

Co nového v přírodních vědách

Devadesátiny soudobé kosmologie

JAN HORSKÝ

Dne 8. února roku 1917 přednesl v Pruské akademii věd Albert Einstein přednášku, která byla publikována pod názvem *Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie*. Svým významem je obsah této publikace základním kamenem soudobé fyzikální kosmologie, její rozvoj vede k novým Nobelovým cenám za fyziku. Kdo z nás by se s velkou zvědavostí a nadšením nepodíval třeba v srpnu na noční oblohu a nezeptal se, kde to vlastně žijeme, jaký že je ten obrovský svět, jehož jsme malinkou součástí? Chceme-li o vesmíru vědět více, musíme něco aktuálního vědět o gravitaci, o teorii gravitace, protože je to právě gravitace, která ve vesmíru kraluje. Z různých knížek patrně víme, že Newtonova teorie gravitace na korektní řešení „vesmírných“ problémů prostě nestačí.

Einsteinova teorie gravitace (obecná teorie relativity) je ve skvělém experimentálním souladu se všemi dodnes provedenými experimenty. Přenesení platnosti odpovídajících zákonů na fyzikální vesmír je proto přirozené.

Einstein vyšel ze svého gravitačního zákona a řekl si, že vesmír je statický. To není nic nepochopitelného, když se na oblohu zadíváme. Ten ohromující majestát klidu je prostě fascinující, skoro přesvědčivý.

Existenci statického řešení svých gravitačních rovnic Einstein našel tak, že své gravitační rovnice zobecnil na tvar obsahující tzv. kosmologickou konstantu označovanou jako „velké lambda“. Právě tento lambda člen je v soudobé kosmologii velmi závažný. Podrobnosti nebudeme probírat, zájemce je může najít například v knize Horský, Novotný, Štefaník: Úvod do fyzikální kosmologie. Academia, Praha 2004. Budeme se věnovat jinému komplexu stejně zajímavých problémů.

V letech 1922-1929 byla ve fyzikální kosmologii realizována vývojová myšlenka, že statické modely vesmíru reálný vesmír nepopisují. Teoreticky byly odpovídající modely nestatického homogenního a izotropního vesmíru zpracovány A. A. Fridmanem, reálné rozpínání vesmíru prokázal E. Hubble. Po druhé světové válce se definitivně zakončilo teoretické studium prakticky všech relativistických kosmologických modelů a začalo se s jejich velice náročnou fyzikální interpretací. Všechny kosmologické modely vytvářejí dohromady množinu, které se dnes říká zahrada kosmologických modelů.

Díky zmíněnému Hubbleovu objevu vesmírné expanze se řada kosmologických modelů hodně zmenšila a zůstaly v ní prakticky jen expandující modely. V čase $t=0$ je vzdálenost mezi libovolnými body kosmologického modelu rovna nule. Podařilo se ukázat, že teplota kosmologické látky roste, když kosmologický čas t klesá, a při $t=0$ v daném modelu teplota roste nade všechny meze.

S úžasnou myšlenkou přišel po druhé světové válce G. Gamow, když uvažoval o otázce původu chemických prvků. S postupným rozvojem fyziky elementárních částic byla Gamowova idea rozšířena. Při zvyšující se teplotě vesmíru, kdy jdeme k menším a menším hodnotám času t , byl vesmír tvořen hustou tzv. „kosmologickou polévkou“. Tu tvořily elementární částice nacházející se v termodynamické rovnováze odpovídající té či oné kosmologické teplotě. Říkáme, že jde o modely horkého expandujícího vesmíru se singularitou.

Vesmír se při své expanzi ochlazoval, z částic vznikala atomová jádra nejjednoduchších prvků, atomy nejjednoduchších prvků a postupně a za dlouhý čas se vyvinuly i ty největší kosmické struktury, galaxie, supergalaxie.

Tímto směrem vývoje vesmíru se nyní zabývat nebudeme. Stav vesmíru si všimneme, když se jeho teplota pohybovala kolem 10^{12} stupňů Kelvina. Kosmologická polévka byla v takto horkém vesmíru složena z následujících elementárních částic: z mionů, antimionů, pozitronů a elektronů, neutrin a antineutrin, v malém množství zde existovaly i protony, neutrony a piony. Jak se vesmír rozpínal, jak chladl, energie srážejících se částic klesala a některé jejich srážky postupně vymizely úplně.

Když se „poslední“ fotony již tak ochladily, že se zmíněných reakcí nemohly účastnit, vesmír se pro ně stal průhledným. Spektrum tohoto záření, mluvíme o reliktním záření, má charakter záření černého tělesa. Jeho dnešní teplota by se měla pohybovat kolem čtyř stupňů Kelvina.

Tyto teoretické úvahy byly v roce 1965 experimentálně potvrzeny A. Penziasem a R. Wilsonem. Nobelovou cenou za fyziku za tento objev byli oceněni v roce 1978. Dnešní hodnota teploty reliktního záření je známa velice dobře, nám postačí pouze uvést, že je rovna hodnotě kolem 3 stupňů Kelvina.

Pozdější velmi mnohá měření družice COBE ukázala, nejen že spektrum reliktního záření je s velkou přesností planckovské, ale též že toto reliktní záření není zcela izotropní. To bylo neméně důležité, jako je důležitá existence reliktního záření samého.

Proč tomu tak musí být z hlediska teoretické kosmologie horkých expandujících vesmírů? Jdeme-li ještě blíže k hodnotě $t=0$ až k tak zvaným planckovským hodnotám, řekněme k planckovské délce (kolem $1,62 \cdot 10^{-35}$ m) nebo k Planckovu času (kolem $5,4 \cdot 10^{-44}$ s), určitě již musí být respektována kvantová teorie. A kvantová teorie je královstvím pravděpodobností, bude existovat různě pravděpodobný vznik různě maličké a různě pravděpodobné poruchy, ty poté projdou od těchto původních kvantových poruch (třeba právě teploty), přes jejich inflační vývoj až třeba k dnešní galaxii. To je opět zcela úžasné.

Experimentální kosmologie řekla své ano k uvedenému teoretickému scénáři. J. Mather a G. Smoot obdrželi za rok 2006 Nobelovu cenu za fyziku právě za tato veledůležitá měření charakteru nejen samotného reliktního záření, ale i jeho anizotropie. Ta totiž umožňují konstrukci kvantového původu malých poruch. Dnes o věrohodnosti scénáře horkého expandujícího vesmíru není pochyb. Běží o realizaci dalšího experimentálního zázemí k věrohodnému konkrétnímu modelu vesmíru spadajícího do jmenované třídy vesmíru horkého a expandujícího.