



Jak vidí vesmír matematik

Na rozkrývání záhad vesmíru spolupracují týmy badatelů mnoha odborností a stále častěji v nich figurují i matematici. Co nového mohou vnést do kosmického výzkumu a jak s vesmírem pracují, nám objasnil významný český matematik, profesor Michal Křížek z Matematického ústavu AV ČR

Ptala se Jana Žďárská

? Pane profesore, skutečně je možné vesmírné jevy a zákonitosti popsat pomocí matematiky?

Tvar a vývoj vesmíru lze skutečně popsat matematickými prostředky. Známy fyzik a nositel Nobelovy ceny Steven Weinberg to výstižně vyjádřil slovy: „Zdá se, že kosmos nelze popsat jiným jazykem nežli tím matematickým.“ Už staří pythagorejci tvrdili, že vesmír je řízen čísly. Od té doby se toho v matematice událo opravdu hodně – můžeme však směle konstatovat, že představuje jedinou univerzální řeč ve vesmíru.

? Vesmír vás fascinuje už víc než padesát let, přesto jste se po střední škole rozhodl studovat matematiku. Co vás k tomuto rozhodnutí vedlo tehdy a jak ho vnímáte nyní – neměnil byste?

Určitě bych neměnil. Rozhodl jsem se studovat matematiku, protože je mno-



hem přesnější než fyzika. Matematické pojmy jsou řádně zavedeny a nedovolují dvojí výklad. Matematická tvrzení platí věčně. Jsou nezávislá na poloze a času. O jejich platnosti se nerozhoduje hlasováním, nezávisejí na politickém systému či kulturních zvyklostech dané země. Matematici umějí odhlédnout od nepodstatných věcí. O tom, zda nějaké matematické tvrzení platí, se můžeme přesvědčit sami například tím, že si zkontrolujeme příslušný důkaz.

? Centrem vašeho zájmu je především otázka standardního kosmologického modelu. Můžete nám tento pojem přiblížit?

Dvojměrná sféra má svůj střed, který do ní však nepatří

Kosmologie tvoří odvětví astronomie, jež se zabývá těmi největšími prostorovými a časovými vzdálenostmi a otázkami vzniku vesmíru jako celku. Kdysi byl všeobecně přijímán geocentrický model světa, v jehož středu se nachází Země tak, jak to znázorňuje pražský orloj. Později se však začal prosazovat koperníkovský model vesmíru, v jehož středu leží Slunce. Za zakladatele novodobé kosmologie se považuje Giordano Bruno, který jako první prohlásil, že je kosmos nekonečný a každá hvězda vypadá jako naše Slunce.

Slovníček

Eukleidovský prostor je matematický výraz pro člověku nejbližší, intuitivní představu prostoru. Původní idea eukleidovského prostoru je dvojměrná či trojměrná.

Matematický pojem **křivost** se zavádí jak pro křivky v rovině, tak pro plochy v prostoru. Křivost může být **kladná** (kružnice, sféra), **nulová** (přímka či rovina) nebo **záporná** (například povrch sedla).

? Nekonečný vesmír tedy nemá střed?

Pokud by se vesmír dal věrně modelovat plochým eukleidovským prostorem, který má nulovou křivost (*viz Slovníček*), tak by přirozený střed skutečně neměl. V roce 1900 si ovšem Karl Schwarzschild zřejmě jako první uvědomil, že k popisu kosmu bychom mohli použít i neeukleidovské geometrie, které se zabývají zakřivenými plochami a prostory. Také Albert Einstein využil neeukleidovskou geometrii k popisu zakřiveného prostoru kolem Slunce. Celý vesmír pak modeloval pomocí trojrozměrné sféry, jež má v každém bodě a směru stejnou kladnou křivost. Tento předpoklad vystihuje skutečnost doloženou pozorováním, že je vesmír na velkých škálách homogenní, tedy stejnorodý, a izotropní, jinými slovy že jeho vlastnosti jsou ve všech směrech stejné.

? Jak si můžeme onu trojrozměrnou sféru prakticky představit?

Dvojrzměrnou sféru si lze představit jako povrch balonu. Pokud na něj nakreslíme trojúhelník, zjistíme, že má součet úhlů větší než sto osmdesát stupňů. Dvojrzměrnou sféru bohužel není možné bez zkreslení rozvinout do roviny. Proto například na pražském orloji posloužila stereografická projekce ke znázornění nebeské sféry do roviny astronomického ciferníku – nejméně

informace musela šířit nekonečnou rychlostí, aby měl všude přibližně stejnou hustotu, teplotu, tlak a podobně, což je pozorovatelsky dobře doložený fakt. Navíc by bylo vskutku kuriózní, kdyby měl kosmos zničehonic nekonečné rozměry. Proto zbývá jediná přirozená možnost, že má na velkých škálách všude kladnou konstantní křivost a ta s časem klesá, jak se vesmír rozpíná. Další podpůrný argument pro kladnou křivost zní, že uvnitř hmotných objektů – například Slunce – je zakřivení prostoru kladné. V případě kosmu je třeba vzít v úvahu, že jeho průměrná hustota je také kladná, i když jde o velice nepatrnou hodnotu, která postupně klesá.

? Preferujete tedy model s kladnou křivostí. Podle stávajícího standardního kosmologického modelu je však vesmír plochý – měl by mít tudíž nulovou křivost?

Myslím, že zde se zastánci standardního modelu hluboce mýlí. Jak známo, hmota prostor zakřivuje. Průměrná hustota prostoru klesá, neboť vesmír expanduje. Proto jeho křivost nemůže být stále konstantní – nulová. Z naměřených hodnot hustoty temné hmoty a temné energie plyne, že křivost kosmu je blízka nule. To ovšem v žádném případě neznamená, že je rovna přesně nule na libovolný počet desetinných míst. Proto může být současná křivost vesmíru velice malé

Kdo je ...

Prof. RNDr. Michal Křížek, DrSc. (*1952)

Vystudoval Matematicko-fyzikální fakultu Univerzity Karlovy v Praze. Je vedoucím oddělení konstruktivních metod matematické analýzy Matematického ústavu Akademie věd ČR. Zabývá se geometrií, teorií čísel a odhady chyby při numerickém řešení problémů matematické fyziky. Své matematické znalosti uplatňuje v kosmologii. Napsal stovky vědeckých článků ze širokého spektra oborů a je spoluautorem řady monografií. Působí v redakčních radách čtyř odborných časopisů. Je členem Učené společnosti ČR a Klubu českých hlav.



” Domnívám se, že vesmír nemůže být prostorově nekonečný, protože pak by se informace musela šířit nekonečnou rychlostí

totiž zmíněnou sféru deformuje poblíž jižního pólu, zatímco severní pól se zobrazuje do nekonečna.

S trojrozměrnou sférou je to podobné: Když budeme na jejím jižním pólu, zobrazí se jeho okolí při stereografické projekci téměř nedeformovaně na náš okolní trojrozměrný prostor. Čím ale bude nějaká oblast sféry od jižního pólu dál, tím víc se budou její rozměry deformovat.

? Kterému modelu vesmíru dáváte přednost?

Domnívám se, že vesmír nemůže být prostorově nekonečný, protože by se

kladné číslo. Takový kosmos se modeluje zmíněnou trojrozměrnou sférou. Je tedy ohraničený a má úplně jiný tvar než běžný trojrozměrný eukleidovský prostor.

? Soudobá kosmologie nám předkládá standardní kosmologický model vzniku vesmíru. Vy jste znám především jako jeho kritik. Jaká je vaše představa?

Rychlost rozpínání vesmíru se popisuje pomocí Friedmannovy rovnice, která je odvozena z Einsteinových rovnic obecné relativity. Hlavní problém tkví v tom, že platnost Einsteinových rovnic se prověřuje na škálách Sluneční soustavy,

zatímco kosmos představuje objekt nejméně o patnáct řádů větší. To považuji za největší komplikaci současné kosmologie, protože všechny rovnice matematické fyziky bez výjimky dobře přibližují přírodu pouze na určitých časových a prostorových škálách. Na věrohodnější rovnici rozpínání vesmíru si budeme muset ještě počkat.

Mgr. Jana Žďárská působí jako tajemnice Kosmologické sekce České astronomické společnosti. K astronomii ji v dětství přivedl otec, v rámci její popularizace se věnuje nejvíce rozhovorům s vědeckými osobnostmi a reportážím z astronomických akcí