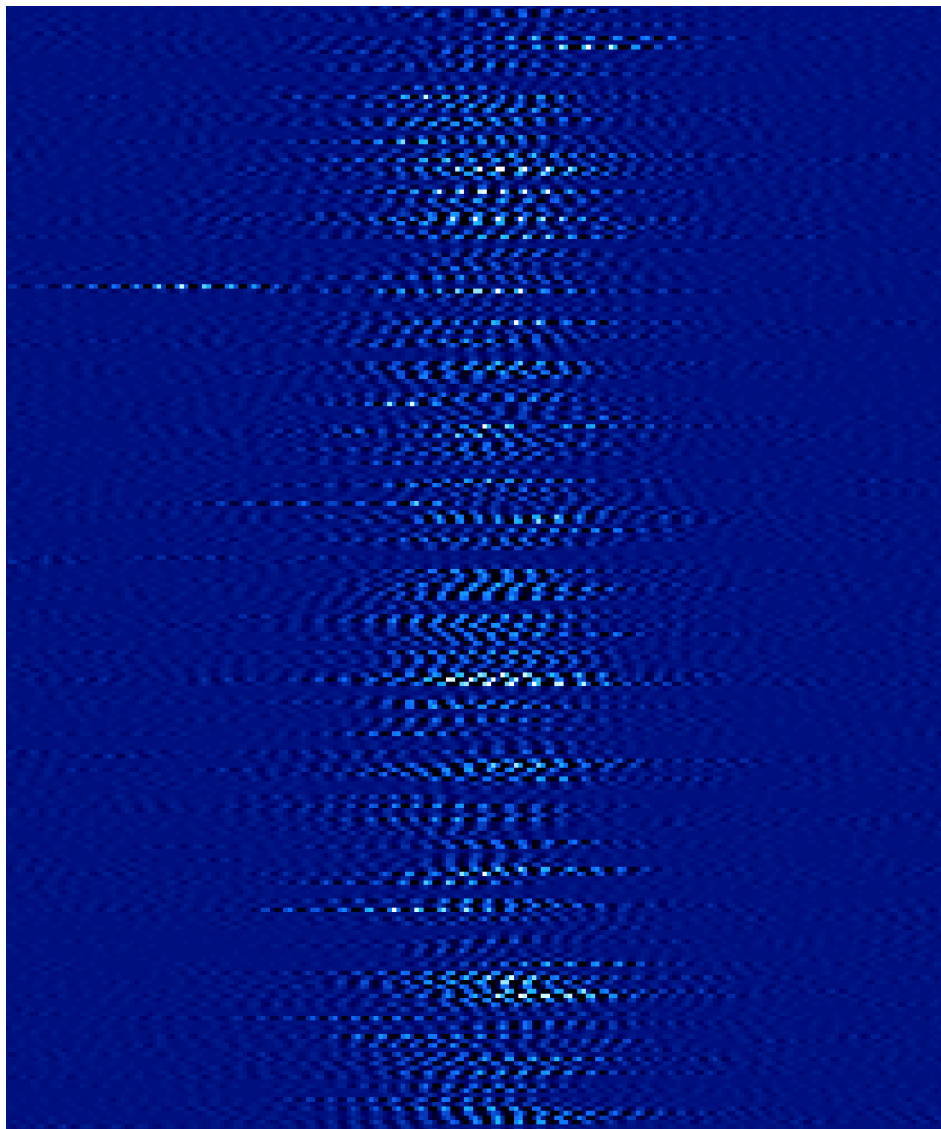


# POVĚTROŇ

Královéhradecký astronomický časopis \* ročník 24 \* číslo 2/2016



SLOVO ÚVODEM. Ve druhém čísle *Povětroně* rozebíráme jeden z nejdůležitějších astronomických přístrojů — optický interferometr, který vlastně umožňuje překonat difrakční limit platný pro jednotlivý dalekohled. Neznamená to ovšem, že v jeho ohniskové rovině vidíme rovnou ostřejší obraz objektu! Ve druhém pokračování *Dějin Alvarezovy teorie* se Vladimír Socha věnuje dějinám výzkumu dinosaurů, supernov a impaktů. Nakonec přinášíme krátkou zprávu z pozorování na Hvaru.

Miroslav Brož

## Obsah

strana

Miroslav Brož: <i>Optický interferometr</i> . . . . .	3
Vladimír Socha: <i>Dějiny Alvarezovy teorie (2)</i> . . . . .	10
Rostislav Brož: <i>Pozorování na Hvaru</i> . . . . .	20

**Titulní strana** — Interferometrické proužky pozorované VLTI. Na horizontální ose jsou zobrazeny pixely detektoru, na vertikální jednotlivé očíslované interferogramy. Interferogramy se pohybují vlevo ↔ vpravo kvůli seeingu. Převzato z Glindeman (2008). K článku na str. 3.

---

Povětroně 2/2016; Hradec Králové, 2016.

Vydala: **Astronomická společnost v Hradci Králové** (1. 10. 2016 na 308. setkání ASHK)

ve spolupráci s **Hvězdárnou a planetáriem v Hradci Králové**

vydání 1., 24 stran, náklad 100 ks; dvoměsíčník, MK ČR E 13366, ISSN 1213–659X

Redakce: Miroslav Brož, Miloš Boček, Martin Cholasta, Josef Kujal,

Martin Lehký, Lenka Trojanová a Miroslav Ouhrabka

Předplatné tištěné verze: vyřizuje redakce, cena 35,– Kč za číslo (včetně poštovního)

Adresa: ASHK, Národních mučedníků 256, Hradec Králové 8, 500 08; IČO: 64810828

e-mail: <[ashk@ashk.cz](mailto:ashk@ashk.cz)>, web: <<http://www.ashk.cz>>

Interferometrická měření vlastně vycházejí z Youngova experimentu (Young 1800), ve kterém máme bodový zdroj, dvě štěrbinové ve vzájemné vzdálenosti  $B$  a stínítko, na němž pozorujeme interferenční jev (proužky). Interferenci světla hvězdy ze dvou dalekohledů poprvé pozoroval Labeyrie (1975). Musíme také zmínit důležitý konstrukční vynález — zpožďovací dráhu (Merkle 1982), která vyrovnává vzájemné pohyby dalekohledů při otáčení Zeměkoule, jež by jinak neustále měnily interferenční jev. Nejdůležitějšími interferometry jsou dnes VLTI, NPOI a CHARA (obr. 1) (Millour 2008, Glindeman 2008).



**Obr. 1** — Dva ze šesti 1metrových dalekohledů interferometru CHARA na observatoři Mount Wilson. V dolní části snímku je vidět evakuovanou trubici, kterou je světlo vedeno ke zpožďovací dráze (vlevo, nezobrazena).

**Viditelnost.** V Youngově experimentu dopadá na zmiňovanou překážku rovinná monochromatická elektromagnetická vlna. Namísto jednotlivých složek polí  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{B}$  budeme používat bezrozměrný vzruch  $D$  (angl. disturbance) v komplexní notaci:

$$D(\mathbf{r}, t) = D_0 e^{-i(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r})} = D(\mathbf{r}) e^{-i\omega t},$$

kde  $\omega = \frac{2\pi c}{\lambda}$  označuje úhlovou frekvenci a  $\mathbf{k}$  vlnový vektor,  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ . Podle Huygensova principu spočteme vzruch na stínítku jako součet dvou kulových vln, šířících se z otvorů:

$$D(\mathbf{r}) = \frac{D_0}{r_1} e^{ikr_1} + \frac{D_0}{r_2} e^{ikr_2} = \frac{D_0}{z_1} e^{ik\frac{1}{2}(r_1+r_2)} 2 \cos[k\frac{1}{2}(r_1 - r_2)].$$

Nepozorujeme ovšem přímo  $D$ , nýbrž tok daný Poyntingovým vektorem  $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$ , který lze pro naše účely středovat, normalizovat a považovat za bezrozměrnou intenzitu:

$$I(\mathbf{r}) \equiv \langle DD^* \rangle = |D(\mathbf{r})|^2.$$

V místě odchýleném od osy překážky o úhel  $\alpha$  je pak:

$$I(\alpha) = |D(\alpha)|^2 = \frac{D_0}{z_1} 2\{1 + \cos[k(r_1 - r_2)]\} \doteq I_0\{1 + \cos[k\alpha B]\},$$

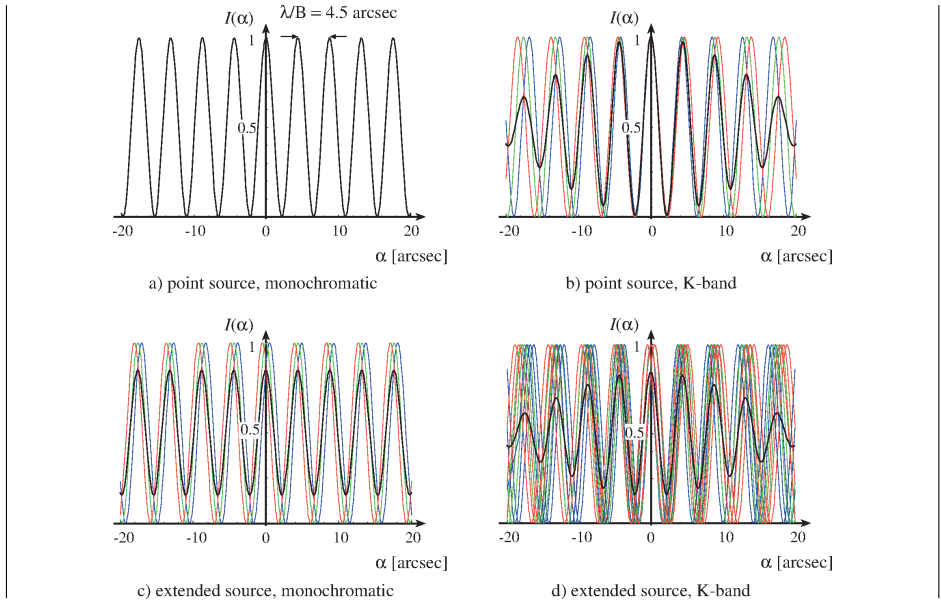
kde  $B$  označuje vzájemnou vzdálenost otvorů. Pokud navíc vlna sama dopadá na překážku pod úhlem  $\alpha'$ :

$$I(\alpha, \alpha') = I_0\{1 + \cos[k(\alpha + \alpha')B]\}.$$

Jako jednoslovný popis jevu se zavádí *viditelnost*, neboli kontrast interferenčních proužků:

$$\mathcal{V} \equiv \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}. \quad (1)$$

Protože zde  $I_{\min} = 0$ ,  $I_{\max} = 1$ , je  $\mathcal{V} = 1$ . Pro rozlehlý zdroj nebo polychromatické záření bývá ovšem viditelnost menší, protože přicházející vlny nejsou prostorově, respektive časově koherentní (viz obr. 2).



**Obr. 2** — Normalizovaná intenzita  $I(\alpha)$  interferenčního obrazce v Youngově experimentu — tzn. rovinná vlna dopadající na dvě štěrbinu — v závislosti na poloze na stínítku vyjádřené pomocí úhlu  $\alpha$ , a to pro čtyři případy: (a) monochromatické záření a bodový zdroj, (b) polychromatické záření (obor K,  $\lambda = (2,2 \pm 0,2) \mu\text{m}$ ), (c) plošný zdroj ( $\alpha' = 2'$ ), (d) plošný zdroj a polychromatické záření. Vidíme, že pro delší vlnové délky vycházejí proužky širší, takže se dál od středu (bílého

proužku) stávají nekoherentní s kratšími  $\lambda$  a viditelnost  $\mathcal{V}$  nutně klesá. Zároveň vidíme, že rovinné vlny přicházející pod různými úhly  $\alpha'$  vytvářejí posunuté proužky, tudíž  $\mathcal{V}$  klesá všude.  
Převzato z Glindeman (2008).

**Teorém van Citterta a Zernikeho.** Budeme-li přes rozlehlý zdroj (úhly  $\alpha'$ ) integrovat:

$$I(\alpha) = \int I(\alpha, \alpha') d\alpha' = \underbrace{\int I(\alpha') d\alpha'}_{= I_0} + \underbrace{\int I(\alpha') \cos[k(\alpha + \alpha')B] d\alpha'}_{= \Re[e^{ik\alpha B} \int I(\alpha') e^{ik\alpha' B} d\alpha']},$$

užijeme, že se vlastně jedná o reálnou část Fourierovy transformace rozložení intenzity zdroje  $I(\alpha')$ , násobené jakýmsi faktorem. Obecněji zapsáno:

$$I(\vec{\alpha}) = I_0 \left\{ 1 + \Re \left[ \mu(\vec{B}) e^{-ik\vec{\alpha} \cdot \vec{B}} \right] \right\},$$

kde komplexní *funkce viditelnosti*:

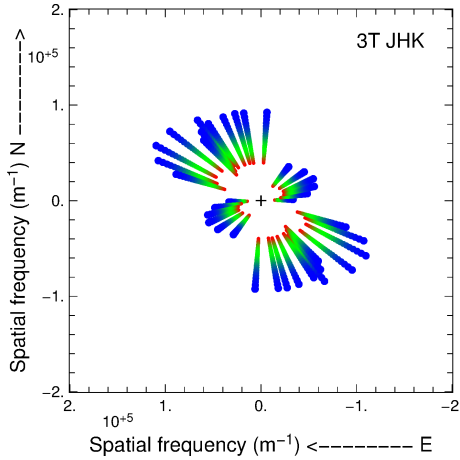
$$\mu(\vec{B}) \equiv \frac{\int I(\vec{\alpha}') e^{-ik\vec{\alpha}' \cdot \vec{B}} d\alpha'}{I_0},$$

tj. tvrzení teorému van Citterta a Zernikeho. Absolutní hodnota  $|\mu(\vec{B})|$  evidentně určuje viditelnost  $\mathcal{V}$  (tj. kontrast), kdežto příslušná fáze  $\phi(\vec{B})$  polohu „prostředního“ bílého proužku.

**Supersyntéza.** Pro dvojici dalekohledů (dané  $\vec{B}/\lambda \equiv (u, v)$ ) měříme jedno  $\mathcal{V}$  a výjimečně i  $\phi$  z polohy bílého proužku (obr. 5). Pro  $n$  dalekohledů bychom získali  $n(n-1)$  bodů; například pro  $n = 10$  to informačně odpovídá sotva 10 krát 9 pixelům, čili jakékoli zobrazení je nesmírně obtížné! Změny promítnuté délky základny interferometru a jeho orientace během otáčení Země — čili supersyntéza (obr.3) — nicméně v principu umožňují rekonstruovat „celé“ Fourierovo spektrum a naším úkolem by pak bylo provést *inverzní* Fourierovu transformaci.<sup>1</sup> Podotkněme, že zpoždovací dráha sice kompenzuje dráhové rozdíly vznikající při otáčení Země, ale nezabraňuje změnám  $(u, v)$ .

---

1. I pro samotné určení  $\mathcal{V}$  lze využívat Fourierovu transformaci interferogramu pozorovaného v ohniskové rovině, přičemž můžeme očekávat dvě dominantní prostorové frekvence — jednu od Airyho disku a druhou od proužků samotných; to ale pochopitelně *není* zmiňovaná inverzní FT.



**Obr. 3** — Pokrytí v rovině  $\vec{B}/\lambda \equiv (u,v)$ , při interferometrickém pozorování třemi dalekohledy ve třech spektrálních oborech po dobu několika hodin. Veličiny  $u, v$  jsou bezrozměrné (jde o počet cyklů na délku základny). Měřené viditelnosti  $\mathcal{V}$  (kontrasty proužků) zde nejsou znázorněny. Převzato z Millour (2008).

Souřadnice  $(u,v)$  jsou projekcí základny do roviny tečné k nebeské sféře, a to v místě objektu, který hodláme pozorovat interferometrem. Pro zvolenou dvojici dalekohledů si spočteme nejprve vektor  $(X,Y,Z)$ , čili rozdíl jejich geografických souřadnic, které ovšem odpovídají rovníkovým souřadnicím I. druhu. Bázové vektory nebeské roviny jsou:

$$\begin{aligned}\hat{u} &= (\sin t, \cos t, 0), \\ \hat{v} &= (-\cos t \sin \delta, \cos t \sin \delta, \cos \delta), \\ \hat{w} &= (\cos t \cos \delta, -\sin t \cos \delta, \sin \delta),\end{aligned}$$

kde  $t$  označuje aktuální hodinový úhel a  $\delta$  deklinaci. Projekce do směrů získáme jednoduše jako skalární součiny; zapsáno maticově:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ w \end{pmatrix} = \frac{1}{\lambda} \begin{pmatrix} \hat{u}_x & \hat{u}_y & \hat{u}_z \\ \hat{v}_x & \hat{v}_y & \hat{v}_z \\ \hat{w}_x & \hat{w}_y & \hat{w}_z \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}.$$

Anebo lze postupovat opačně, tzn. pro nějaké zvolené  $I(\vec{\alpha}')$  spočíst syntetické proužky a porovnat je s pozorovanými. I pro jednotlivá měření  $\mathcal{V}$  je pak možno fitovat jednoduché modely (viz obr. 4); např. pro triviální bodový zdroj ( $I = \delta(\vec{\alpha}')$ ):

$$\mu = 1,$$

pro dvojhvězdu ( $I = I_0[\delta(\vec{\alpha}') + I_{\text{rel}}\delta(\vec{\alpha}' - \vec{\alpha}_0)]$ ):

$$\mu(u,v) = \sqrt{\frac{1 + I_{\text{rel}}^2 + 2I_{\text{rel}} \cos[(u,v) \cdot \vec{\alpha}_0]}{1 + I_{\text{rel}}^2}},$$

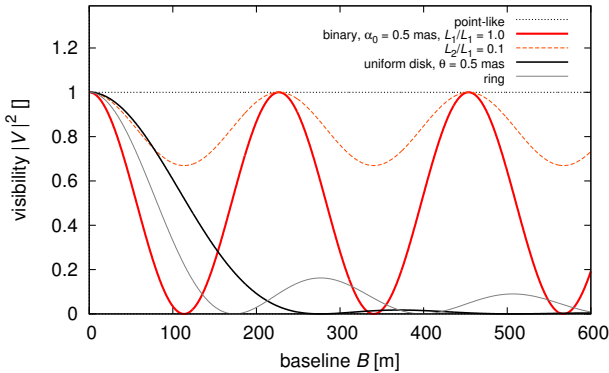
nebo rovnoměrný kotouček ( $I = 4/(\pi\theta^2)$  pro  $\alpha' < \theta/2$ , jinak 0):

$$\mu(u,v) = \frac{J_1(\pi\theta\sqrt{u^2 + v^2})}{\pi\theta\sqrt{u^2 + v^2}}.$$

Pro vícenásobné hvězdy sestávající z rovnoměrných kotoučků bychom komplexní čísla počítali (s příslušnými fázovými posuny):

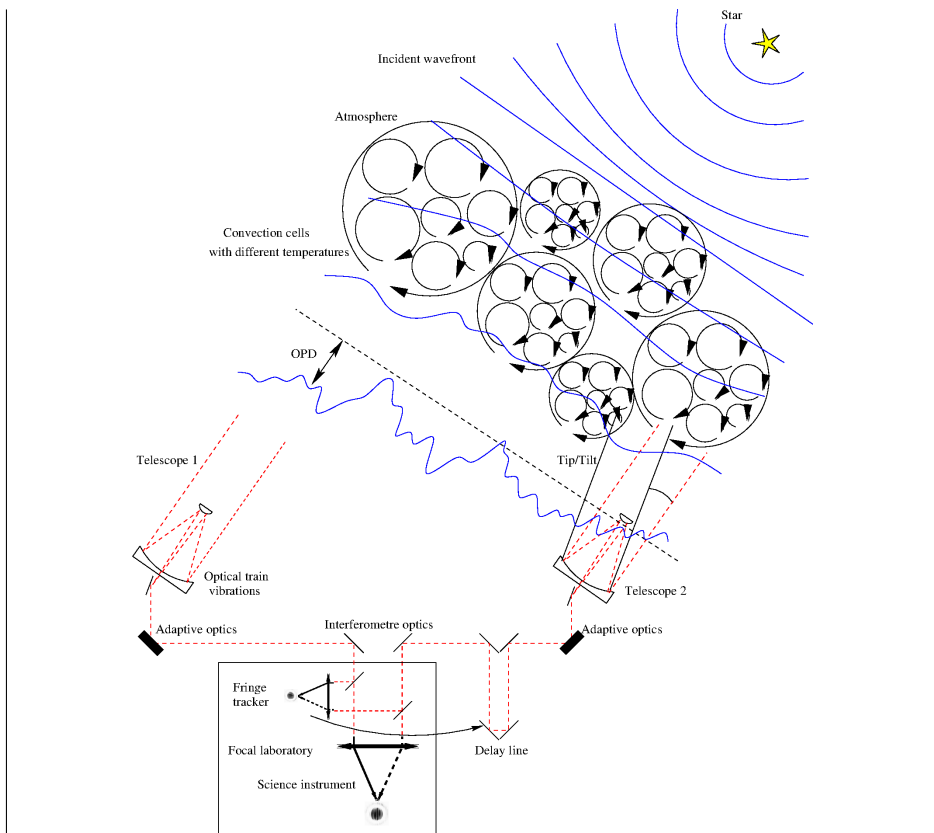
$$\mu(u,v) = \frac{1}{J_{\text{tot}}} \sum_j J_j \mu_j(u,v) e^{-2\pi i(u,v) \cdot \vec{\alpha}_j},$$

kde  $J_j$  označuje zářivost složky  $j$  v daném oboru  $\lambda \pm \Delta\lambda$ ,  $J_{\text{tot}} = \sum_j J_j$ .



**Obr. 4** — Závislost kvadrátu funkce viditelnosti  $|\mu(B)|^2$  na délce základny  $B$ , pro vlnovou délku  $\lambda = 550 \text{ nm}$  a různé zdroje: nudný bodový ( $\mathcal{V} = 1$ ), dvojhvězdu s úhlovou vzdáleností  $\alpha_0 = 0,5 \text{ mas}$  a stejnými složkami, dvojhvězdu s různými složkami ( $L_2/L_1 = 0,1$ ), rovnoměrný disk s úhlovými průměrem  $\theta = 0,5 \text{ mas}$ , prsteneček s tímž.

Při pozorování se samozřejmě nelze vyhnout difrakci na kruhových aperturách dalekohledů. V ohniskové rovině interferometru pak vidíme konvoluci proužků s *Airyho obrazcem*. Může se dokonce stát, že vidíme oddělené Airyho disky, pak nám je ale interferometr nanic, protože pro rozlišení zdrojů stačil samotný dalekohled. Zajímavé jsou pouze proužky v rámci jednoho disku, které mají  $0 < \mathcal{V} < 1$ .



**Obr. 5** — Konceptní schéma interferometru a jeho fungování: (i) v blízkém okolí hvězdy je vlnoplocha zprvu kulová, (ii) s rostoucí vzdáleností se stává téměř rovinnou, (iii) při průchodu turbulentní atmosférou je deformována, (iv) s určitým dráhovým rozdílem (OPD, angl. optical path difference) dopadá do dvou dalekohledů, (v) adaptivní optika kompenzuje chvění vzduchu pro každý dalekohled zvlášť; pro malé apertury, jejichž rozměr nepřesahuje typický rozměr koherentní oblasti atmosféry ( $\approx 15$  cm), lze použít jednodušší zařízení typu tip-and-tilt, (vi) zpořádovací dráha kompenzuje OPD působené otáčením Zeměkoule, (vii) sledovač proužků (angl. fringe tracker) kompenzuje pohyby proužků působené rozdílnou OPD v atmosféře mezi oběma dalekohledy, (viii) v ohniskové rovině se zobrazuje výsledný interferenční obrazec (tzn. proužky v rámci Airyho obrazce). Převzato z Millour (2008).

**Uzavírací fáze.** Nepříjemná omezení způsobuje také *seeing*. Proužky se neustále pohybují, takže při dlouhých expozicích ( $\gtrsim 10$  ms) by byly zcela rozmazané. Posuny se proto monitorují a kompenzují (viz odpoled polopropustnými zrcadly na obr. 5). Naneštěstí přitom obvykle ztrácíme informaci o fázi vln, avšak se třemi dalekohledy je možné vliv atmosféry potlačit pomocí techniky *uzavírací*



*fáze* (Jennison 1958): 3 dalekohledy znamenají 3 základny, součet fází i s náhodnými fluktuacemi je roven součtu původních neporušených fází,  $\tilde{\phi}_{12} + \tilde{\phi}_{23} + \tilde{\phi}_{31} = \phi_{12} + \Phi_1 - \Phi_2 + \phi_{23} + \Phi_2 - \Phi_3 + \phi_{31} + \Phi_3 - \Phi_1 = \phi_{12} + \phi_{23} + \phi_{31}$ .

Vzruch je na každém z dalekohledů pozměněn (Haniff 2006):

$$\tilde{D} = GD = |G| e^{i\Phi} D,$$

kde  $|G|$  označuje zisk dalekohledu, zohledňující mj. odrazivost zrcadla,  $\Phi$  fázový posun, ovlivněný seeingem, teplotní roztažností atd. Funkce viditelnosti je přitom  $\mu \propto D_1 D_2^*$ , čili skutečně měřená („roztvlněná“) funkce viditelnosti:

$$\tilde{\mu} = G_1 G_2^* \mu = |G_1| |G_2| e^{i(\Phi_1 - \Phi_2)} \mu.$$

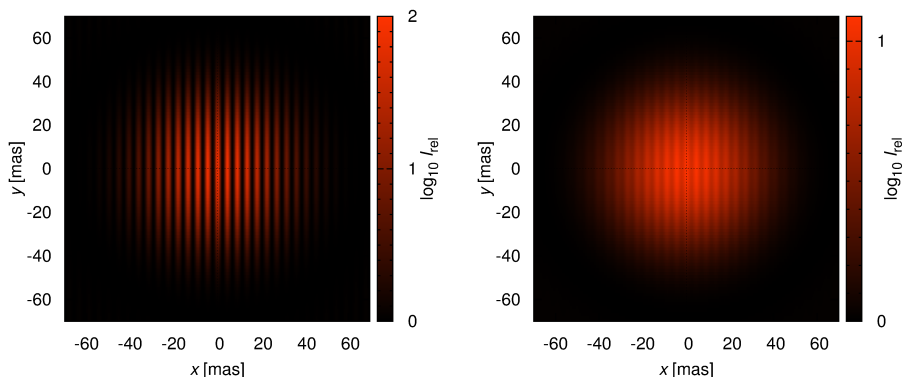
Amplituda je evidentně zmenšena, fáze kamsi posunuta. Definujeme-li však *trojný součin* (zvaný též bispektrum):

$$T_3 \equiv \mu_{12} \mu_{23} \mu_{31},$$

zjistíme úžasnou věc:

$$\begin{aligned} \tilde{T}_3 &= \tilde{\mu}_{12} \tilde{\mu}_{23} \tilde{\mu}_{31} = \\ &= |G_1| |G_2| e^{i(\Phi_1 - \Phi_2)} \mu_{12} |G_2| |G_3| e^{i(\Phi_2 - \Phi_3)} \mu_{23} |G_3| |G_1| e^{i(\Phi_3 - \Phi_1)} \mu_{31} = \\ &= |G_1|^2 |G_2|^2 |G_3|^2 \mu_{12} \mu_{23} \mu_{31}. \end{aligned}$$

Amplituda je sice zmenšena, ale fáze nikam *neposunuta*! Uzavírací fáze je pak  $\arg T_3$ .



**Obr. 6** — Teoretický vzhled proužků v interferometru VLTI, s průměrem zrcadel  $D = 8$  m, délkou základny  $B = 100$  m, při pozorování na vlnové délce  $\lambda = 2,2 \mu\text{m}$ . Zřetelný je Airyho disk o úhlovém poloměru  $1,22 \lambda/D = 69$  mas; další slabé Airyho prstýnky nejsou bohužel vidět, to by musela být škála logaritmická. Úhlové vzdálenosti (vertikálních) proužků jsou pro dané  $B$ ,  $\lambda$  *vždy* stejné,  $\lambda/B = 4,5$  mas, bez ohledu na povahu zdroje. Vlevo však uvažujeme úhlový průměr zdroje  $\theta = 1,0$  mas, viditelnost je pak  $\mathcal{V} = 0,94$ , vpravo  $\theta = 5,0$  mas,  $\mathcal{V} = 0,089$ .

- [1] GLINDEMAN, A. *Introduction to spatial interferometry*. ESO Garching, 2008.
- [2] LABEYRIE, A. *Interference fringes obtained on VEGA with two optical telescopes*. *Astrophys. J.*, **196**, 71–75, 1975.
- [3] MILLOUR, F. *All you ever wanted to know about optical long baseline stellar interferometry, but were too shy to ask your adviser*. Arxiv, 0804.2368v1, 2008.
- [4] YOUNG, T. *Outlines of experiments and inquiries respecting sound and light*. Phil. Trans., London, 1800.
- [5] JENNISON, R. C. *A phase sensitive interferometer technique for the measurement of the Fourier transforms of spatial brightness distributions of small angular extent*. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **118**, 276–284, 1958.

## Dějiny Alvarezovy teorie (2)

Vladimír Socha

### 2. Dějiny výzkumu zániku dinosaurů

\*

Zkameněliny dinosaurů znali zástupci různých kultur na několika kontinentech po celá předchozí tisíciletí.<sup>2</sup> Mezi nejznámější příklady patří místa uctívání fosilních stop nebo kostí, rozemílaných do léčivých prostředků v čínských apatykách. Pro vědu byli dinosauri objeveni **až na počátku 19. století**. Od okamžiku, kdy si lidé uvědomili, že tato rozmanitá skupina velkých tvorů zcela zmizela z povrchu naší planety, nás tato otázka láká a tříbí naši fantazii. Je prakticky jisté, že bez této dramatické události ve vývoji života na Zemi bychom tu nebyli. Dnes přitom víme, že dinosauri byli neuvěřitelně úspěšnou skupinou, která dominovala na souších naší planety po dobu nejméně 130 milionů let. Přesto nakonec vyhynuli a uvolnili místo svým evolučním potomkům ptákům, a zejména pak savcům.

Člověk má sklon považovat se za pána tvorstva a v tomto ohledu trochu dinosaury připomíná — pouze tu jsme nesrovnatelně kratší dobu než tu byli oni. I proto nás zajímá, které faktory vedly k jejich konečnému vyhynutí. Podobný osud by totiž v relativně nedaleké budoucnosti mohl potkat i nás, a to zde nepočítáme s možností, že se ke zkáze dopracujeme vlastním přičiněním. Názory a pohled na vyhynutí dinosaurů se s časem výrazně proměňoval a světlo světa spatřila nejedna neobvyklá teorie nebo bizarní přístup k problematice. Podívejme se v krátkosti na jednotlivé fáze výzkumu tohoto nanejvýš zajímavého fenoménu. Následující rozdělení publikoval roku 1990 britský paleontolog Michael J. Benton a v podstatě je dodnes respektováno.

---

2. DELAIR, J. B., SARJEANT, W. A. S. *The earliest discoveries of dinosaurs: the records re-examined*. *Proceedings of the Geologists' Association*, **113**, 185–197, 2002.

\*

Až do poloviny 19. věku bylo známo velmi málo dinosaurích fosilií a vědci ještě nerozeznali jedinečnost těch několika kamenných fragmentů. Teprve roku 1842 stanovil pro tehdy pouhé tři známé dinosaurí rody vědecký **název Dinosauria** britský badatel Richard Owen. Otázka vyhynutí však ještě nebyla nastolena. Jednak se tehdy prosazovala myšlenka uniformitarismu (tzn. postupného dlouhodobého vývoje bez výrazných zvrátů) a jednak se na dinosaury tehdy pohlíželo spíše jako na obdobu obřích ještěřů a varanů, čili ze současnosti známých tvorů, pouze obludně velkých.

Teprve posléze se začala objevovat myšlenka, že mnozí velcí obratlovci, jejichž fosilní pozůstatky byly objevovány po celém světě od východu Spojených států přes Irsko až po Sibiř, jsou **skutečně vyhynulá**, nikde se již nevyskytující stvoření. Francouzský badatel Georges Cuvier jako jeden z prvních prokázal, že nejen bizarní mořští plazi ichtyosauri nebo mosasauri, ale také mnohem povědomější pravěcí savci typu „irského veledaňka“ megalocera nebo mamuta již před dávnou dobou vyhynuli.<sup>3</sup> Cuvier sám razil názor, že celá živočišstva byla opakovaně smetena z povrchu zemského globálními katastrofami, z nichž poslední byla onou známou biblickou potopou světa.

Proti tomuto postoji se však postavil již zmíněný **uniformitarismus** (či aktualismus) britského geologa Charlese Lyella, který postuloval myšlenku, že všechny zvraty a změny se dají snadno vysvětlit pouhým dlouhodobým působením geologického času, a tudíž stejnými pochody, které můžeme pozorovat i dnes.<sup>4</sup> Na jeho učení ostatně navazoval i Charles Darwin se svou teorií **evoluce přírodním výběrem**.

Na přelomu 19. a 20. století začaly darwinismus částečně nahrazovat další směry, například **ortogeneze** nebo **finalismus**. Na rozdíl od „slepé“ síly přírodního výběru měl mít vývoj nějaký jasný směr, který obvykle vedl k postupnému zdokonalování a růstu složitosti. V tomto ohledu byli dinosauri interpretováni jako příliš velcí a tupí studenokrevní tvorové, kteří byli jednoduše předurčení k vyhynutí. Otázka jejich zániku tedy nebyla podstatná, případně se dala snadno a rychle odbýt.

---

3. RUDWICK, M. J. S. *Georges Cuvier, fossil bones, and geological catastrophes*. Univ. of Chicago Press, 1997. ISBN 0226731065.

4. WILSON, L. G. *Charles Lyell*. in Gillispie, C. C. *Dictionary of Scientific Biography*. VIII. Pennsylvania, Charles Scribner's Sons, 1973.

## 2.2 Vzestup zájmu o vyhynutí (1910–1970)

\*

V tomto období dochází k pomalému a nerovnoměrnému vzestupu zájmu o danou problematiku, jak lze vysledovat i z počtu příslušných publikací nebo studií.<sup>5</sup> Až zhruba do roku 1960 se však jedná o ojedinelé texty, které nevedly k počátku větší vědecké diskuze, jak ostatně krásně ukazuje i příklad první studie postulující dopad asteroidu coby původce katastrofy (de Laubenfels, 1956).

Počátkem minulého století se do popředí dostává myšlenka **rasové senescence** (stárnutí druhů), vycházející z chybného předpokladu, že nejen jedinci, ale i celé rasy, resp. druhy, mohou procházet stadiem úpadku a konečného vyhynutí. Dinosauři se svými často obřími rozměry a nadměrnými excesivními strukturami (rohy a límce ceratopsidů, hřbetní pláty stegosauridů apod.) byli často zmiňováni jako nejvýmluvnější příklady. Zastáncem těchto myšlenek byl například britský paleontolog Arthur Smith Woodward nebo německý šlechtic Ernst baron Stromer von Reichenbach.<sup>6</sup>

Přítrž těmto nesmyslným názorům učinila až **neodarwinistická syntéza** ve 30. a 40. letech 20. století, kdy se prokázalo, že takto předurčené stárnutí druhů neodpovídá biologické skutečnosti. V jistých pozměněných podobách se však kryptoortogeneze udržovala i v dalších desetiletích. Příkladem bylo nazírání na dinosauře jako na živoucí „omyly evoluce“ až do poslední čtvrtiny minulého století.

Objevují se i četné jiné názory. Maďarský aristokrat Franz Nopcsa například roku 1911 tvrdil, že sauropodi mohli vyhynout z důvodu „nadměrné potřeby ohromného množství chrupavky a kostní tkáně pro svůj gigantický růst.“ William Diller Matthew zase o deset let později spatřoval důvod v postupných topografických změnách zemského povrchu a současného nahrazování dinosaurů savci.<sup>7</sup>

Ve 20. letech se objevují i velmi progresivní myšlenky o drastické změně klimatu, pandemiích nemocí, výměně rostlinné skladby ekosystémů nebo o vlivu enormních sopečných erupcí. Pozornost se postupně odvracela od vnitřních příčin (nezpůsobilost k dalšímu vývoji, ať už způsobená čímkoliv) k **příčinám vnějším**. V této šedesátileté fázi výzkumu lze celkem najít přes 40 různých hypotéz, snažících se vyřešit záhadu dinosaurího vyhynutí. Ty vykazují skutečně pozoruhodné rozpětí, od dědičné slepoty a vrozené tuposti přes nadměrný nárůst sebevražedného chování až po působení slunečních skvrn. Naštěstí se již blížila nová fáze výzkumu.

---

5. Podle M. J. Bentona to bylo v průměru 1,8 publikace za rok v rozmezí let 1910–1959; 7,8 v rozmezí let 1960–1969 a již 15,2 v rozmezí let 1970–1979.

6. (<http://www.smithsonianmag.com/science-nature/the-way-of-the-dinosaur-17738241/>)

7. MATTHEW, W. D. *Climate and evolution*. Annals of the New York Academy of Sciences, **24**, 1, 171–318, 1915.

\*

## 2.3 Profesionální zájem (1970 až současnost)

\*

Paleontologové se v polovině 60. let začali zaměřovat na **ekologické aspekty** fauny posledních dinosaurích populací, zejména v souvrstvích Hell Creek, Scollard a Lance na západě severoamerického kontinentu.<sup>8</sup> Začaly vznikat první přehledy přeživších a naopak vyhynulých druhů na hranici K–Pg, pátralo se po chemických a fyzikálních stopách možných ekologických příčin. Velké hromadné vymírání na konci křídy, jehož datace se postupně ustálila na přibližně 65 milionech let, bylo nepopíratelné a dostalo se i do nadpisů vědeckých studií v renomovaných periodikách. Stále nicméně převažovaly hypotézy o změně klimatu, kolísání mořské hladiny nebo obměně vegetačního spektra, tedy vysvětlení čistě pozemského rázu.

Soupeřit začaly dva hlavní názorové proudy: **gradualistický** a **katastrofický**. První se dovolával pomalých změn a postupného vymírání, kdežto druhý operoval s možností, že dinosauri byli na konci křídy vyhubeni relativně rychle, a to prostřednictvím ekologické katastrofy, způsobené například erupcemi dekkánských sopek<sup>9</sup>, nebo dokonce příčinou mimozemskou, jako je výbuch blízké supernovy, případně dopad velké komety nebo asteroidu.

Postupně byla zamítnuta možnost **existence hvězdného průvodce** našeho Slunce, tak zvané Nemesis, která by způsobovala opakující se roj těles původem z Oortova oblaku a jejich dopady na Zemi. Velká vymírání totiž nejsou přesně periodická a vykazují podstatné odlišnosti.<sup>10</sup> Proto se dnes preferuje náhodný jev; pro supernovu nebo pro impaktní hypotézu však dlouho chyběl jasný *nezávislý* důkaz...

## 3. Preludium o výbuchu supernovy

\*

Jasná supernova, jakožto **vzácný astronomický úkaz**, vzniká jako poslední vývojová fáze některých hvězd nebo dvojhvězd. Závěr jejich života má podobu exploze, částečné nebo úplné destrukce hvězdy a jejího blízkého okolí. Na krátkou dobu se pozorovatelně jeví na obloze jako jasná „nová hvězda“, jejíž jasnost postupně během několika týdnů až měsíců slábně, až nakonec objekt přestane být viditelný. Je asi nepředstavitelné, jakou energii musí tato exploze uvolnit ( $10^{44}$  J), když nakrátko přezáří celou galaxii!

Že se jedná o relativně vzácný jev, dokazuje skutečnost, že za poslední tisíciletí byly pozorovány jen čtyři případy supernovy v Mléčné dráze viditelné pouhým okem. Poslední z nich byla slavná **Keplerova supernova** z roku 1604, která byla

8. ARCHIBALD, D., FASTOVSKY, D. *Dinosaur extinction*. in Weishampel, D. B., Dodson, P., Osmólska, H. *The Dinosauria*. Berkeley, Univ. of California Press, s. 672–684, 2004. ISBN 0520242092.

9. DUNCAN, R. A., PYLE, D. G. *Rapid eruption of the Deccan flood basalts at the Cretaceous/Tertiary boundary*. *Nature*, **333**, 6176, 841–843, 1988.

10. (<http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2011-060>)

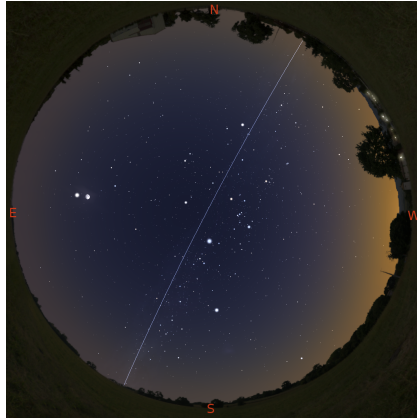
\*

na podzim toho roku dobře viditelná na denní obloze po dobu více než tři týdnů v souhvězdí Hadonoše.<sup>11</sup> Je nicméně jisté, že v průběhu minulých tisíciletí nebo dokonce milionů let geologického času byly supernovy ze Země pozorovatelné mnohokrát.

Na počátku 70. let vystoupil s hypotézou o „vraždicí“ supernově na konci křídy kanadský paleontolog Dale Russell (známý také jako spoluautor modelu dinosauroida).<sup>12</sup> Russell byl jedním z mála paleontologů, kteří brali vážně možnost mimozemské příčiny vymírání. Podle jeho názoru měla exploze blízké supernovy zaplavit Zemi **smrtícím vysokoenergetickým zářením**, kterému byli více vystaveni velcí živočišové jako dinosauři, zatímco menší tvorové (ptáci, obojživelníci, savci, ještěři apod.) se většinou dokázali schovat a období nejhoršího ozáření tak s určitými ztrátami přečkali. Russella nebrali příliš vážně jeho kolegové paleontologové, zato astronomové a astrofyzici našli v jeho myšlence zajímavý opěrný bod.

Roku 1972 publikovali dva kanadští astrofyzici V. A. Hughes a D. Routledge studii, v níž dokonce oznamují **objev pozůstatků po supernově** jakožto původci vymírání K–Pg.<sup>13</sup> Měl jím být velký plynový oblak, který se stále rozpíná rychlostí asi 6 km/s a jehož střed se nachází zhruba 900 světelných let od Slunce. Hlavní osa přibližně eliptického oblaku měla mít průměr asi 4 200 světelných let a hmotnost objektu činila asi tři miliony našich Sluncí. Následné výzkumy naznačovaly možnost, že jde o pozůstatek gigantické supernovy, která explodovala právě v době před asi 65 miliony let, na konci pozemského období křídy. Smrtonosné záření by se k Zemi dostalo jen necelých devět století po události, což je z geologického hlediska nepostřehnutelný okamžik. Pozůstatkem po supernově má být i **Gouldův pás**, zahrnující mladé jasné hvězdy (se stářími asi 30 až 50 milionů let). Ty tedy podle původního scénáře vznikly jako přímý důsledek supernovy.<sup>14</sup> Ačkoliv se exploze udála ve větší vzdálenosti, než jaká bývá považována za nebezpečnou, extrémní energie této kosmické události byla podle autorů tentokrát rozhodující.

- 
11. REYNOLDS, S. P., BORKOWSKI, K. J., HWANG, U., HUGHES, J. P., BADENES, C., LAMING, J. M., BLONDIN, J. M. *A deep Chandra observation of Kepler's supernova remnant: A type Ia event with circumstellar interaction.* *Astrophys. J.*, **668**, 2, L135–L138, 2007.
  12. RUSSELL, D., TUCKER, W. *Supernovae and the extinction of the dinosaurs.* *Nature*, **229**, 553–554, 1971.
  13. HUGHES, V. A., ROUTLEDGE, D. *Expanding ring of interstellar gas with center close to the Sun.* *Astron. J.*, **77**, 3, 210–214, 1972.
  14. Podle novější studie vznikl tento útvar asi před 30 miliony let kolizí oblasti temné hmoty s místním molekulárním oblakem. Podobné útvary už přitom byly pozorovány i v jiných galaxiích; BEKKI, K. *Dark impact and galactic star formation: origin of the Gould belt.* *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **398**, 1, L36–L40, 2009.



**Obr. 7** — Gouldův pás je patrný i pouhým okem, obzvláště na jaře večer při pohledu z rovníku. Jasně hvězdy z Býka, Oriona, Velkého psa, atd. se soustřeďují napravo od galaktického rovníku (tj. modrá linka). Jupiter a Měsíc vlevo se nepočítají. Snímek z programu Stellarium.

Muselo ovšem jít o nevídaně silnou supernovu; je otázka, jestli vůbec šlo o explozi masivní hvězdy. Prstenec šířícího se materiálu měl každopádně představovat jakousi „vlnu smrti“, která zaplavila naši planetu právě v inkriminované době a kromě úžasné podívané na noční i denní obloze měla vést k velkému vymírání. Od této odvážné hypotézy se ale postupně upustilo, a to zejména po pečlivém chemicko-fyzikálním rozboru sedimentů na hranici křída a paleogénu.

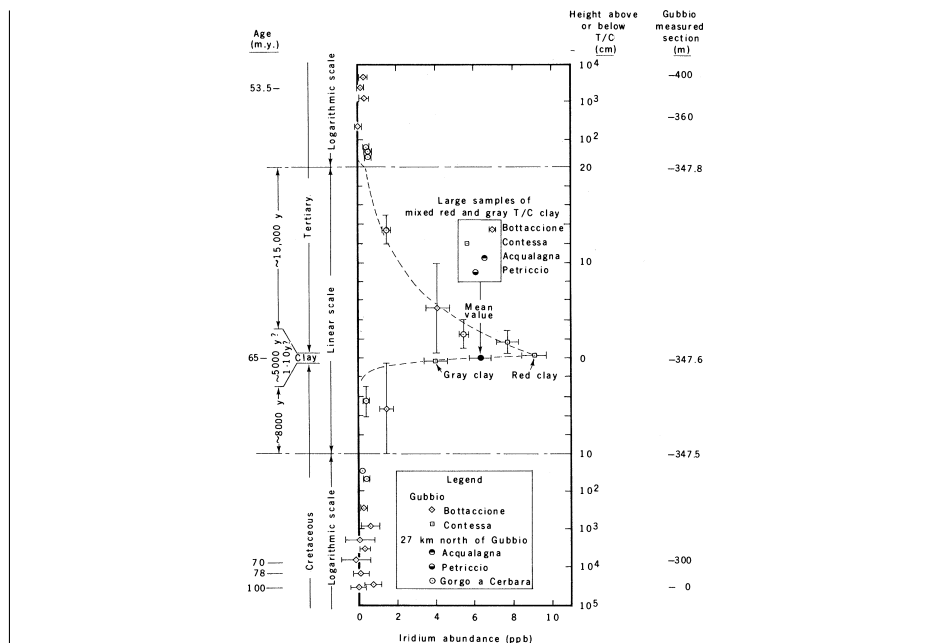
Když Walter Alvarez se svým týmem objevil neobvykle vysoký obsah iridia ve vzorku jílové vrstvičky z rozhraní K–Pg v italském Gubbiu, jejich první pracovní hypotézou byla právě supernova. Jeho otec Luis Alvarez navrhl, aby se pokusili pátrat po prvcích, které by exploze supernovy nepochybně v daných vrstvách uložila. Jedním z nejlepších ukazatelů takové události měl být **izotop plutonia  $\text{Pu}^{244}$** , s poločasem rozpadu kolem 80 milionů let. V Berkeley pak zaměřili svoji analýzu vzorku právě tímto směrem. Ačkoliv jejich extrémně citlivá a na poměry roku 1980 vyspělá technologie dokázala změřit i nepatrná množství daných prvků, po izotopu  $\text{Pu}^{244}$  nenašli sebemenší stopu. Krásná, byť poněkud znepokojující teorie se tak rozpadla jako domeček z karet.

Další průběh události už je dobře známý — Alvarezův kolega z Berkeley Chris McKee navrhl, že třicetinasobné navýšení obsahu iridia v hraniční vrstvě K–Pg mohl způsobit dopad planety, což otočilo pátrání tím správným směrem. Supernovy jsou zcela reálnou a dnes již poměrně dosti pochopenou událostí, ke které v rozsáhlém vesmíru dochází poměrně pravidelně a vlastně často. Dinosauři ani jejich další nešťastné současníky ale záření supernovy nejspíš nevyhubilo.

## 4. Impakt planety nebo komety

\*

Počátkem 80. let minulého století publikoval geofyzik Walter Alvarez teorii o dopadu asi 10km planety nebo komety na konci druhohorní éry před více než 65 miliony let. Jeho novým důkazem byla tenká tmavá **vrstvička** jílovitých usazenin příslušného stáří, **obohacená iridiem**, siderofilním kovem platinové skupiny. Asi 30 až 160krát vyšší obsah tohoto vzácného prvku oproti okolním vrstvám byl Alvarezovi a jeho týmu (v němž nechyběl ani jeho otec, držitel Nobelovy ceny za fyziku Luis Alvarez) velmi podezřelý. Obzvláště, když se takové zvýšení nacházelo na několika vzdálených místech Zeměkoule. Vysvětlili jej tak, že iridium se do této vrstvičky dostalo s kosmickým tělesem, v nichž se tento kov obvykle vyskytuje v mnohem větším množství než v samotné zemské kůře, která byla o všechny husté siderofilní prvky ochuzena v průběhu diferenciacce Země na jednotlivé slupky.



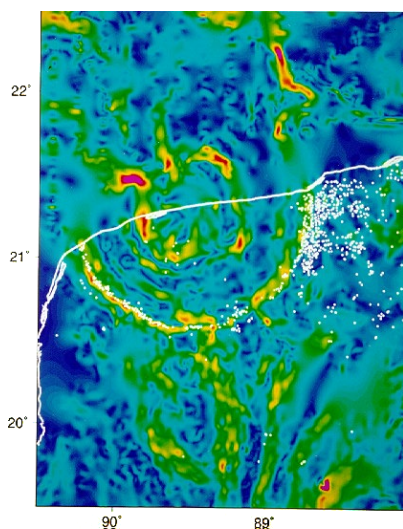
**Obr. 8** — Obsahu prvku iridia v mořských vápencových sedimentech u italského města Gubbio v jednotkách ppb (částic na miliardu, vodorovná osa) v závislosti na poloze vrstvy v centimetrech nad nebo pod rozhraním K–Pg (svislá osa). Další svislé osy vyznačují odpovídající nadmořskou výšku, geologické období a stáří. Vzorky byly nejprve rozpuštěny v kyselině dusičné HNO<sub>3</sub>, čímž se získalo nerozpustné reziduum. Relativní množství iridia pak bylo určeno pomocí neutronové aktivace vzorku a měřením následné rentgenové fluorescence radioaktivních atomů. Čtyři měření smíšených jíílů byly zprůměrovány, čímž se „opticky“ zmenšil rozptyl. Ve výšce sedimentu

\*



odpovídající přibližně stáří 65 milionů let vidíme neobvykle zvýšenou hodnotu obsahu iridia až 9 ppb, oproti hodnotám pozadí <1 ppb. Čárkovaná čára pouze naznačuje exponenciální průběh. Převzato z Alvarez aj. (1980).

Dopad tělesa vyvolal ohromnou explozi a uvolnil energii řádově  $10^{23}$  Joule  $\simeq 10^8$  megatun TNT. To podle Alvareze zavinilo *globální* ekologickou katastrofu, která vedla k vyhynutí neptačích dinosaurů, ptakoještěřů, mosasaurů, amonitů a mnoha dalších druhů v rámci známého eventů K–Pg, tedy masového vymírání z konce období křídý. Chyběl pouze impaktní kráter, který by se dal s touto událostí dobře ztotožnit. Dnes už jej známe. Byl dokonce odhalen již koncem 70. let americkým geofyzikem Glennem Penfieldem, mexická ropná společnost Pemex si však ze strategických a obchodních důvodů nepřála informace o podloží v Mexickém zálivu jakkoliv zveřejňovat. Čekalo se tedy až do počátku 90. let, kdy Alan Hildebrand spolu s Penfieldem zveřejnili svůj objev **impaktního kráteru Chicxulub** o průměru 180 km, ležícího zhruba kilometr pod povrchem cípu poloostrova Yucatán.<sup>15</sup>



**Obr. 9** — Horizontální mapa Bouguerovy gravitační anomálie  $g_B$  v okolí impaktní struktury Chicxulub (sever je nahore). Číselné osy po stranách značí geografické souřadnice, tedy s. š. a z. d. Bílá čára označuje pobřeží poloostrova Yucatán, pevnina se nachází směrem dolů od linie. Mapa byla vytvořena na základě měření gravitace státní naftařskou společností Petróleos Mexicanos na přelomu 40. a 50. let minulého století. Bílé body označují polohu cenot —

15. HILDEBRAND, A. R., PENFIELD, G. T., KRING, D. A., PILKINGTON, M., ZANOQUERA, A. C., JACOBSEN, S. B., BOYNTON, W. V. *Chicxulub crater; a possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatan Peninsula, Mexico*. *Geology*, **19**, 9, 867–871, 1991.

zatopených jam, vytvořených při poklesu terénu u obvodu někdejšího kráterového valu. Hodnota  $g_B = g_{\text{obs}} - g_\phi + \delta g_f - \delta g_B + \delta g_t$ , kde  $g_{\text{obs}}$  označuje pozorované gravitační zrychlení,  $g_\phi$  standardní zrychlení na dané zeměpisné šířce,  $\delta g_f$  opravu o nadmořskou výšku,  $\delta g_B$  Bouguerovu opravu o přitažlivost hornin nad 0 m.n.m.,  $\delta g_t$  opravu o zakřivení terénu. Převzato z (<http://www.uqac.ca/miac/chicxulub.htm>).

Byl to ale skutečně Alvarez, kdo jako první přišel s promyšlenou teorií o zániku dinosaurů vinou dopadu tělesa z vesmíru? Nikoliv, předběhl ho o čtvrt století jistý paleontolog, který je dnes veřejnosti téměř neznámý.

Tím mužem byl **Max Walker de Laubenfels** (1894–1960) z Oregonské státní univerzity, který koncem roku 1955 sepsal práci s názvem *Dinosaur extinction: One more hypothesis* (Vyhynutí dinosaurů: Ještě jedna hypotéza).<sup>16</sup> Byla publikována roku 1956 v uznávaném periodiku *Journal of Paleontology*. Inspirací k sepsání této teze byl mj. průlet planety Hermes ve vzdálenosti pouhého 1,6násobku průměru vzdálenosti Země a Měsíce (zhruba 620 000 km) v letech 1937 a 1941. De Laubenfels se v ní nejdříve odvolává na známý případ exploze vesmírného tělesa nad řekou Podkamennou Tunguskou 30. června roku 1908, přičemž poukazuje na jeho sílu i možné destruktivní účinky. Poté si všímá jednotlivých skupin organismů, jejich přežití či vyhynutí a důsledků této selektivity (výběrovosti) hromadného vymírání na konci křídly. Následně přidává onu „hypotézu navíc“, kterou přispívá k dosavadním konceptům tohoto posledního masového vymírání z tzv. Velké pětice — **nebezpečné zvýšení teploty**, které dopad vesmírného tělesa mohl vyvolat. To podle jeho názoru přežili jen živočichové schopní najít úkryt ve vodě nebo v zemi, jako jsou například želvy a krokodýlové, nikoliv ale (neptačí) dinosauri. Podle de Laubenfelse mohl asteroid nebo kometa vytvořit tak silnou žárovou vlnu, že měla dost energie na oběhnutí celé planety a zničení života na velké části jeho povrchu. Podobně jako později Alvarez a jeho následovníci předpokládal, že přežít mohli jen menší a vysoce přizpůsobiví živočichové. Ačkoliv dnes známe fyzikální okolnosti dopadu podstatně lépe, než mohl de Laubenfels před šesti desetiletími vůbec tušit, nemalé množství jeho tehdejších vývodů dnes paleontologové i astronomové a fyzici stále považují za pravděpodobné.

Bezpochyby je zajímavé pátrat i po **materském tělese** hypotetického asteroidu Chicxulub. Jakmile se v 80. letech potvrdilo, že na konci křídly k mohutnému impaktu skutečně došlo, zpozorněli nejen paleontologové a geologové, nýbrž i astronomové, kteří obecně přistupovali k mimozemské variantě příčin vyhynutí mnohem vstřícněji. Bylo jasné, že zhruba 10km těleso, o kterém mluvil Alvarezův tým,

---

16. Je ovšem pravda, že ještě o tři roky dříve (1953) přišli s podobným tvrzením také geologové Allan O. Kelly a Frank Dacheille. Německý paleontolog Otto Schindewolf zase roku 1955 argumentuje explozí supernovy.

muselo přiletět odkudsi z blízkého vesmírného okolí, nejspíše pak z oblasti **hlavního pásu asteroidů**. Tento spíše pomyslný pás mezi planetami Marsem a Jupiterem se nachází v průměrné vzdálenosti 2 až 4 astronomických jednotek od Slunce a obsahuje přes 6 000 asteroidů větších než 10 km. Pozornost se tedy obrátila tímto směrem. Možný původce impaktoru Chicxulub však dlouho unikal zvědavým objektivům pozemských teleskopů. Ne že by jej nešlo objevit a pozorovat, nebylo však o co se při hledání opřít.

Zásadní průlom učinili až W. F. Bottke, D. Vokrouhlický a D. Nesvorný v roce 2007. Jejich článek v periodiku Nature vzbudil zaslouženou pozornost.<sup>17</sup> Bottke s kolegy analyzovali **rodinu asteroidů Baptistina** a přitom vytvořili model rozpadu jejího mateřského tělesa, které mělo původně rozměr asi 170 kilometrů. Zhruba před 160 miliony let ( $\pm 30$  Myr) došlo k mohutné srážce s asi 60 km projektilem, při které se těleso roztržilo, částečně reakumulovalo a uvolněné úlomky se staly samostatnými asteroidy. Ty na nestabilních drahách byly postupně vysílány do vnitřních částí sluneční soustavy, kde se po relativně dlouhé době ( $\approx 100$  Myr) srážely s planetami a jejich měsíci (vlastně spíše jen naším Měsícem). Fragmenty o velikosti kolem 10 kilometrů mohly při dopadu na Zemi vyvolat hromadné vymírání. Dle Bottkeho aj. byla pravděpodobnost, že právě z tohoto zdroje pochází impaktor Chicxulub, větší než 90 %. Vysvětluje se tím také anomálie ve statistickém záznamu potvrzených dopadů v průběhu celých posledních 3 miliard let, kdy paradoxně pozorujeme jistý nárůst v poslední zhruba stovce milionů let. Dokonce i chemický rozbor mikroskopických částic v sedimentech v místě dopadu nasvědčoval, že těleso obsahovalo relativně velké množství uhlíku, což bylo v souladu s taxonomickou klasifikací C asteroidu (298) Baptistina.

Pak ale přišel zlom v podobě nového výzkumu infračerveným kosmickým teleskopem **WISE** (Wide-field Infrared Survey Explorer), který byl na oběžnou dráhu kolem Země vypuštěn v prosinci roku 2009. O dva roky později byla analyzována data z tohoto výkonného dalekohledu a zjistilo se, že Baptistina má podstatně **větší albedo** ( $p_V = 0,21$  namísto předpokládaného 0,05), čili je podstatně menší, stejně jako ostatní členy rodiny.<sup>18</sup> Negravitační Jarkovského zrychlení pak na ně působí výrazněji (úměrně  $1/R$ ). Zmiňovaná srážka se odehrála spíše před 80 miliony let, což je pro asteroid Chicxulub příliš málo. Pravděpodobnost, že se za zhruba 15 milionů let dostane na kolizní dráhu se Zemí je bohužel podstatně menší. Z nadějného pokroku jsme se tak opět ocitli v bodě nula.

---

17. BOTTKE, W. F., VOKROUHICKÝ, D., NESVORNÝ, D. *An asteroid breakup 160 Myr ago as the probable source of the K/T impactor*. Nature, **449**, 7158, 48–53, 2007.

18. REDDY, V. A. J. *Composition of 298 Baptistina: Implications for K–T impactor link*. Asteroids, Comets, Meteors conference, 2008.

Ve vnitřním hlavním pásu se však nachází vícero rodin asteroidů. Jedním z kandidátů by mohla být velká **rodina Flora**, která zřejmě vznikla před více než sto miliony let. Největším zástupcem je planetka (8) Flora s rozměry zhruba  $140 \times 140 \times 120$  km. Až budoucnost ale ukáže, zda bude tentokrát podezření nezávisle potvrzeno, nebo půjde opět o krok vedle.

POKRAČOVÁNÍ

## Pozorování na Hvaru

Rostislav Brož

Letadlem Boeing 737 jsme přiletěli na letiště ve Splitu. Tam jsme pozorovali širé moře, pak jsme se trajektem plavili na ostrov Hvar. Při plavbě jsme viděli útes v moři. Když jsme přijeli na ostrov, bylo velké vedro. Viděli jsme tam dlouhé kamenité pláže, prošli jsme malým historickým městečkem se jménem Hvar. Museli jsme vyšplhat na strmý kopec, kde stála napoleonská pevnost. Večer se nám nabízel daleký výhled na Itálii a viděli jsme krásný západ slunce.

Každou noc jsme chodili do útulné kopule a v ní byl docela velký dalekohled. Měl jsem na starosti nastavování hvězd do clonky. Na obloze byla dobře vidět Mléčná dráha. Noc byla dlouhá a někdy foukal do kopule strašný vítr. V jeden den jsme si půjčili malou lodičku, se kterou jsme objeli Paklenské ostrovy. Byli jsme tam 3 týdny.

