

Kosmické katastrofy v dějinách Země

Jiří Grygar, Fyzikální ústav AV ČR, Praha

1. Úvod	1
2. Katastrofický zrod sluneční soustavy	1
3. Vznik Měsíce	2
4. Kosmická homeostáze Země	3
5. Riziko impaktů	4
6. Výbuchy supernov	6
7. Kosmické katastrofy vzdálené budoucnosti	6

1. Úvod

Pod názvem kosmická katastrofa si obvykle představujeme něco grandiózně tragického, čemu lidstvo nemůže ani v nejmenším zabránit. Kosmické katastrofy mají svou příčinu mimo naši Zemi a mohou se odehrávat z lidského pohledu jak rychle (tj. během zlomků sekund až několika měsíců), ale též relativně pomalu (během roku až stovek milionů let). Příkladem rychlé katastrofy může být gravitační zhroucení hmotné hvězdy (výbuch supernovy), jež probíhá během sekund. Příkladem pomalé katastrofy je srážka dvou galaxií, jež trvá stamiliony let, a jejíž "dozvuky" zabírají miliardy roků.

Především však je třeba si uvědomit, že z čistě lidského hlediska *nejsou kosmické katastrofy jednoznačně záporným jevem*. Mají své "dobré stránky" a některé jsou dokonce pro vznik a udržení inteligentního života ve vesmíru nezbytné. Předvídaní budoucích kosmických katastrof, jež mohou naopak život člověka či život na Zemi vůbec ohrozit, není jen samoučelným intelektuálním cvičením; čím dál tím více se ukazuje, že jakkoliv to dnes zní utopicky, lze silami budoucí techniky takové katastrofy buď oddálit nebo dokonce jejich hrozbu odstranit.

Již samotný počátek vesmíru, tzv. **velký třesk**, lze považovat za největší myslitelnou kosmickou katastrofu. Nesmírná teplota a hustota hmoty velmi raného vesmíru je z lidského pohledu naprostým fyzikálním peklem a nepředstavitelné tempo překotného rozpínání nejranější vesmíru (tzv. **kosmologická inflace**) poukazuje na obrovitost oné katastrofy, pro níž neexistuje ani srovnání ani názorná představa. Rozpínání vesmíru však vedlo k vydatnému ochlazení a zředění původní pralátky, tj. mimo jiné k vytvoření struktur, které popisuje atomová a molekulární fyzika, anorganická a organická chemie a nakonec i (dosud výhradně pozemská) biologie. Nebýt důsledků této počáteční katastrofy, bylo by dodnes možné popisovat vesmír jednotnou supersymetrickou teorií všech čtyř známých fyzikálních interakcí, ale přirozeně by nebylo nikoho, kdo by tuto **Univerzální Teorii Všeho** (Theory of Everything) mohl zformulovat.

2. Katastrofický zrod sluneční soustavy

Zatím není příliš zjevné, jak konkrétně vznikaly v původně vysoce homogenním rozpínajícím se vesmíru zárodky hvězdných soustav - **galaxií**. Víme jen, že k tomu bylo zapotřebí zhruba 1 miliardy let a je téměř jisté, že procesy shlukování hmoty v protogalaxiích byly rovněž katastrofické povahy.

V téže době se vytvořil i zárodek naší hvězdné soustavy - **Galaxie**. Obsahoval chuchvalce mezihvězdné látky a poměrně hmotné hvězdy první generace. Udivující je nepoměrná hustota, který se přitom v Galaxii vyskytoval. Průměrná hustota látky v Galaxii je sice asi o pět řádů vyšší, než průměrná hustota vesmíru, ale činí pouze 10^{-21} kg m⁻³, což je technicky naprosto nedosažitelné vakuum. Na tomto pozadí astronomové pozorují rozsáhlá

mračna neutrálního a ionizovaného atomárního vodíku, jejichž střední hustota je asi o tři řády vyšší.

V r. 1984 zjistili radioastronomové, že důležitou složkou Galaxie jsou ještě stokrát hustší **obří molekulová mračna** o nízké teplotě (cca 20 K), typickém rozměru 100 světelných let, standardní hmotnosti řádu milionnásobku hmotnosti Slunce (tj. 10^{36} kg) a tvořená převážně molekulárním vodíkem. Galaxie obsahuje přibližně 5000 takových obřích molekulových mračen, jež představují patrně největší souvislé a mimořádně stabilní objekty ve vesmíru. Přitom jejich hustota je stále ještě o řád nižší, než nejlepší vakuum, dosažené v pozemských laboratořích.

Od té doby se podařilo ukázat, že obří molekulová mračna jsou pravou kolébkou **hvězd II. a III. generace**, které v nich vznikají v celých skupinách (ve hvězdných asociacích, popřípadě otevřených hvězdokupách). Asociace a hvězdokupy se však dynamicky rozpadají na časové stupnici od milionů do stovky milionů let a nově vzniklé hvězdy se tak vmísí do obecného hvězdného pozadí Galaxie.

Jelikož obří molekulové mračno je dynamicky naprosto stabilní útvar, bylo potřetí nalézt podnět, který jeho dynamickou rovnováhu poruší. Patrně nejčastěji je podnětem hvězdná katastrofa - totiž gravitační zhroucení hmotné hvězdy (navenek se projevující jako **výbuch supernovy**), jež jednak vytvoří mohutnou rázovou vlnu, postupující napříč molekulovým mračnem a jednak obohatí mračno o zplodiny výbuchu, tj. především o atomová jádra uhlíku až železa, kobaltu a niklu a v menší míře též o atomová jádra mědi až uranu. *Supernovy jsou fakticky výlučným dodavatelem jader chemických prvků s protonovým číslem $Z > 5$ v celých dějinách vesmíru!*

Jsou dobré důvody pro názor, že právě tak vznikl i zárodek **sluneční soustavy**. V obřím molekulovém mračnu vybuchla supernova, jež rázovou vlnou "shrnula" část mračna do chuchvalce dostatečně malého a hustého, aby jeho další vývoj ovlivnila vlastní gravitace chuchvalce. Chuchvalec se vlivem vlastní stále rychlejší rotace zploštil a vytvořil zárodečný disk o hmotnosti asi o 10 až 50% větší než je dnešní hmotnost Slunce. Z centrální části disku vzniklo **Praslunce**, zářící zprvu převážně v infračerveném pásmu spektra. Z prachových zrnků na periférii disku vznikaly tzv. **planetesimály I. a II. generace**, které se posléze spojily do několika velkých těles - planet, zatímco jiné planetesimály zejména na vnějším okraji zárodečného disku zůstaly osamělé - to jsou dnešní **kometární jádra** v tzv. Kuiperově disku a Oortově mračnu. Praslunce se gravitačním dalším smršťováním proměnilo v hvězdu, kdy v nitru Slunce začala probíhat při teplotě asi 15 MK základní **termonukleární reakce** - slučování vodíku na hélium. Na povrchu se to projevilo jednak zářením v optickém oboru spektra a jednak hvězdnou vichřicí, která vymetla ze vznikající sluneční soustavy zbylá prachová zrnka a chladný plyn. Celý tento proces se odehrál před 4,6 miliardami roků a skončil za necelých 200 milionů let. Od té doby vypadá sluneční soustava zdaleky téměř stejně až dodnes.

3. Vznik Měsíce

Všechny planety sluneční soustavy vznikaly díky srážkám planetesimál, jež vedly buď k akumulaci materiálu na zárodek planety, anebo naopak k tříštění již vzniklých zárodků. Zdá se, že rozhodujícím faktorem je přitom vzájemná rychlost srážky. Pro srážky rychlostí menší než 100 m s^{-1} převládá akumulace, kdežto pro rychlosti vyšší nastává tříštění. V raných fázích vývoje sluneční soustavy tedy zřejmě převládaly srážky malými rychlostmi a následkem toho **planety** postupně dorostly na konečnou velikost akrecí planetesimál.

Výjimkou bylo rozsáhlé **pásmo planetek** mezi Marsem a Jupiterem, kde vlivem poruchového působení Jupiteru se nemohla utvořit jedna velká planeta - místo ní se v tomto prostoru nachází stovky těles s rozměry nad 50 km, a podstatně vyšší množství drobnějších úlomků, které vznikají neustále vzájemným srážkami.

Velké planety (Jupiter až Neptun) mají své rodiny přirozených družic (měsíců), převážně vzniklých akumulací materiálu v zárodečném disku kolem planety. Naproti tomu vnitřní planety buď přirozené družice nemají vůbec (Merkur, Venuše), anebo je získaly zachycením planetek (Mars).

Zdá se, že *případ Měsíce naší Země je zcela atypický*. Podle moderní domněnky se totiž těsně před dokončením akumulace Země srazila s Praměsícem o hmotnosti asi 10% hmotnosti Země - tedy tělesem o hmotnosti srovnatelné s Marsem. **Praměsíc** vznikl akumulací daleko od Země a dostal se na chaotickou dráhu, která vedla k tečné srážce se Zemí. Tím se rotační osa Země, původně kolmá na oběžnou rovinu, naklonila šikmo.

Praměsíc se při srážce zcela zničil vypařením a podobně se vypařila i část zemského pláště. Kolem Země se utvořil nejprve prstenec žhavého plynu, jehož chemické složení bylo kombinací složení Praměsíce a pláště Země. Když se prstenec ochladil, kondenzoval na prachová zrna, která se akumulací relativně bleskově spojila v jedno kompaktní těleso - dnešní Měsíc.

Raný Měsíc se ovšem nacházel jen asi 15 000 km od Země a do dnešní vzdálenosti bezmála 400 000 km se "dopravil" **slapovým působením** na pozemské oceány. Slapové tření v oceánech totiž vyvolává brzdění zemské rotace a z důvodu zachování momentu hybnosti soustavy Země-Měsíc se musí Měsíc postupně vzdalovat. Toto vzdalování bylo v posledním čtvrtstoletí vskutku změřeno a činí 37 mm rok^{-1} . Původně dosti rychlá zemská rotace (1 otočka za 8 hodin) klesla na dnešní hodnotu 24 h. V současné době se délka dne prodlužuje rychlostí $1,7 \text{ ms rok}^{-1}$, což je rovněž spolehlivě změřeno. Zatímco Měsíc již dávno rotuje synchronně (oběžná doba kolem Země se rovná době otočky kolem rotační osy Měsíce), Země nic takového nehrozí. Synchronní rotace Země by přirozeně znamenala patrně smrtelnou hrozbu pro život.

Navíc se ukázalo, že existence Měsíce ovlivňuje zásadním způsobem dlouhodobé (sekulární) **variace sklonu rotační osy Země** k oběžné rovině - kdyby nebylo stabilizujícího vlivu Měsíce, kolísala by tento sklon od 0° do 85° ! Měsíc utlumuje rozkmit na $\pm 1,3^\circ$, což má přirozeně zásadní význam pro stabilitu klimatu na Zemi. Pro srovnání uveďme, že sklon rotační osy Marsu k oběžné rovině kolísá mezi 0° a 60° , neboť jeho miniaturní družice na utlumení oscilací sklonu rotační osy nestačí. Je také zřejmé, že klimatické poměry na Marsu se měnily zcela drasticky - před více než miliardou let byla např. na povrchu planety tekutá voda v řekách.

4. Kosmická homeostáze Země

V průběhu tohoto století byly postupně objeveny důkazy pro naprosto neuvěřitelnou stabilitu fyzikálních a chemických podmínek na povrchu Země v průběhu věků. Především je pozoruhodně stabilní **zemská dráha**, tj. její výstřednost se dlouhodobě mění jen nepatrně podobně jako sklon dráhy vůči ekliptice. Dráhové rozmezí, v němž existují tyto příznivé podmínky pro život, je však překvapivě úzké - mezi 142 a 152 miliony km od Slunce (velká poloosa zemské dráhy činí 149,6 milionů km).

Nicméně již ve 20. letech tohoto století prokázal M. Milankovič korelaci mezi změnami dráhových parametrů Země a sklonu zemské rotační osy s ledovými resp. meziledovými dobami. To značí, že i malá kolísání parametrů mohou mít na povrchu Země výrazné důsledky - ke vzniku **ledové doby** stačí pokles průměrné roční teploty na kontinentu jen o 5° a podle nových měření může ledová doba nastoupit rychle - během jediného desetiletí. Ledové doby trvají řádově desítky tisíc let. Maximum poslední ledové doby se odehrálo před 22 000 lety a její konec nastal před 11,5 tisíci lety.

Dalším pozoruhodným stabilizujícím faktorem je doslova inteligentní změna chemického složení **zemské atmosféry**. Její chemické složení je značně ovlivněno působením zemské gravitace, která selektivně udržuje zejména těžší molekuly, zatímco prvotní vodík a helium již dávno vyprchaly. Zemská atmosféra zprvu obsahovala asi 70% oxidu uhličitýho, 20% metanu a zbytek tvořil převážně molekulární dusík. V průběhu první miliardy let dějin Země zastoupení oxidu uhličitýho rychle klesalo, zatímco podíl metanu vzrostl až na 80%. Během druhé miliardy let ubývalo metanu a úměrně tomu vzrůstal podíl molekulárního dusíku, jenž v čase 2,6 miliardy let dosáhl téměř 100%. Teprve před půl miliardou let se zastoupení dusíku počalo snižovat souběžně s růstem zastoupení molekulového kyslíku až na současné hodnoty (79% dusíku, 21% kyslíku; oxid uhličitý, metan a vodní pára představují dnes pouze nepatrné příměsi). Nárůst zastoupení kyslíku v atmosféře Země se obvykle

spojuje s rozšířením rostlinstva. Působením ultrafialového záření Slunce se ve vysoké atmosféře Země vytváří ozon, jenž slouží zároveň jako ochranný filtr - to umožnilo životu vystoupit z vody na souš.

Jelikož zvláště CO₂ výrazně přispívá k tzv. **skleníkovému efektu** (následuje vodní pára a metan), byl v minulosti Země skleníkový efekt neporovnatelně výraznější než dnes. Jelikož však v té době byl zářivý výkon Slunce o třetinu nižší než nyní, vyšší skleníkový efekt prospíval rozvoji života. V současné době činí skleníkový efekt zhruba + 30°, takže průměrná roční teplota Země dosahuje +15° - nebýt skleníkového efektu, oceány by již dávno zamrzly a pro vysoké albedo (poměr odraženého záření k dopadajícímu) by nikdy neroztály a *život na Zemi by vůbec nevznikl*.

Pozoruhodný **homeostatický cyklus** v zastoupení CO₂ v zemské atmosféře objevili meteorologové, biologové a geologové zcela nedávno. Jestliže se v atmosféře Země zvyšuje skleníkový efekt (dnes hlavně vinou civilizačních faktorů - spalování fosilních paliv a produkce metanu v zemědělství), pak vlivem zvýšené teploty stoupá výpar vody z oceánů. Tím se zvyšují dešťové srážky, které strhávají molekuly CO₂, jež spotřebovává při fotosyntéze plankton na povrchu oceánu. Odumřelý plankton klesá na dno oceánů, kde se CO₂ zabuduje do vápence. Tím se CO₂ nevratně vymývá z atmosféry a skleníkový efekt klesá, tj. snižuje se i výpar a úbytek skleníkových plynů ze zemské atmosféry. Mezitím se vápenec na dně oceánů díky tektonice podsouvá pod kontinentální desky až do takových hloubek, kde se následkem vysoké teploty taví. Uvolněný CO₂ pak stoupá sopečnými komíny zpět k povrchu a ze sopečných jíců se vrací zpět do atmosféry. Zmíněný cyklus trvá přibližně půl miliardy let.

Zemská atmosféra plní i další ochranné funkce, zejména nepropouští škodlivé energetické ultrafialové, rentgenové a gama záření z vesmíru. Představuje účinnou hráz i pro vysoce energetické částice primárního kosmického záření, které rozmělní na atmosférické spršky. Blokuje zčásti i dopady menších meteoritů (až do průměru objektů desítek metrů). Částice elektricky nabitě (sluneční vítr, nabitě částice kosmického záření) jsou zase účinně odklány zemským magnetickým polem. Geofyzikové sice zjistili, že intenzita magnetického pole i poloha magnetických pólů se poměrně rychle a výrazně mění (k tzv. **přepólování** dochází během desítek tisíc let), ale ani v tomto kritickém intervalu Země svůj ochranný magnetický kryt neztrácí. Místo magnetického dipólu totiž vzniká zemský kvadrupól nebo oktupól.

V poslední době se často hovoří o **vztazích Slunce-Země** a probírá se hypotéza o ovlivnění biologické situace na Zemi vlivy sluneční činnosti (skvrny, erupce, magnetické bouře atp.). Proto bych chtěl připomenout, že tyto vlivy na biologické organismy se vesměs nepotvrdily ani přímo ani zprostředkovaně přes nějaké zesilovací mechanismy v zemské atmosféře. *Ochranný vliv atmosféry a magnetosféry Země je prostě téměř dokonalý.*

5. Riziko impaktů

Pohled na jakýkoliv snímek Měsíce nás přesvědčí, že povrch našeho souputníka je pokryt velkým množstvím kruhových kráterů. Po letech Apolla je již jisté, že naprostá většina těchto kráterů vznikla dopady kosmických projektilů na Měsíc. Dále lze ukázat, že původní frekvence **kosmického bombardování** měsíčního povrchu poklesla před 3,8 miliardami let asi o 3 řády a od té doby až dosud se udržuje přibližně na stejné úrovni.

Již r. 1942 uvažoval H. Nininger o riziku, že podobné projektily mohou - úměrně rozdílným rozměrům a gravitaci obou těles - dopadat také na Zemi. Zde je ovšem každý impaktní kráter poměrně rychle zahrazen geologickou činností (tektonika, zemětřesení, vulkanismus, eroze), takže v průměru *za 120 milionů let již není impakt vůbec patrný*. Metodami dálkového průzkumu bylo na Zemi dosud nalezeno jen asi 135 impaktních struktur, prakticky všechny ovšem na souši.

Zato byly postupně objeveny **impaktní krátery** na Merkuru, Venuši, a přirozených družicích Marsu, Jupiteru, Saturnu, Uranu i Neptunu, nejnověji též na planetkách Gaspra a Ida a dokonce i na jejím miniaturním průvodci Dactylovi. Je zkrátka zřejmé, že kosmické bombardování výrazně pozměňuje tvářnost povrchu všech těles sluneční soustavy, jež mají

pevný povrch. To je výrazná změna paradigmatu pro geologii, kde až donedávna převládal tzv. **aktualismus**, podle něhož působily v geologických dějinách Země pouze ty síly, které pozorujeme dnes. V jistém smyslu se tak vracíme k průkopníkům **katastrofismu** v dějinách Země, jimiž byli G. Buffon (1749), P. Maupertuis (1752) a G. Cuvier (1812).

Počínaje třicátými lety tohoto století byly postupně rozpoznány planetky, jejichž dráhy křížují nebo se dotýkají dráhy Země. Rozvoj metod dynamické astronomie a zvláště teorie chaosu ukázala, že u **křížičů** jsou dráhy dlouhodobě nestabilní. V modelových výpočtech se ukazuje, že již během několika málo milionů let až třetina planetek spadne na Slunce a asi desetina je dokonce vymrštnuta ze sluneční soustavy navždy. Průměrný interval mezi impakty těchto planetek-křížičů na Zemi činí asi 50 milionů let pro tělesa s rozměry nad 1 km. Taková tělesa při rychlostech nárazu kolem $15 \div 20 \text{ km s}^{-1}$ vyvolají celosvětovou **biologickou katastrofu**. Primární zkáza spočívá v uvolnění velké kinetické energie v podobě tepla. Následkem toho se zapálí rostliny až do vzdáleností tisíců km od místa dopadu. Dopadne-li planetka do oceánu, přispějí ke zničení biosféry obrovské vlny cunami. Zplodiny impaktu a saze z požárů pak vytvoří kolem Země neprůhledný mrak, což sekundárně přeruší fotosyntézu na měsíce až roky a tím se rozruší potravní řetězce pro faunu. Průvodním jevem narušené rovnováhy atmosféry jsou ještě intenzivní kyselé deště a pokles průměrné teploty Země (malá ledová doba).

Hypotézu o zkáze **impaktem planetky** formulovali r. 1979 L. Alvarez aj. na základě zjištění, že v geologických vrstvách z rozhraní druhohor a třetihor před 65 miliony lety se po celém světě pozoruje asi tisícnásobné zvýšení zastoupení iridia. Tento kov je na Zemi vzácný, ale v meteoritech poměrně hojný. V té době vsutku došlo k **masovému vymírání** rostlin i živočichů, což je velmi dobře podloženo paleontologickými nálezy. Podle nich se biologická pestrost obnovila během následujících 5 000 let. I tato katastrofa však měla svou světlou stránku: vývojově pokročilejší savci využili ekologické niky, "uvolněné" veleještěři.

Hypotézu téměř okamžitě přijali astronomové, ale mezi geology a biology budí dodnes nedůvěru. Proto je velmi cenné, že v r. 1991 zjistili američtí geologové na základě série ropných vrtů v oblasti Mexického zálivu, že se tam a částečně pod poloostrovem Yucatan nalézá ponořený impaktní **kráter Chicxulub** o průměru asi 180 km a hloubce 9 km. V kráteru se nacházejí rázově přeměněné horniny o stáří 65 milionů let. Odtud lze odhadnout průměr dopadlého objektu na 10 km a jeho rychlost na 15 km s^{-1} . Energie impaktu pak činila řádově 10^{24} J , tj. ekvivalent cca 250 Tt TNT.

Největší dobře dokumentovaný impakt na Zemi pochází z 30. června 1908, kdy nad Sibiří explodoval pověsný **tunguzský meteorit**. Podle modelových výpočtů šlo o kamenné těleso s průměrnou hustotou 2,5 násobek hustoty vody, jež vstoupilo do zemské atmosféry rychlostí 15 km s^{-1} a explodovalo ve výšce 8,5 km nad Zemí. Kdyby se meteorit zpozdlil o 5 hodin, zasáhl a zničil by Petrohrad. Uvolněná energie dosáhla $6 \cdot 10^{16} \text{ J}$, tj. ekvivalent asi 15 Mt TNT (velkorážová vodíková puma). Průměrný interval mezi obdobnými dopady na Zemi se odhaduje řádově na tisíc let.

V červenci r. 1994 jsme byli svědky dopadu úlomků **komety Shoemaker-Levy 9** na Jupiter. Komplexní pozorování ukázala, že úlomky o průměru až 1 km a rychlosti střetu 60 km s^{-1} se prakticky náhle zabrzdily v atmosféře planety a explodovaly. Ohnivá koule dosáhla počáteční teploty asi $8\,000^\circ\text{C}$ a vedla k vytvoření explozivního hříbu, jehož klobouk vystoupil nad atmosféru až do výšky 3 000 km. Vymrštnutý materiál se pak balisticky vracel do atmosféry, kterou znovu ohřál a na místech zpětného dopadu vznikly rozměrné a po celé měsíce viditelné tmavé skvrny o průměru srovnatelném s rozměry Země. Energie všech impaktů se odhaduje na 10^{23} J , tj. ekvivalent 25 Tt TNT.

Podle výpočtu Z. Ceplechy z r. 1992 *získává Země v průměru za rok impakty meteoritů asi $1,7 \cdot 10^5$ tun*, z toho převážnou část právě vzácnými dopady největších projektilů. Riziko srážky s planetkami je asi čtyřikrát vyšší než riziko stejně ničivého střetu s jádrem komety (jádra komet jsou křehčí, ale zato v průměru čtyřikrát rychlejší). Podle současné inventury planetek a komet - křížičů nám v nejbližším tisíciletí nehrozí srážka se žádným známým tělesem sluneční soustavy. Naneštěstí však známe jen nějakých 5% procent potenciálních rizikových křížičů.

6. Výbuchy supernov

V r. 1987 vybuchla ve Velkém Magellanově mračnu **supernova 1987A**, viditelná několik měsíců očima. To je vzácný úkaz, neboť předešlou očima viditelnou supernovu pozoroval r. 1604 - tedy ještě před vynálezem dalekohledu - Jan Kepler v Praze. Supernova 1987A se stala historicky první supernovou, pro níž se prokázalo, že zhroucení hmotné hvězdy je doprovázeno uvolněním energetických neutrin. Při vzdálenosti supernovy 165 000 světelných let odtud vyplývá úhrnná uvolněná energie řádu 10^{46} J, z toho jen asi tisícina připadá na optický úkaz, takže téměř doslova jde o změnu hvězdy v proud neutrin. Přirozeně nás napadne otázka, co by se stalo na Zemi, kdyby v blízkém okolí vybuchla podobná supernova. Naštěstí je vyloučeno, aby Slunce vybuchlo jako supernova - nemá na to dostatečnou hmotnost a není členem dvojhvězdy. Členství ve dvojhvězdě je rovněž nutnou podmínkou pro méně energetický, ale přesto dostatečně ničivý, výbuch novy.

V r. 1992 se zjistilo, že intenzivní zdroj záření gama, zvaný **Geminga**, je fakticky pozůstatkem po výbuchu supernovy, k němuž došlo před 340 tisíci lety ve vzdálenosti asi 100 světelných let od Země. Odhaduje se, že tehdejší supernova byla na pozemské obloze stejně jasná jako Měsíc v úplňku, a že za nějakých 10 tisíc let po optické explozi proletěla sluneční soustavou rázová vlna, která pozměnila strukturu meziplanetárního prostředí, ale Zemi samou nepoškodila.

Poškození atmosféry a následně ohrožení života na Zemi by způsobily teprve supernovy ve vzdálenosti pod 30 světelných let od Země. Do této vzdálenosti se dnes nenachází ani jeden kandidát výbuchu, a z faktu, že život na Zemi existuje, lze vyvodit, že pravděpodobnost takové exploze je nízká a srovnatelná s trváním Galaxie (řádově 10 miliard let). V závěru tohoto superkatastrofického odstavce uvádím pro srovnání stupnici některých pozemských a kosmických katastrof v krátké tabulce:

Katastrofický úkaz	Joulů
tornádo	10^{15}
výbuch sopky	10^{19}
souhrnný arsenál vodíkových pum nukleárních velmocí	$< 10^{20}$
srážka komety Shoemaker-Levy 9 s Jupiterem	10^{22}
dopad meteoritu Chicxulub (-65 milionů let)	10^{24}
velká sluneční erupce	10^{25}
zastavení rotace Země	10^{29}
náraz Praměsíce na Zemi	10^{32}
energie, potřebná k rozbití Země	10^{35}
výbuch novy	10^{38}
výbuch supernovy	10^{46}

7. Kosmické katastrofy vzdálené budoucnosti

Slunce je velmi ukázněnou hvězdou hlavní posloupnosti, jejíž zářivý výkon se v průběhu věků velmi zvolna leč plynule zvyšuje. Dnešní Slunce září asi o 30% více než v době svého vzniku. Navzdory tomu teplota zemského povrchu se téměř nezměnila, což zabezpečily odpovídající proměny chemického složení zemské atmosféry. Nicméně **homeostatická schopnost** zemské atmosféry má své meze a podle výpočtu I.-J. Sackmannové aj. z r. 1993 nastane krize asi po 1,1 miliardě let od současnosti, kdy zářivý výkon Slunce vzroste oproti dnešku o dalších 10%. To se projeví přehřátím zemského povrchu a vytvořením neprůhledné oblačné pokrývky Země. Za 3,5 miliardu let od současnosti dosáhne Slunce 140% dnešního zářivého výkonu s následným překotným skleníkovým efektem a vyhubením veškerého života na Zemi.

Konečně za 6,5 miliardy let od současnosti přejde Slunce z hlavní posloupnosti do stádia **červeného obra** při zářivém výkonu 220% dnešní svítivosti. Rozměry i výkon Slunce pak porostou přímo závratně - v krátké době dosáhne povrch Slunce poloměru dnešní dráhy Země a zářivý výkon dosáhne 2300násobku výkonu současného. V té době však hmotnost Slunce poklesne na nějakých 55% dnešní hodnoty, takže všechny planety se úměrně tomu vzdálí od Slunce. Dramatická stíhací jízda však skončí neblaze pro všechny planety počínaje Merkurem a konče Marsem - postupně se vypaří a případně stanou součástí atmosféry Slunce. Epizoda však potrvá jen desítky milionů let, načež Slunce odhodí svou atmosféru a obnaží své husté žhavé jádro v podobě tzv. **bílého trpaslíka**, jenž se asi za 100 miliard let změní v chladného, prakticky nezářícího, trpaslíka černého.

Tyto pozvolné leč dramatické události ohraničují existenci života a inteligence na Zemi. S ohledem na dostatečný časový předstih však není vyloučeno, že dostatečně *vědecky a technicky pokročilá civilizace se dokáže s těmito smrtelnými ohroženími vlastní existence přece jen vyrovnat.*