

## KAPITOLA 7

# INFLACE A MULTIVERZUM

*J. Richard Gott*

Hubbleovy výsledky týkající se rozpínání vesmíru interpretujeme z hlediska Einsteinovy obecné teorie relativity, jeho teorie zakřiveného prostoročasu, která vysvětluje gravitaci. Roku 1915 zveřejnil Einstein polní rovnice své teorie. Newtonova teorie gravitace popisovala, jak hmotná tělesa vyvolávají síly, které působí na dálku. Newtonův gravitační zákon říkal, že dvě tělesa se navzájem přitahují silou, která je úměrná součinu jejich hmotností vydělenému čtvercem vzdálenosti mezi jejich středy. Einstein však vysvětloval gravitaci zcela jinak. Již ve své speciální teorii relativity ukázal, že žijeme ve čtyřrozměrném vesmíru s jedním rozměrem času a třemi rozměry prostoru (výška, šířka a hloubka). Tato teorie vedla k jeho slavné rovnici  $E = mc^2$ . Einsteinova obecná teorie relativity poukázala na to, že tento čtyřrozměrný *prostoročas*, jak jej nazval, může být zakřivený, a jeho rovnice ukázaly jak. Hmotná tělesa se pak v tomto zakřiveném prostoročase prostě pohybují po nejpřímějších možných trajektoriích. Letadlo letící na zakřiveném zemském povrchu přímo kupředu poletí po hlavní kružnici, které se říká *geodetika*. Letadlo letící po nejkratší trase z New Yorku do Tokia – po hlavní kružnici – přeletí nad severní Aljaškou.

Na tradiční a známé Mercatorově mapě Země bude tato trasa vypadat zakřivená, ale ve skutečnosti je to na glóbu nejpřímější cesta. Jde o velmi jednoduchou představu, a navíc tu není žádné působení na dálku. To, co je ve vesmíru v daném místě (hmota, záření), způsobí, že se prostoročas *v tomto místě* určitým způsobem zakříví. Také částice – a planety – dostávají povely lokálně: v zakřiveném prostoročase se prostě pohybují rovně. Matematika potřebná k odvození rovnic pro zakřivený prostoročas je však obtížná a Einsteinovi trvalo osm let, než po usilovné práci s pomocí dalších lidí přišel na to, jak vše spočítat. Einsteinovy rovnice měly dalekosáhlý dopad. Vysvětlily dokonce i postupné stáčení neboli precesi oběžné dráhy Merkuru, kterou astrofyzikové pozorovali, ale Newtonův gravitační zákon ji nedokázal vysvětlit.

Einstein vypočítal geodetickou dráhu, po níž by se ubíralo světlo v zakřiveném prázdném prostoročase kolem Slunce. Zjistil, že světelný paprsek ze vzdálené hvězdy, který na své cestě k Zemi prochází poblíž okraje Slunce, se vychýlí o 1,75 úhlové vteřiny. To byl dvojnásobek toho, co by vyšlo Newtonovi, tedy 0,875 úhlové vteřiny. Jak se pozorují hvězdy poblíž Slunce? Stačí si počkat na úplné zatmění Slunce, kdy Měsíc prochází přímo mezi Zemí a Sluncem a zcela zakrývá jasné světlo ze slunečního povrchu. Chcete-li tyto výchytky paprsků vidět, můžete změřit přesné polohy hvězd na fotografii pořízené během zatmění a porovnat je s polohami, které jste naměřili o mnoho měsíců dříve, kdy bylo Slunce na obloze od těchto hvězd daleko. Toto navrhnul sám Einstein jako dramatický test své teorie.

Pozorovat zatmění Slunce, které mělo nastat 29. května 1919, měly dvě britské expedice. Jedna byla vypravěna do Sobralu v Brazílii a druhá na Princův ostrov u západního pobřeží Afriky. Sir Arthur Eddington o výsledcích

informoval na společném zasedání Královské společnosti a Královské astronomické společnosti v Londýně 6. listopadu 1919. Ze Sobralu byla pozorována výchylka  $1,98 \pm 0,30$  úhlové vteřiny, zatímco z Princova ostrova byla pozorována výchylka  $1,61 \pm 0,30$  úhlové vteřiny. Oba výsledky souhlasily s Einsteinovou hodnotou 1,75 úhlové vteřiny s přesností v rámci nejistoty pozorování  $\pm 0,30$  úhlové vteřiny a ani jeden nesouhlasil s Newtonem. Tomuto zasedání předsedal fyzik J. J. Thomson, objevitel elektronu, a obecnou teorii relativity tehdy prohlásil za „jeden z největších úspěchů lidského myšlení“.

Na konci dvacátého století dávali v televizi pořad o největších sportovních událostech století. Jak se dalo očekávat, ukazovali v něm vítězství Jesseho Owense ve sprintu na 100 metrů na olympijských hrách v Berlíně roku 1936, vítězství koně Secretariat v dostihovém závodě Belmont Stakes o 31 délek, čímž vyhrál celou sérii Triple Crown, a Muhammada Aliho, jak v Zairu knokautoval George Foremana a získal zpět titul mistra světa v boxu v těžké váze. Kdyby tento program zahrnoval i nejlepší utkání ve vědě dvacátého století, jistě by si tvůrci představili Newtona s Einsteinem na basketbalovém hřišti, jak Newton dribluje s míčem na soupeřovu půlku hřiště. A není to jen tak ledajaký míč, je to jeho teorie gravitace – dílo, na které byl nejvíc hrdý. A už je tu Einstein, bere mu míč, hází a – *čistý zásah*. Je to největší zápas ve vědě dvacátého století.

Roku 1922 našel ruský fyzik Alexander Fridman dynamické řešení Einsteinových rovnic pole z roku 1915, které ovlivnilo celou kosmologii. Vzpomeňte si na naši představu balónku s mincemi představujícími galaxie nalepenými na jeho povrchu. Fridmanův hypotetický balón začíná s nulovou velikostí. To je okamžik *velkého třesku*. Balón teď nafoukněte. Jak se rozpíná, mince se

od sebe vzdalují. Posad'te se na jednu z nich. Jak se balón rozpíná, bude se mince, kterou máte blízko, pomalu vzdalovat. Mince, která je od vás dál, se bude vzdalovat rychleji. Přesněji řečeno se od vás dvakrát vzdálenější mince bude vzdalovat dvakrát rychleji. A třikrát vzdálenější třikrát rychleji. To je přesně Hubbleův zákon. Čím dále od vás jiná mince je, tím více rozpínající se pryže leží mezi vámi a onou mincí, která se od vás tím rychleji vzdaluje. Ostatní galaxie se od nás vzdalují, protože zakřivený prostor, ve kterém žijeme, se rozpíná. Žádná mince není výjimečná – vesmír vypadá stejně při pohledu z jakékoli mince. Koperníkův princip je dodržován. V této metafoře si znázorňujeme pouze dva prostorové rozměry, dvě dimenze povrchu balónu. Ty představují celý náš vesmír. Zapomeňte na vnitřek a vnějšek balonu. Na nich nezáleží. Fridmanův model ve skutečnosti disponuje všemi třemi rozměry prostoru, rozpíná se jako povrch vícedimenzionálního objemu nazývaného třísféra, ale jakýkoli dvou-rozměrný řez Fridmanovým vesmírem vypadá přesně jako rozpínající se povrch balónu. Ilustrace s balónem je přesná, ale vynechává jeden rozměr prostoru, aby si náš mozek dokázal představit, co se děje. Ve Fridmanově modelu se balón stále rozpíná, ale zpomaluje a nakonec se zastaví, když dosáhne maximální velikosti, a pak se začne smršťovat a posléze se z něj stane bod – tomu se říká *velký krach*.

*Prostoročasový diagram* tohoto procesu (viz obrázek 6) se podobá na výšku postavenému míči na americký fotbal, který vypadá, jako by byl připraven k vykopnutí.

Čas v tomto diagramu běží vertikálně, budoucnost je nahoře. Znázorněn je zde pouze jeden rozměr prostoru jako kruhový průřez (balónu), jehož poloměr se mění s časem. Jediné, co je zde skutečné, je samotný povrch našeho fotbalového míče. Jeho vnitřek ani vnějšek nejsou

skutečné. Fotbalový míč jsme vnořili do vícedimenzionálního prostoru jen proto, abychom si jej mohli představit. Tento balónový vesmír začíná s nulovým poloměrem ve velkém třesku (dole). Pak se s časem rozpíná na větší obvod, až dosáhne maximálního obvodu uprostřed fotbalového míče, načež se začne smršťovat a konečně se zhroutí na nulový poloměr při závěrečném velkém krachu. Dráhy galaxií procházející prostoročasem se nazývají *světočáry* a jde o geodetiky podél švů ve fotbalovém míči, které začínají velkým třeskem a končí velkým krachem. Tyto světočáry jsou nejpřímější možné dráhy. Mohli byste po nich jet malým autíčkem a nemuseli byste otáčet volantem. Zde vidíme Einsteinovy rovnice při jejich úžasné práci! Hmotnost všech galaxií ve vesmíru způsobuje zakřivení prostoročasu a zakřivení prostoročasu způsobuje ohyb světočar galaxií – švů. Těsně po velkém třesku se všechny galaxie od sebe rozletí. V současné době žijeme ve spodní polovině fotbalového míče, kdy se galaxie od sebe vzdalují s časem. V tomto příkladu však gravitační přitažlivost (zakřivení) zpomaluje jejich rozpínání, až se uprostřed, na rovníku fotbalového míče na okamžik zastaví, a v horní polovině fotbalového míče pak gravitace způsobí, že se galaxie začnou pohybovat směrem k sobě. Vzdálenosti mezi galaxiemi, které se pohybují po švech, se začnou zmenšovat, jak se začne smršťovat obvod vesmíru. Všechny galaxie se společně srazí ve velkém krachu. To byste nechtěli být poblíž! Když se objem vesmíru scvrkne na nulu, budete rozdrčení, protože narazíte na *singularitu* velkého krachu – místo, kde zakřivení naroste do nekonečna.