

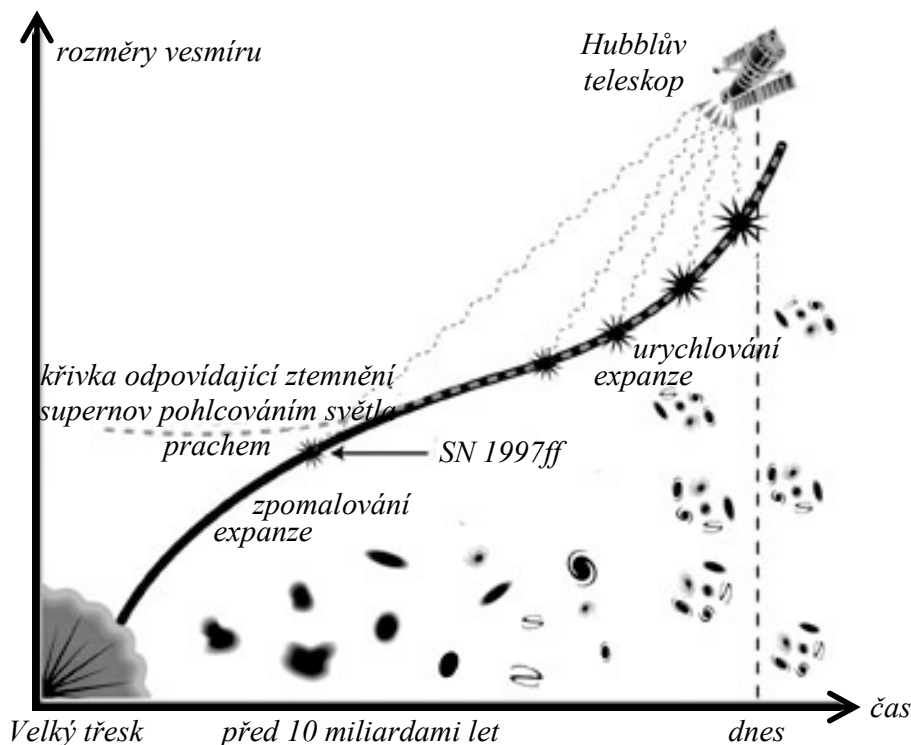
Astronomické novinky 19

Miroslav Randa*, Pedagogická fakulta ZČU, Plzeň

Kosmologie

Když jsem před třemi roky psal o pozorování dosud nejvzdálenější pozorované supernovy 1997ff [1] a o tom, že z jejího pozorování kosmologové odvozují, že se nacházíme ve vesmíru, jehož **rozpínání se zrychluje**, měl jsem obavy, že jde jen o „kosmologický folklór“ a že tato šílená myšlenka snad ani nemůže přežít další objevy. Proto jsem se vyjadřoval velmi opatrně. Kupodivu však tato teorie přežila, a dokonce byla potvrzena dalšími pozorováními. Proto se musím k supernově 1997ff nyní vrátit.

Supernova 1997ff je **typu Ia**. Takové supernovy jsou velmi krátké epizody ve vývoji těsných dvojhvězd, jejichž jednou složkou je bílý trpaslík a druhou červený obr, případně hvězda hlavní posloupnosti. Hmotu v obálce obra je slabě vázaná a často přetéká na povrch bílého trpaslíka. Když hmotnost bílého trpaslíka vzroste nad Chandrasekharovu mez (1,44násobek hmotnosti Slunce), dojde k výbuchu supernovy typu Ia a mnohonásobnému zjasnění hvězdy. Protože supernovy vybuchují při stejné hmotnosti, mají v maximu všechny stejný zářivý výkon. Hodí se proto k určování vzdálenosti galaxií, v nichž vybuchly. Díky velkému zářivému výkonu se hodí i k určování vzdáleností velmi vzdálených galaxií, které pozorujeme v době, kdy z nich vylétlo světlo, tedy v mnoha případech v době, kdy byl vesmír i několikrát mladší, než dnes. Nejvzdálenější supernovy zaregistroval v uplynulých letech Hubbleův kosmický dalekohled HST (Hubble Space Telescope) díky dlouhodobému sledování oblasti v souhvězdí Velké medvědice (Hubble Deep Field – Hubbleova hluboká oblast). Při následném pozorování téže oblasti (a odečtení původního snímku) se z pozadí snímku vynořilo několik jasných bodů – vzdálených supernov.



* randam@kof.zcu.cz

Na předchozím obrázku je znázorněna současná představa o rozpínání vesmíru podle pozorování supernovy 1997ff. Obrázek jsem převzal z [2] a upravil. Po velkém třesku se vesmír rozpínal a jeho rozpínání brzdilo gravitační působení mezi normální hmotou (z atomů) a **skrytou hmotou** (jejíž podstata není známa, i když existenci skryté hmoty v galaxiích a kupách galaxií předpověděl již ve 30. letech minulého století F. Zwicky). Zhruba v polovině dnešního stáří vesmíru byla zpomalená expanze nahrazena expanzí zrychlenou, za níž je zodpovědná hmota nazývaná **skrytá energie**. Na křivce jsou vyznačeny supernovy pozorované Hubblovým teleskopem koncem minulého století. Když byly objeveny supernovy ležící „blízko nás“ (na křivce vpravo nahoře), jejichž poloha na křivce naznačovala zrychlené rozpínání vesmíru, domnívali se astronomové, že přirozenější vysvětlení je zachovat tehdejší představu o zpomalování expanze vesmíru a vysvětlit polohu supernov předpokladem o ztemnění vzdálenějších supernov pohlcováním světla kosmickým prachem.

Této hypotéze ale neodpovídá pozorování supernovy SN 1997ff: ta by musela být mnohem temnější (ležela by na křivce, která je v grafu vyznačena čárkovaně). Proto nakonec převládla **představa zrychlené expanze vesmíru**. Výhodou současné teorie je rovněž to, že vysvětlila jednoduše i další paradox: stáří vesmíru vycházelo podle současného tempa rozpínání (Hubbleova konstanta) a plochosti vesmíru na zhruba 10 miliard let; přitom stáří kulových hvězdokup, které se ve vesmíru vyskytují, bylo určeno na (14 ± 2) miliard let a kosmologové neuměli rozumně vysvětlit, jak součásti vesmíru mohou být starší než vesmír samotný.

Jalší supernovy ve velkých vzdálenostech, pozorované Hubblovým teleskopem v roce 2002 (SN 2002dc a SN 2002dd) potvrdily novou kosmologickou teorii zrychleného rozpínání vesmíru. Usedly díky svému stáří 5 a 8 miliard let na křivku na grafu na předchozí straně mezi SN1997ff a čtyři supernovy pozorované v menších vzdálenostech od nás.

Objev zrychlování expanze vesmíru podpořila také sada **měření reliktního záření** sondou **WMAP** (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe – Wilkinsonova sonda pro detekci reliktního záření). Sonda proměřila mikrovlnné záření ze všech míst oblohy, které se od hmoty oddělilo, když byl vesmír horký zhruba 3 000 K.

Právě objev **reliktního záření** v polovině šedesátých let minulého století rozhodl o správnosti teorie horkého počátku vesmíru (teorie velkého třesku), protože reliktní záření bylo touto teorií předpovězeno. Reliktním bylo nazváno proto, že ve vesmíru zbylo po rané horké fázi. V této fázi vývoje vesmíru záření interagovalo s ostatními částicemi, ale po ochlazení vesmíru pod 3 000 K už energie záření nepostačovala k rozbíjení svazků jader s elektrony, a tak ve vesmíru začaly vznikat ionty a později i neutrální atomy. Záření se už od té doby na hmotě nerozptyluje, a tak je otiskem stavu vesmíru v době 380 000 let po velkém třesku (tato zpřesněná hodnota je dalším výsledkem ondy WMAP).

Z rozboru reliktního záření získaného sondou WMAP astronomové dokázali **zpřesnit stáří vesmíru** na $(13,7 \pm 0,2)$ miliard let a určili, že vesmír se skládá z $(4,4 \pm 0,4) \%$ „normální“ (přesněji baryonní) hmoty, $(23 \pm 4) \%$ skryté hmoty a ze $(73 \pm 4) \%$ skryté energie. Dále byla zpřesněna hodnota Hubbleovy konstanty na $(71 \pm 4) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ a bylo potvrzeno, že vesmír prošel v raném období vývoje inflační fází expanze. Překvapivě brzy se ve vesmíru objevily první hvězdy: již v době mezi 100 a 400 miliony let.

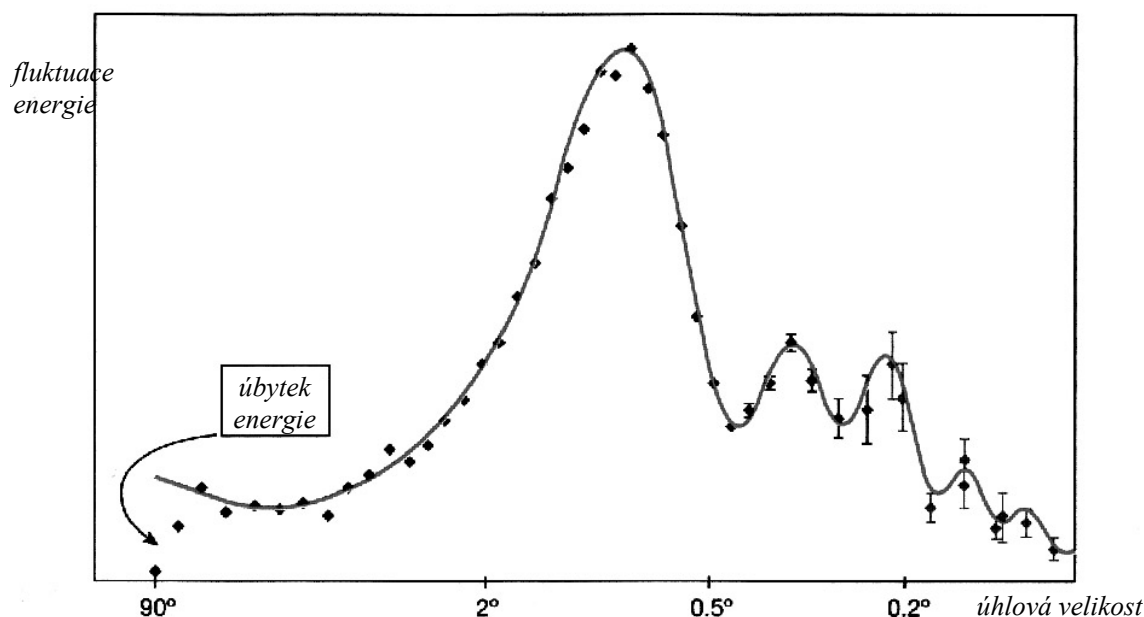
Z úhlového spektra reliktního záření (závislost energie reliktního záření na velikosti úhlového rozměru oblasti) pořízeného s rozlišením pouhých $10'$ (viz obrázek na následující straně podle [3]) astronomové očekávali odpovědi na **základní kosmologické otázky**.

První otázka se týká zakřivení vesmíru. V závislosti na hodnotě hustotního parametru Ω_0 na ni existují tři možné odpovědi: je-li $\Omega_0 = 1$, pak je hustota hmoty ve vesmíru rovna

kritické hustotě $\rho_{krit} = 10^{-26} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, prostor odpovídá euklidovskému prostoru, v němž je součet úhlů v trojúhelníku 180° a rovnoběžky zůstávají stále rovnoběžkami ve stejné vzdálenosti od sebe. Takový vesmír se obvykle nazývá **plochý** (případně euklidovský, či kritický). V případě $\Omega_0 < 1$ je hustota hmoty ve vesmíru menší, než kritická hustota, prostor odpovídá sedlové ploše, na níž je součet úhlů v trojúhelníku menší než 180° a původně rovnoběžné čáry se od sebe vzdalují. Takový vesmír se nazývá **záporně zakřivený** (případně vesmír se zápornou křivostí). Konečně jestliže je $\Omega_0 > 1$, pak je hustota hmoty ve vesmíru větší než kritická hustota, prostor odpovídá povrchu koule, v němž je součet úhlů v trojúhelníku větší než 180° a původně rovnoběžné čáry se k sobě přibližují. Takový vesmír se nazývá **kladně zakřivený** (případně vesmír s kladnou křivostí). Podle sondy WMAP je $\Omega_0 = 1,02 \pm 0,02$, všechny tři možnosti leží v rozmezí chyby, a tak si na zodpovězení této otázky musíme ještě počkat.

Druhá otázka zkoumá prostorovou konečnost či nekonečnost vesmíru. V případě prostorové konečnosti vesmíru mluvíme o **uzavřeném** vesmíru, v opačném případě o vesmíru **otevřeném**. Odpověď na tuto otázku byla ještě před novými objevy zmíněnými v tomto článku spojována s odpovědí na první otázku. V souvislosti s objevem zrychlené expanze vesmíru však získala nový význam a s první otázkou nesouvisí. Jen v případě kladně zakřiveného vesmíru je vesmír uzavřený. Všechny ostatní možnosti však zůstávají možné.

Třetí otázka se zabývá topologií vesmíru. Ani na tuto otázku však sonda nepřinesla jednoznačnou odpověď.

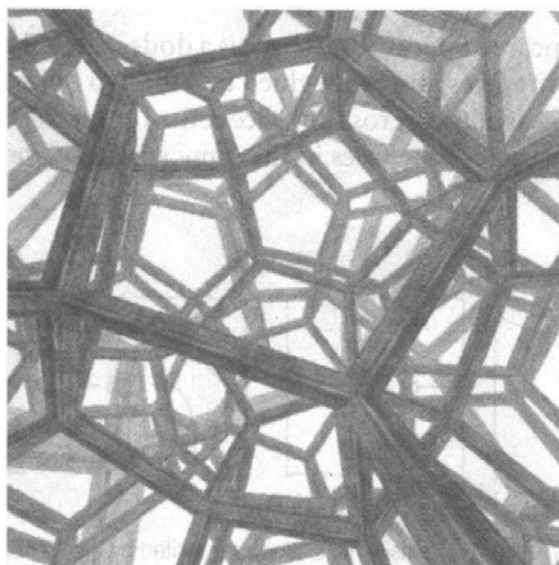


Zajímavý závěr odvodil z výsledků sondy WMAP francouzský kosmolog Jean-Pierre Luminet se svými spolupracovníky. Všiml si na grafu úhlového spektra reliktního záření **poklesu energie pro velké úhly** (větší než 60°). Tento fakt odpovídá tomu, že se ve vesmíru 380 000 let po velkém třesku nenacházely dostatečně velké nehomogenity. Pokusil se tento nesoulad s teoretickým modelem vývoje vesmíru interpretovat naprosto netradičně a jeho myšlenka se stala v loňském podzimu předmětem nadšených ohlasů a ještě častěji kritických poznámek.

Luminet vysvětlil pokles energie pro velké úhly tím, že vesmír je příliš malý, a proto nemůže obsahovat velké nehomogenity. Jeho **vesmír** je tedy docela malý, jeho současný průměr je 70 miliard světelných let (dnešními astronomickými přístroji lze dohlédnout do vzdálenosti

přibližně 12 miliard světelných let), je kladně zakřivený, a tedy uzavřený. Luminet se spolupracovníky se pokusili odpovědět i na třetí základní otázku a došli matematicky k překvapivé topologii odpovídající hodnotě $\Omega_0 = 1,013$.

Podle článku v časopisu Nature [4] si představují vesmír jako Poincarého nadkouli vnořenou do čtyřrozměrného prostoru. To si ovšem dovede představit jen málokdo: proto byl článek doplněn obrázkem **trojrozměrného dvanáctistěnu** (složeného z dvanácti pravidelných pětiúhelníků), poněkud nafouknutého, aby se jeho tvar blížil kouli. Luminet se domnívá, že náš vesmír se skládá ze 120 takových útvarů uspořádaných těsně vedle sebe. Díky uzavřenému vesmíru bychom však mohli teoreticky pozorovat nekonečnou síť takových dvanáctistěnů.



I když Luminetova myšlenka vypadá dost šíleně, je otázkou, zda je tak šílená, aby mohla být i pravdivá, nebo zda jde o myšlenku, která bude mít jen jepičí život. To nám pomohou rozhodnout následující roky. Luminetův tým totiž nabízí hned dvě **testovatelné předpovědi**: první předpověď je ověření hodnoty konstanty Ω_0 ; podle druhé předpovědi bychom měli na různých místech oblohy pozorovat ve spektru reliktního záření šest dvojic kruhových struktur o úhlovém poloměru 35° , které zatím marně hledají američtí kosmologové pod vedením Davida Spergela.

Vzhledem k tomu, že vše je založeno jen na předběžných výsledcích sondy WMAP pořízených v průběhu prvního roku, můžeme se těšit

na výsledky z dalších snímků reliktního záření. Zároveň se očekávají další významné objevy i od přístrojů sondy Planck, která se má do vesmíru vypravit již v roce 2007.

Literatura:

- [1] Randa M.: *Astronomické novinky 16*. Školská fyzika **VII**, č. 1 (2001), 59.
- [2] <<http://hubble.stsci.edu/newscenter/newsdesk/archive/releases/2001/09/>> *HubbleSite: Blast from the Past: Farthest Supernova Ever Seen Sheds Light on Dark Universe* (anglicky).
- [3] Ellis G. F. R.: *The shape of the Universe*. Nature 425, 9. 10. 2003, 566.
- [4] Luminet J.-P. a kol.: *Dodecahedral space topology as an explanation for weak wide-angle temperature correlations in the cosmic microwave background*. Nature 425, 9. 10. 2003, 593.