let.

Pro další odhad následků dopadu uvažujme průměr objektu 500 m a vzdálenost od epicentra 20 km, přičemž ostatní parametry zůstanou zachovány. V tomto případě je energie před vstupem do atmosféry  $2,62\cdot 10^{19}\text{ J}$ , což odpovídá cca. 6,95 Gt TNT, těleso dosáhne povrchu při rychlosti  $19,3\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ , energie uvolněná při výbuchu bude  $2,45\cdot 10^{19}\text{ J}$  (= 5,8 Gt TNT) a na místě zůstane

kráter o průměru 7 km a hloubce 540 m. Špičkový přetlak činí 560 kPa, rychlost větru neuvěřitelných  $550 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a hluk je na hladině 112 dB. Rovněž dopady na krajinu jsou zničující: zemětřesení o síle 7,1 RichtEROVY stupnice, totální destrukce budov a vyvrácení více než 90 % stromů, následné požáry atd. Tímto krátkým přehledem jsme si lehce nastínili, jak by takový dopad byl zničující. Samozřejmě je možno si vymyslet obrovské množství kombinací [13].

V poslední části se podíváme na to, jaké máme jako lidstvo možnosti aktivně se bránit nebezpečnému dopadu v případě, že srážka bude nevyhnutelná. V principu lze tyto strategie rozdělit do čtyř kategorií [14]:

1. hmotové
2. silové
3. vnější energie
4. vnitřní energie

Pod hmotovým účinkem si můžeme představit například náraz rakety, střepin atd. do asteroidu, přičemž tento bude buďto rozbit nebo dojde ke změně jeho hybnosti. Silovým účinkem se rozumí třeba použití motoru, vrhače hmoty, sluneční plachty, urychlovače umístěných na povrchu tělesa a za jejich pomoci dojde ke změně hybnosti. Energie vnější představuje například použití laseru, maseru nebo jiných druhů záření, které způsobí buďto rozbití nebo změnu hybnosti a konečně pod energií vnitřní rozumíme použití konvenční nebo jaderné nálože umístěné uvnitř asteroidu. Následkem je opět tříštění nebo změna hybnosti.

Pravděpodobně první, co každého napadne je asteroid zničit, rozbit na kusy. Toho lze v současnosti dosáhnout jediným způsobem a tím jsou jaderné nálože. Toto řešení má však mnoho úskalí. Za prvé existuje mezinárodní dohoda, která používání jaderných zbraní v kosmickém prostoru zakazuje. Samozřejmě je možné, že v případě ohrožení planety by došlo dohodě, nicméně to je na jiné povídání. Za druhé jsou zde technické problémy s nosičem, protože současné rakety nejsou na takové použití konstruovány, ale dá se očekávat, že řešení by nebylo až tak nemožné. Další problém se týká samotného rozbití asteroidu. V podstatě může dojít k dopadu nálože na povrch nebo k částečnému „probití“ dovnitř tělesa a zde teprve k explozi. Ať tak či onak, kusy, které po takovéto destrukci z asteroidu zůstanou mohou dopadnout na Zemi a způsobit škody. Shrnutí: výhodami tohoto postupu je, že potřebnou technologii již máme a lze jej použít i ve chvíli kdy do dopadu zbývá již jen krátká doba a není čas na jiné řešení, nevýhodami to, že rozpad nelze řídit a výsledek garantovat. Jaderný výbuch lze však využít i jinak. Nálož by mohla být odpálena kousek před asteroidem a tlaková vlna změnit jeho hybnost a odklonit jej z kolizní dráhy.

Další možností, kterou lze zařadit pod „hmotovou strategii“ je kinetický náraz, což znamená hmotným projektilem vhodným způsobem asteroid zasáhnout, změnit jeho hybnost a odklonit tak jeho dráhu. Tento postup má zásadní nevýhodu (a další postupy jí trpí také), že by musel být aplikován dlouhou dobu před dopadem. pro ilustraci si uveďme dva příklady.

V prvním modelovém případě uvažujme hmotnost projektilu 45t (je nutno uvést, že tato hodnota je velmi optimistická, když uvážíme, že nejsilnější raketa v historii Saturn 5 měla nosnost cca. 100 t, ale na nízkou oběžnou dráhu Země (LEO) a i v současnosti navrhovaný nástupce Saturnu 5 Ares 5 má mít na LEO nosnost cca. 130 t) a dopadovou rychlost  $3\,000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a  $12\,000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Při první rychlosti činí odklon dráhy  $400 \text{ km}\cdot\text{rok}^{-1}$ , při druhé  $1\,600 \text{ km}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Vezmeme-li v úvahu, že průměr Země je  $12\,800 \text{ km}$  a asteroid by mířil na střed kotouče, v prvním případě by muselo dojít ke kinetickému nárazu asi 16 let před dopadem, ve druhém cca. 4 roky.

Ve druhém modelovém případě ponechme všechny charakteristiky projektilu a změníme průměr asteroidu na  $1\,000 \text{ m}$ . V takové situaci je tento postup nepoužitelný, protože při dopadové rychlosti projektilu  $3\,000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  je odklon pouhých  $2,3 \text{ km}\cdot\text{rok}^{-1}$ , při  $12\,000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$   $9,29 \text{ km}\cdot\text{rok}^{-1}$ .

Další možností je silové působení na asteroid. Toho se dá dosáhnout několika způsoby,

všechny ale jak bylo již uvedeno mají ten nedostatek, že je potřeba je použít s velkým předstihem. Jak je zjevné, zásadním problémem je zde (ne)poměr mezi hybností asteroidu a silou, kterou na něj dokážeme působit.

První možností je na asteroid vypustit a připoutat k němu raketový motor, který na něj po spuštění bude působit silou a odkloní ho z kolizní trajektorie. Výhodou je, že takovými technologiemi disponujeme a celé by se to dalo spolehlivě řídit. Nevýhodou je to, že je prakticky nemůžeme použít. Dostat na asteroid motory by snad ještě bylo možné, dostatek paliva pro jejich chod je už jiný oříšek. Jistým řešením by mohlo být použití poněkud méně konvenčních pohonů, např. iontový (ten má ale malý tah) nebo termální jaderný motor (v současnosti není operativně nasaditelný). Dále by byl problém motory bezpečně upevnit (zde se neobejdeme bez znalostí, jež nám dodají kosmické sondy při průzkumu malých těles).

Tento poslední problém řeší tzv. gravitační traktor. Jedná se o další možnost, kdy není potřeba přistát, ale pouze se udržovat na oběžné dráze. Protože takováto družice má vlastní hmotnost, poněkud by vychýlila barycentrum soustavy a změnila tak dráhu. Toto řešení je jednoduché, ale nároky na předstih jsou velmi vysoké.

Jako další možnost lze uvést sluneční plachtu, kdy je k asteroidu přichycena „plachta“ s velkou plochou a silový účinek je zajištěn tlakem záření od Slunce. Problémy zde vyvstávají hlavně proto, že technologie sluneční plachty je teprve v zárodcích a opět by bylo třeba působit s velkým předstihem. Za jistou modifikaci lze považovat potažení asteroidu nějakým vysoceodrazným materiálem, tento postup je už ovšem zcela ze světa SF.

Jako téměř poslední si zde uvedeme ještě tzv. vrhač. Jedná se v podstatě o variantu raketového motoru, ovšem s tou výhodou, že by nebylo třeba s sebou vozit palivo. Jednalo by se spíše o malou důlní stanici, která by těžila materiál asteroidu a vyvrhovala by jej do prostoru, čímž by opět docházelo ke změně hybnosti. Značnou nedostatkem je potřeba silného a spolehlivého zdroje energie pro pohon strojů. Trn z paty by snad v tomto případě mohly vytrhnout jaderné reaktory.

Úplně na konec ještě dvě speciální metody: zesílení Jarkovského efektu „posypáním sazemi“ a sluneční pec. Jarkovského efekt je změna dráhy malého přirozeného tělesa (planetky, jádra komety apod.), pohybujícího se sluneční soustavou, v důsledku zpožděného vyzařování tepelného záření z povrchu tělesa na jeho noční straně, poté, co byl na denní straně povrch zahřát Sluncem. Fotony infračerveného záření fungují stejně jako ve fotonové raketě (cit. [15]). Jde tedy o to, že „začerněním“ by se posílilo infračervené vyzařování a tím i velikost daného efektu, jedná se tedy v principu o silové působení. Sluneční pec by bylo zrcadlo, které by soustředilo sluneční paprsky na povrch asteroidu, odpařovalo by jej a působilo reaktivní pohon, tedy opět silové působení.

Jak je vidět, blízké okolí Země je pod dohledem, a ačkoliv zatím zdaleka neznáme všechny potenciálně nebezpečné asteroidy, můžeme doufat, že podpora tohoto výzkumu bude pokračovat, případně bude ještě posílena a technický pokrok dovolí v případě nejvyšší nouze se bránit „Deep Impact“.

#### Zdroje informací:

- [1] [http://en.wikipedia.org/wiki/Comet\\_Shoemaker-Levy\\_9](http://en.wikipedia.org/wiki/Comet_Shoemaker-Levy_9)
- [2] Trayner C., Journal of British Astronomical Association vol. 107, no. 3, 1997
- [3] <http://neo.jpl.nasa.gov/programs>
- [4] <http://www.ll.mit.edu/LINEAR/>
- [5] [http://www.lpl.arizona.edu/css/css\\_facilities.html](http://www.lpl.arizona.edu/css/css_facilities.html)
- [6] [http://en.wikipedia.org/wiki/99942\\_Apophis](http://en.wikipedia.org/wiki/99942_Apophis)
- [7] [http://www.klet.org/?stranka=klenot&menu\\_id=4&uroven=2](http://www.klet.org/?stranka=klenot&menu_id=4&uroven=2)
- [8] [http://en.wikipedia.org/wiki/Torino\\_Scale](http://en.wikipedia.org/wiki/Torino_Scale)
- [9] <http://www.spaceref.com/news/viewpr.html?pid=24719>

- [10] <http://spaceprobes.kosmo.cz/index.php?cid=117>
- [11] <http://solarsystem.nasa.gov/deepimpact/results/index.cfm>
- [12] <http://spaceprobes.kosmo.cz/index.php?cid=83>
- [13] <http://www.lpl.arizona.edu/impacteffects/>
- [14] Letectví a kosmonautika 20/2003, 21/2003, 22/2003
- [15] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Jarkovského\\_efekt](http://cs.wikipedia.org/wiki/Jarkovského_efekt)