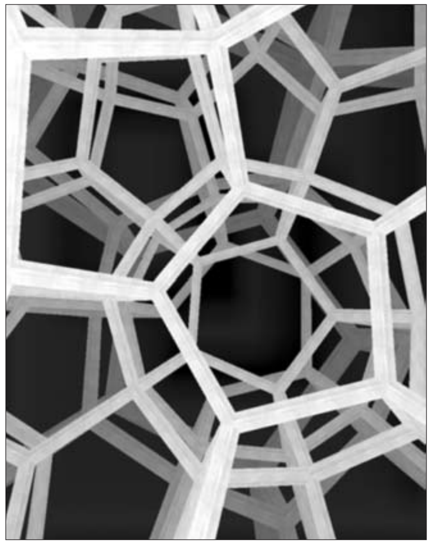
Známe tvar vesmíru?

Michael Prouza

Jeden z výroků, který má v kosmologii – vědě o celém vesmíru, nejdelší platnost, je výrok o kosmolozích samých, jehož je autorem je geniální ruský fyzik Lev Landau, nositel Nobelovy ceny za rok 1962 za práce o supratekutosti. Lev Landau už v padesátých letech řekl: „Kosmolog nikdy nepochybuje, ale často se mýlí.“ A již půlstoletí leckdo přikyvuje a ukazuje nové a nové příklady, jak je toto tvrzení trefné. V několika posledních letech, poté, co se podařilo vstoupit do tzv. věku precizní kosmologie, kdy výsledky měření přehlídek galaxií a zejména z pozorování reliktního záření mají menší než desetiprocentní chybu, se zdálo, že mylným představám v klíčových otázkách je již odzvoněno. S nenulovou kosmologickou konstantou a inflační teorií by náš vesmír měl být nejspíše plochý a měl by se rozpínat čím dál tím rychleji do nekonečna. Z analýzy skvělých výsledků sondy WMAP ale plyne, že všechno může být zase docela jinak. Jak?

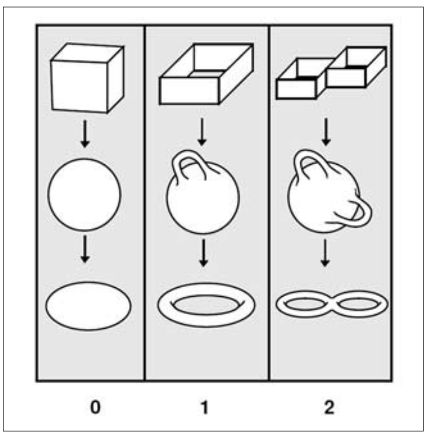


Obyčejnými pravidelnými dvanáctistěny prostor nevyplníme, úhel u jednotlivých vrcholů tělesa je 117° a my bychom potřebovali 120°. Stačí ale prostor trochu zakřivit a ... výsledek je na obrázku. Jedná se o výstup z volně dostupného programu CurvedSpaces (viz text).

Jaké otázky klást?

Než se pustíme do podrobnějšího rozboru pozoruhodné teorie, kterou v říjnovém čísle prestižního časopisu Nature předložili zejména francouzští vědci pod vedením Jeana-Pierra Lumineta, je potřeba si udělat jasno v poněkud problematických otázkách o tvaru, velikosti a globální struktuře našeho vesmíru.

Můžeme si klást celkem čtyři různé, byť navzájem propojené otázky. Nejprve se ptejme třeba na to je-li vesmír zakřivený. Základní odpovědi jsou tři – je plochý, zakřivený kladně či zakřivený záporně. Ptáme se tedy na geometrické vlastnosti vesmíru, tzn. třeba na to, jaký je přesný součet úhlů v trojúhelníku. V plochém vesmíru, tedy v euklidovské geometrii, je součet takový, jaký nás učili ve škole, tedy 180°. V kladně zakřiveném prostoru je součet úhlů větší než 180°, těmto geometriím říkáme riemannovské. Nakonec v záporně zakřiveném prostoru nám výsledek sčítání úhlů v trojúhelníku vyjde menší než 180°, geometrie nazýváme Lobačevského. Důležité je, že křivost vesmíru a tedy odpověď na naši první otázku je závislá pouze na celkovém množství hmoty a energie (včetně energie schované v temné hmotě a především včetně energie zakuklené v kosmologické konstantě). Je-li tento součet přepočtený na jednotku objemu větší než takzvaná kritická hustota, pak je vesmír zakřivený kladně, je-li menší, pak vesmír je zakřiven záporně, je-li přesně rovna, pak je vesmír plochý.



Třídy tzv. homeomorfních povrchů. Čísla pod sloupci značí počet děr v objektech. Tento počet se při povolených transformacích nemění, počet děr je tedy topologickým invariantem.

Druhou související otázkou je, má-li vesmír nekonečný (tzv. otevřený vesmír) anebo konečný objem (tzv. uzavřený vesmír). Platí, že kladně zakřivený vesmír je uzavřený, tedy s konečným objemem. Dokonce platí, že i kdyby celý vesmír nebyl homogenní (k tomu se ještě později vrátíme), tak všechny jeho kousky s kladnou křivostí musí být uzavřené. Ale nyní pozor! Obráceně to nefunguje! Plochý či záporně zakřivený vesmír může, ale rozhodně nemusí být otevřený. Záleží totiž na jeho globální struktuře, na jeho topologii. Bude-li vesmír nějak důmyslně propojený, mohou být výsledky překvapující – a vesmír bude uzavřený.

Pojďme tento problém ilustrovat a zároveň odpovězme na otázku třetí – má vesmír hranici? Odpověď je opět určena topologií vesmíru. Ani uzavřený vesmír tentokrát hranici mít nemusí. Dvojrozměrnou analogií tohoto případu je povrch koule – součet úhlů v trojúhelníku větší než 180°, celková plocha jistě konečná a jezdit po něm můžeme, jak chceme, a na hranici nenarazíme.

Kombinace těchto základních parametrů mohou být třeba i dosti neobvyklé – tak třeba můžeme mít vesmír plochý, zároveň ale konečný a zároveň nebude mít hranici. Jak to zařídit? Vzpomeňme opět dvourozměrnou analogii – povrch pneumatiky (pneumatiku matematici nazývají torus či anuloid).

Je zřejmé, že skutečně zásadní význam má odpověd na otázku čtvrtou, a tak se ptejme:

Jakou má vesmír topologii?

A co je to vlastně ta topologie? Topologie je matematické odvětví, které poskytuje rámec ke studiu vlastností, které se nemění při spojitých transformacích, tedy matematicky při homeomorfizmech. Jednoduše řečeno, při topologických transformacích je povoleno natahování, mačkání, muchlání a všemožné hnětení, naopak zakázáno je stříhání, trhání a dělání děr. Následkem toho topolog od sebe nerozliší trojúhelník, čtverec a kruh (ani jeden v sobě nemá díru), stejně tak je pro něj to samé ragbyový i fotbalový míč, ba i dokonce hrnek je pro něj totéž jako kroužek na záclony (obé ma díru jednu)! Naštěstí rozliší půllitr a obyčejnou mísu (půllitr má ucho, tedy jednu díru, mísa nikoliv). Tímto způsobem se topologovi svět rozpadne na řadu tzv. homeomorfních tříd, podle počtu děr v objektech.

Mgr. Michael Prouza (*1978)
vystudoval astronomii na MFF UK, nyní je doktorandem v Centru částicové fyziky FzÚ AV ČR.
E-mail: prouza@fzu.cz

To je však jen jeden z aspektů možná poněkud podivínské vědy, jakou je topologie. Další oblíbenou zábavou topologů je slepování opačných konců nejrůznějších ploch, ale i prostorových útvarů, říká se tomu jejich identifikování nebo taky propojování.

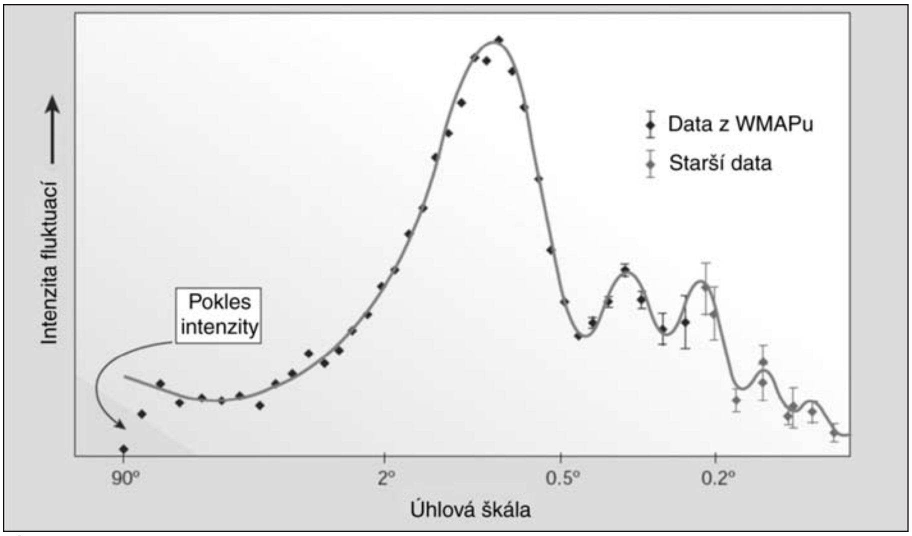
Tak třeba vezmu-li proužek papíru, překroutím jej o 180° a slepím, vznikne mi známý a slavný Möbiův proužek, plocha pouze s jednostranným povrchem. Vezmu-li jiný obdélník papíru a slepím-li horní konec s dolním, dostanu válec. A slepím-li nyní (identifikuji-li) jeho levý konec s pravým, dostanu pneumatiku neboli torus. Co jsem dokázal? Topologickou transformací jsem z plochy s hranicí (z obdélníku) získal plochu bez hranice (pneumatiku). Podobně (ale již podstatně hůře představitelně) bych mohl zmačkat jakýkoli kvádr a vyrobit z něj tří(-rozměrný-)torus (identifikoval, tedy propojil bych jeho horní podstavu se spodní, pak levou s pravou a nakonec přední se zadní).

A jak takovéhle hraní souvisí s naším vesmírem? Je-li náš vesmír uzavřený, může mít právě nějakou takovou pěkně propojenou topologii. A francouzští vědci pod Luminetovým vedením testovali stovky takových možností a jednoznačně nejlépe si mezi možnými konfiguracemi propojeného prostoru vedl tzv. Poincarého dvanáctistěnový prostor.

Jak Poincarého prostor vypadá? Představme si pravidelný dvanáctistěn (skládá se z dvanácti pravidelných pětiúhelníků) a jeho protější stěny navzájem identifikujme (nebude to úplně jednoduché, protější stěnu musí před „lepením“ vždycky ještě pootočit o 36°, aby na sebe pětiúhelníky sedly). Plochými dvanáctistěny bychom však ale nevyplnili prostor, a tak je potřeba je nakonaec trochu „přifouknout“, zakřivit, jenom maličko, tak, aby úhly v jejich vrcholech nebyly 117°, ale 120°. A máme hotovo.

Jediný nefrancouzský autor tohoto nápadu, J. R. Weeks, vytvořil pro zobrazování těchto složitě identifikovaných prostorů krásný program, nazvaný CurvedSpaces, můžete si jej stáhnout na www.geometrygames.org/CurvedSpaces.

Proč je však Poincarého prostor nejlepší? Jaký je důvod, že vědci vybrali zrovna tento? Pro odpověď se musíme obrátit k analýze výsledků famózní sondy WMAP.



Úhlové spektrum intenzity teplotních fluktuací mikrovlnného reliktního záření. Silná čára, která je vypočtena pro „standardní“ model vesmíru – tedy pro plochý vesmír s kladnou kosmologickou konstantou, velmi pěkně odpovídá průběhu dat z Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) pro malé úhly. Vidíme ale, že levý konec křivky je nafitován naopak velmi bídně – pro ty největší úhly červený model vůbec neodpovídá realitě. Poincarého dvanáctistěnový kladně zakřivený prostor dává pro tyto velké úhly podstatně lepší shodu.

Znovu WMAP a reliktní záření

Výzkum reliktního záření je hnacím motorem současné kosmologie a sonda Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) je nejvýkonnějším válcem tohoto motoru *(více o reliktním záření v Astropise 2/2002, o sondě WMAP v Astropise 1/2003)*. Díky výsledkům sondy, publikovaným letos v únoru, známe kosmologické parametry našeho vesmíru jen s několikaprocentní chybou. Přestože naprostá většina dat sondy umožnila přesné a bezrozporné odvození kosmologických parametrů, malá část výsledků naopak s našimi obvyklými modely nesouhlasí.

Sonda WMAP velmi přesně měří jemné teplotní fluktuace reliktního záření. Tyto fluktuace teplotní nesou informaci o fluktacích hustotních, které ve vesmíru existovaly jako zárodek nynějších struktur 370 000 let po jeho vzniku.

Podobně jako tón můžeme rozložit na jeho jednotlivé harmonické frekvence, podobně můžeme přistupovat i k měřeným fluktuacím reliktního záření. Rozložíme-li tón na harmonické frekvence, určíme jeho barvu z relativních intenzit v těchto harmonických frekvencích. Stejně i pro signál na kulové ploše můžeme najít podobné harmonické frekvence – tomuto rozkladu pak říkáme multipólový rozvoj. Zatímco „vyšší harmonické“ pro reliktní záření souhlasí s teorií výtečně, problémy jsou s nejnižšími členy rozkladu. Vezměme je postupně: monopól znamená průměrnou teplotu reliktního záření, dipól bohužel měřit nemůžeme (pohyb Sluneční soustavy vůči poli reliktního záření nám to znemožňuje), ale největší odchylku od teorie zjistíme pro dva hned následující členy – kvadrupól a oktupól. Jejich pozorovaná intenzita je mnohem nižší, než by měla z teorie plochého vesmíru být.

Vznik těchto velkoškálových fluktuací ale velmi úzce souvisí s topologií a velikostí vesmíru – bude-li vesmír malý, nebudou se moci tyto úhlově největší (hustotní a následně pak i teplotní) fluktuace příliš rozvinout – podobně jako vibrace zvonu nemohou být větší než je zvon sám. Vesmír ale musí být malý rafinovaně – nějak rafinovaně propojený, protože jeho hranici nevidíme. A takovýmto rafinovaným řešením je právě Poincarého prostor, který modeluje veškerá data velice přesně!

Velikým kladem tohoto řešení je i to, že je snadno testovatelné. Z modelu vyplývá, že hustota vesmíru musí být 1,013×násobek kritické hustoty. Navíc, jelikož hustotní fluktuace v tak malém vesmíru se nemohly vyvíjet ledajakým způsobem, měli bychom na obloze ve spektru reliktního záření pozorovat šest párů navzájem se protínajících kruhů o úhlovém průměru 35° (tzv. Cornishovy-Spergelovy-Starkmanovy kruhy). Zatím se jejich detekce nezdařila, neboť ji značně komplikují technické problémy (galaktické popředí, pohyby plazmy a další).

O osudu tohoto zvláštního modelu přesto ale rozhodne asi již nová sonda Planck v roce 2007. Jak? Žijeme vážně v dvanáctistěnu? ■