

Rozpínání vesmíru podle soudobých poznatků

Důsledky obecné teorie relativity

[Jiří Jersák](#)

| 17. 1. 2008

| Vesmír 87, 40, [2008/1](#)

Rozpínání vesmíru pro nás pravděpodobně bude brzy tak samozřejmé jako skutečnost, že Země obíhá kolem Slunce. Zvykneme si i na to, že lze pozorovat vzdálené galaxie, které jsou od nás rozpínáním unášeny rychlostí větší, než je rychlost světla. Rozpínání vesmíru, plynoucí z obecné teorie relativity, si vysvětlíme názorně, ale přitom se neodkloníme od základních principů této teorie.

Historie představ o rozpínání vesmíru



Brzy po objevení obecné teorie relativity v roce 1915 si Albert Einstein uvědomil, že podle této teorie se vesmír musí buď rozpínat, nebo smršťovat, že tedy jeho tehdejší teorie vylučuje statický vesmír. A tehdejší představa byla, že vesmír je statický. Pokusil se tento zdánlivý nedostatek odstranit dodatečným zavedením kosmologické konstanty. Svým odpudivým gravitačním působením měla statický vesmír ochránit před zhroucením se v důsledku přitažlivé síly hmoty. Možnost rozpínání vesmíru nebral vážně. Jiní teoretikové, především Alexander Friedmann a Georges Lemaître, však tuto představu na základě Einsteinovy obecné teorie relativity a několika odvážných zjednodušujících předpokladů rozvinuli během několika let. Lemaître jako první vyslovil hypotézu o velkém třesku jako počátečním stavu vesmíru a nezávisle prohloubil Friedmannovy práce popisující rozpínání vesmíru. Willem de Sitter začal už roku 1917 vyvíjet model vesmíru ovládaného kosmologickou konstantou, v roce 1927 pak Lemaître ukázal, že se takový vesmír rozpíná.

Když Edwin Hubble roku 1929 publikoval data o růstu rudého posuvu (**přírůstku vlnové délky světla**) **ve světelných spektrech galaxií s jejich vzdáleností**, byla půda pro teoretické chápání rozpínání vesmíru na základě Einsteinovy obecné teorie relativity dobře připravena. Pak ale došlo k nešťastnému zvratu: jelikož tato teorie

byla tehdy pro valnou většinu fyziků a kosmologů příliš složitá, byla vymyšlena různá jiná rádobí „jednodušší“ vysvětlení Hubblova pozorování, vyhýbající se důslednému použití obecné teorie relativity. Tak se do literatury a do povědomí generací dostaly **mylné představy** a některé přetrvávají dodnes. Uvedeme **nejčastější z nich:**

(i) Přirovnání vzdalujících se galaxií k letícím střepinám bomby po jejím výbuchu v předem přítomném neměnném prostoru.

(ii) Představa, že rudý posuv je způsoben Dopplerovým jevem, to jest přírůstkem vlnové délky světla v důsledku pohybu zdroje.

(iii) Snaha, často jen podvědomá, chápat rozpínání vesmíru v rámci pravidel speciální teorie relativity.

(iv) Přesvědčení, že se rozpínání vesmíru děje v souhlasu se zákonem zachování energie.

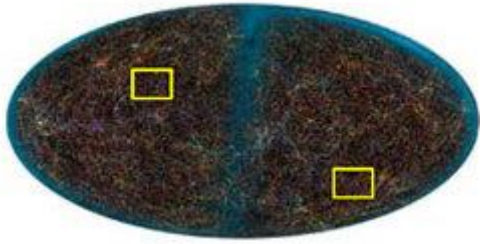
Všechny tyto **nesprávné představy** souhlasí s astronomickými pozorováními blízkých galaxií, a proto přežívaly dlouho. Jejich nesprávnost odhalilo teprve pozorování vzdálených galaxií a reliktního záření. Popisem těchto složitých pozorování se v tomto článku zabývat nebudeme (pozn. red.: viz např. článek Raphaela Boussa „Zamotaný příběh kosmologické konstanty“, Vesmír [78, 7, 1999/1](#)). Jenom shrneme, že jejich interpretace skutečně vyžaduje důsledné použití obecné teorie relativity. **Vysvětlíme ale, proč jsou uvedené představy nesprávné z hlediska teoretického, tedy z hlediska obecné teorie relativity.** (**) Nejprve jen stručně:

(i) Rozpíná se sám prostor, galaxie se v něm téměř nepohybují. **Z hlediska OTR se může sám prostor i rozbalovat !!, nejen rozpínat..; kde je důkaz že ne ???** http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_239.jpg Z hlediska observačního jsou pozorovací hodnoty s narůstající chybou směrem od nás tj. ke Třesku.

(ii) Růst vlnové délky světla je způsoben rozpínáním **ale také stejně tak rozbalováním** prostoru během jeho letu prostorem, a ne domnělým pohybem galaxií. http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_239.jpg

(iii) Speciální teorie relativity je pro velké vzdálenosti nepoužitelná. **Proč ? Nestačí to jen vykřičet. Autor řekl, že bude výroky dokazovat. STR je použitelná proto, že pomocí ní lze ukázat a dokázat pootáčení soustav tj. soustavy Pozorovatele a testovacího tělesa, které se nachází dál a dál od nás a tedy má stále vyšší rychlost.**

(iv) Energie se při rozpínání vesmíru nezachovává. **A to dokazuje OTR „ jak tu říká autor ? Hustota energie vakua je konstantní a tedy tato energie (temná energie) přibývá v čase roste-li objem. Vakuum je vící časoprostor, tedy velmi dynamicky se měnící chaos křivostí dimenzí čp a...a každá křivost dimenzí je stavem hmoty.**



Pro podrobnější vysvětlení je třeba vrátit se k té složité obecné teorii relativity, to jest k **teoretickým představám** o rozpínání vesmíru starým v roce 2007 už 80 let! Naštěstí astronomická pozorování odhalila mezitím několik vlastností vesmíru, které použití této teorie k popisu rozpínání vesmíru nesmírně zjednodušují. **Observační pozorování zjednodušují matematiku ? teoretickou matematiku použitou na stavbu „rozpínání“ ??** Proto se pokusíme vysvětlit skutečnou **podstatu rozpínání** vesmíru i **bez použití matematického aparátu obecné teorie relativity**. **No výborně. Tak proč autor máchal slovy, že je NUTNE všechny nesprávné představy o rozpínání vysvětlit z hlediska OTR !!!????** 🤔
Některá ze zmíněných novějších astronomických pozorování a poněkud odbornější aspekty jsou popsány v souběžném článku v Čs. časopisu pro fyziku [1]. V obou článkách navazujeme a v mnohých podrobnostech také odkazujeme na nedávný článek J. Langra [2] ve Vesmíru o reliktním záření.

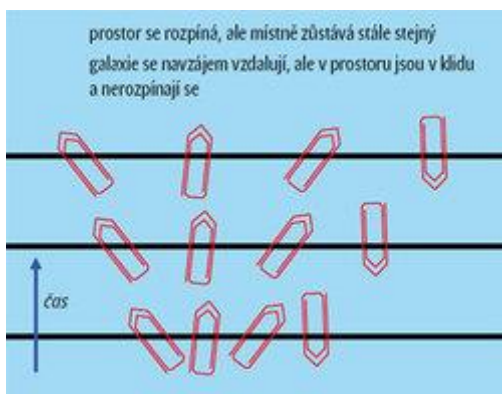
Kosmologický princip

Dnes je **představa velkého třesku** **Proč říkáte „představa“ když už tvrdíte že je to „fakt“ dokázaný tou OTR !?!?** ověřená řadou pozorování, **Takže je VT ověřen anebo vypočítán „? z nichž nejpřesvědčivější je pozorování reliktního záření, viz [2]. A čím RZ dokazuje velký Třesk ? Stáří vesmíru je určeno vypočítáno ? nebo vypočítáno ? nebo opsáno z knihy Boží ?** na necelých 14 Gyr (Gyr = giga year = 10^9 let, tj. miliarda let). **Údaj může být chybným vyhodnocením s p r á v n é h o pozorování...anebo nemůže už ?** Pro srovnání uvádíme, že naše galaxie je stará asi 10 Gyr a sluneční soustava asi 4,5 Gyr, jsou to tedy stáří srovnatelná. Reliktní záření vzniklo pouze necelých 0,0004 Gyr (380 tisíc let) po velkém třesku, **čím se dokazuje toto stáří RZ ?, to musí Jiří Jersák zde říkat, protože tu je právě kvůli tomu aby vyvracel omyly a mylné představy, neb si to dal i za úkol.** a proto poskytuje pohled na velice mladý vesmír.

Prostorové vzdálenosti ve vesmíru jsou pro nás zcela nepředstavitelné, ať je udáváme v metrech, kilometrech nebo světelných letech. Vhodnou jednotkou vzdálenosti v kosmologii je teprve miliarda světelných let (Gly = giga light year = 10^9 světelných let). **Astronomové běžně pozorují galaxie a jejich předchůdce, kvasary, na vzdálenosti přes 20 Gly. A jak k těm číslům přišli ??? zase v Boží knize ? Měření správná, vyhodnocení chybná...; podle „čeho“ se vyhodnocují pozorovaná data ? Jersák by měl dokazovat** Poloměr části vesmíru, která je pro nás pozorovatelná, je zhruba 46 Gly. Je to vzdálenost, na které se dnes nachází pozůstatek zdroje reliktního záření, které pozorujeme. Dál zatím **nedohlédneme** než na „okraj nedohledna“ [2]. **Otázka : letí k nám foton-informace z okraje „nedohledna“ po křivé geodetě ? anebo direkt po absolutní přímce ? Pokud by byl čp velkoškálový globálně křivý-zatočený do šnekovice, pak by i foton-informátor donesl „ „ditatačně a kontrakčně změněné údaje do naší „dalekohledové průmětny“...foton by letěl = byl**

vypuštěn pootočený, letěl by „obloukem“ 13 miliard let (?) V celém článku se budeme zabývat jen touto částí vesmíru, ale pro stručnost budeme většinou psát prostě „vesmír“.

Kosmologie se zabývá především vlastnostmi (které se vyčtou z OTR, že) vesmíru na současných kosmologických škálách, O.K. to jest zhruba na vzdálenostech srovnatelných nebo větších než 1 Gly. Na těchto škálách jsou rozměry objektů pozorovaných na obloze jen nepatrné. Typický průměr galaxií (o hvězdách ani nemluvě) je jen asi 0,0001 Gly (100 000 světelných let) a jejich kup okolo 0,001 Gly. Ve srovnání s kosmologickými škálami ve stáří 13,8 miliard let od VT. jsou tedy galaxie pouhé nepatrné částičky prachu (viz obrázek 1), jejichž struktura nehraje v kosmologii žádnou roli, takže si na kosmologických škálách můžeme představit vesmír jako prostor (téměř plochý) naplněný řídkým oblakem prachu. O.K.



Astronomická pozorování tohoto „prachu“ naznačují, že jeho hustota je všude stejná (obrázek 2). Také reliktní záření k nám dopadá v čase 13,8 miliard let od Třesku ze všech směrů s téměř stejnou ¹⁾ teplotou: okolo $T = 2,7$ K. Jakou teplotu pozoruje Pozorovatel odkudkoliv ve stáří 800 000 let od Třesku ??

Tato pozorování takže pozorování nikoliv výpočty z OTR...a pozorování mohou být správná, ale vyhodnocování může být chybné použije-li se závadná „teorie“ (jako je např. Hubbleho zákon) vedou k hypotéze, že vlastnosti vesmíru jsou na kosmologických škálách všude stejné. O.K. Hypotéza bývá nazývána kosmologický princip (nebo také Koperníkův princip), čímž se zdůrazňuje domněnka, že část vesmíru, kterou obýváme, není ničím mimořádná.

Vesmír je na kosmologických škálách velice jednoduchý

Podle této hypotézy se všechny části vesmíru vyvíjejí od velkého třesku stejně a lze v nich v každou dobu určit jejich stáří t . Tím ale zavádíme ????? pro celý vesmír všude platný takzvaný kosmický čas t . Vy-lidé-fyzikové zavádíte všude stejný čas. Předpokládám, že máte na mysli stejné tempo plynutí času všude po vesmíru ve „stop-čase“ od Třesku. Jenže v každé časové epoše může být T E M P O plynutí času jiné, podle křivosti \dot{c} v dané epoše. Koneckonců tvrdíte, že kam oko pohlédne, tam se všechna tělesa pohybují (a to buď rovnoměrným pohybem $m.v$ nebo nerovnoměrným pohybem $m.g$. V obou případech dochází k dilataci času, který pozorujeme u pozorovaného tělesa. Poznámka : U $m.v$ proto, že i zde tělesa mění

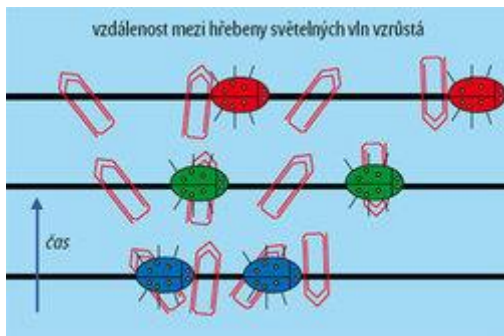
své rychlosti a to pomocí zrychlení. Na tělese se čas (jeho tempo) nemění, ale „my-Pozorovatel“ dostáváme sem do naší základní soustavy pasované do klidu informace (zářením z tělesa, nebo gr. vlnami či jinak) o tom jak na raketě a na všech galaxiích dilatuje čas dle STR). Takže prakticky z tohoto hlediska vlastně nikde neběží stejné tempo času jako tu-tady...natož aby běželo stejné tempo plynutí času v různých historických stop-stavech. Sám vývoj vesmíru, především jeho rozpínání, slouží jako kosmické přesýpací hodiny. V naší době ukazují oněch $t_0 = 14$ Gyr (symbolem t_0 se vyjadřuje kosmologické „dnes“).

Další blahodárny důsledek kosmologického principu je velké zjednodušení popisu vesmíru v libovolně zvoleném okamžiku t , tj. popisu trojrozměrného prostoru. Protože vesmír je všude stejný a ve všech směrech stejně vypadá, ²⁾ pro úvahy o rozpínání vesmíru není třeba zavádět trojrozměrný souřadnicový systém. Pro nějaké dva objekty, například hodně od sebe vzdálené galaxie, **stačí brát v úvahu jen jeden údaj: jejich relativní vzdálenost $D(t)$.** A přesně stejnou „fintu“ používá celá fyzika, když zkoumá a používá jen jednu dimenzi času $T(1)$ a uplatňuje jí do všech tří směrů délkových, tj. do $T(2)$ a $T(3)$ namísto tří dimenzí, protože čas náááhodou má stejné tempo plynutí do tří směrů. NAHODOU. Rozdílnost tu je, ale nevnímáme jí, protože citlivost člověka je nastavena o 8 řádů pro čas méně-hůř... Ta se může měnit s časem, ale nezávisí ani na poloze, ani na vzájemné orientaci těch dvou galaxií ve vesmíru. Nezanedbáme proto nic podstatného, když si budeme představovat prostor jako jednodimenzionální. **Dtto se děje s čase : vy, nezanedbáváte nic podstatného když různá tempa plynutí času $t(1) > t(2) > t(3)$ považujete za $t(1) = t(2) = t(3)$ protože změna časové hodnoty se děje až na 8 místě řádu za desetinnou čárkou.** Podobnou představu o vesmíru měli kosmologové již hned po vzniku obecné teorie relativity, což bylo tenkrát velmi odvážné. Dnes je tato představa **podložená** (nikoli dokázaná) mnohými **pozorováními.** **Se špatným vyhodnocením.**

A teď ještě jeden, tentokrát nový a i z hlediska obecné teorie relativity překvapivý výsledek kosmologických pozorování: trojrozměrný prostor v našem vesmíru **je v libovolně zvoleném okamžiku t ????? to myslíte vážně ? tedy např. 10 minut po Třesku že je rovný-plochý ????? s pozoruhodnou přesností rovný** (euklidovský)! Jsem proti...ledaže by měla pravdu úvaha, že každý křivý stav \checkmark (různého počtu dimenzí \checkmark) **plave** v základním nikdy se neměnicím euklidovském-plochem nekonečném 3+3D časoprostoru...který existoval už před Třeskem (a v něm nebyla hmota ani pole ani plynutí času, ani rozpínání \checkmark) ...čili veškerá složitá hmota, elementární částice jaderné fyziky, chemie, biologie, pole, gravitace +3 síly, vlastnosti hmotové jako je náboj, spin, apod. to vše „plave“ v základním 3+3D časoprostoru. Pak ano. Nemusíme si tedy lámat hlavu představami zakřiveného prostoru. Ne, ne..., každý křivý stav 3+3D časoprostoru „plave-je vnořen“ do základního plochého euklidovského rastru-časoprostoru. Jak uvidíme později, čtyřrozměrný prostoročas ale zakřivený je, takže speciální teorie relativity v něm platí jen velmi omezeně, viz omyl (iii).

Z toho vyplývá, že si vesmír na kosmologických škálách můžeme bez nepřípustně hrubého zjednodušení představit v každém okamžiku kosmického času t jako přímou úsečku znázorňující prostor v tomto okamžiku. **Zbourání křivosti dimenzí \checkmark je chybou na základním principu Vesmíru po Třesku.**

Prostor se rozpíná jako gumová šňůrka



Ve speciální teorii relativity je časoprostor při všech fyzikálních procesech neměnný, je pro ně jenom prkenným jevištěm. O.K. A proto „fyzikální procesy“, které „ve své soustavě plavou“ na tom jevišti, v tom jevišti, tak jim se pootáčí jejich vlastní soustava souřadná – viz STR – vzhledem k naší soustavě Pozorovatele pasované do klidu. V jedné dimenzi je jako pevná dřevěná tyčka, na které je leccos připevněno a leccos se na ní odehrává.

V obecné teorii relativity prostor ožívá. Ten základní rastr-jeviště ploché euklidovské neožívá, nemusí, je trvalým „existenčním“. V něm se pak bude odehrávat OTR, tedy gravitace a tj. , tedy zakřívování, nikoliv základního rastru, ale toho čp spojeného s hmotnými tělesy...a toto pak „plave“ v rastru. Je to elastické jeviště, elastickým jevištěm je to „co plave“ v tom 3+3D euklidovském rastru-hevisti-síti-podkladu. může se buď rozpínat, nebo smršťovat, a to v závislosti na tom, co je na něm připevněno a co se na něm odehrává. ³⁾ Prostorovou úsečku si lze představit jako tenkou rovnou gumovou šňůrku, která se může buď natahovat („rozpínat“), nebo smršťovat. Galaxie pak můžeme dobře znázornit dopisními sponami (obrázek 1), které jsou na šňůrce připevněny. Když se šňůrka rozpíná, rozbaluje se rostou vzdálenosti mezi na ní připevněnými sponami (obrázek 3). Je to právě tento růst vzdáleností mezi sponami, ze kterého nějaký bystrý pozorovatel (pojmenujme ho Hubble) může usoudit na rozpínání šňůrky.

Tento jednoduchý model vystihuje podstatu věci. I rozbalující se 3+3D dynamický čp vystihuje podstatu Vesmír se rozpíná, protože se rozpíná sám prostor. Ten se rozpíná – jako ta šňůrka – všude. Jeho vlastnosti se ale na žádném místě rozpínáním nemění. ⁴⁾

Z hlediska pana Hubbla, který sedí na jedné z galaxií, jsou ostatní galaxie od něj unášeny do dálky rozpínajícím se rozbalujícím se prostorem (co plave v tom základním) jako listy spadlé na proudící vodu. Jejich vzdálenosti $D(t)$ od pana Hubbla rostou s časem t . Vůči prostoru ve svém okolí se však galaxie nepohybují, viz omyl (i). Spony / galaxie vlastně slouží k viditelnému označení pevných bodů v prostoru, který je sám o sobě neviditelný. Rozpínání prostoru tedy pozorujeme s jejich pomocí.

Prostor je pro nás tímto způsobem pozorovatelný zatím jen po místa od nás dnes vzdálená oněch 46 Gly. Alespoň potud je v každém okamžiku všude rovný. ⁵⁾ Co je dál, to s jistotou nevíme, ale zdá se přirozené, že to bude aspoň ještě o kus dál podobné. Bude-li se „dynamický čp“ rozbalovat dle mého scénáře, nebude vlastně „nic za“, nic za horizontem viditelnosti http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_239.jpg ...vesmírný čp-dynamický se bude „rozbalovat“ všude kolem nás ze všech bodů „planckovských“ ...

Model gumové šňůrky teď použijeme k objasnění několika důležitých poznatků plynoucích z obecné teorie relativity.

Rychlost unášení galaxií je úměrná jejich

vzdálenosti to tak jen vypadá http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/c/c_239.jpg , Hubble-zákon je naměřen jako lineární do vzdálenosti odpovídající 400 000 let stáří Vesmíru, ale blíže ke Třesku se může **dramaticky zakřivovat** až oné plazmě = vřícímu chaotickému bublání křivých dimenzí z polévky, kde se budou rekrutovat „geony-kokony-vlnobalíčky“ elementárních částic....atd.

Malý pokus s natahováním šňůrky se sponami nás snadno přesvědčí, že vzdálenosti mezi dvěma libovolnými galaxiemi rostou tím rychleji, čím jsou tyto galaxie od sebe vzdálenější. Podobně dnes závisí rychlost unášení u (recession velocity) jednotlivých galaxií od naší galaxie **lineárně** **to je ta chyba vyhodnocení** na vzdálenosti D těchto galaxií od nás:

$$u = H_0 D.$$

Faktor úměrnosti H_0 se nazývá Hubbleův parametr, často se mu říká Hubbleova konstanta. **Tento vztah se obvykle nazývá Hubbleův zákon.** Objevil ho a srovnal s tehdejšími daty již dva roky před Hubblem (1927) Lemaître a také ho, na rozdíl od Hubblea, správně teoreticky vyložil. [6](#) Platí jenom s určitými omezeními, protože je v něm zanedbána závislost vzdálenosti D na čase t způsobená rozpínáním prostoru. [7](#)

Při natahování hodně dlouhé šňůrky si snadno uvědomíme, že rychlost unášení vzdálených spon roste s jejich vzdáleností neomezeně. Hubbleův zákon **lineární** to vyjadřuje kvantitativně. Můžeme si například spočítat, na které vzdálenosti dnes dosahuje rychlost unášení u hodnoty rychlosti světla c:

$$D_H = c/H_0.$$

Tato vzdálenost se nazývá Hubbleova vzdálenost D_H . Mnoho pozorovaných galaxií a kvasarů se nachází dál, a jsou tedy od nás unášeny nadsvětelnou rychlostí, ačkoliv se samy nepohybují.

Níže dokončit komentář

Speciální teorie relativity platí, ale jen lokálně

Koho tento závěr šokuje, ten podléhá omylu (iii). Speciální teorie relativity se svou horní hranicí c pro rychlost pohybu hmoty sice všude platí, ale vždy jen v malé oblasti prostoročasu (lokálně), **jako aproximace k obecné teorii relativity.** Nelze ji používat při pozorování objektů na kosmologických vzdálenostech. **Především lokálně proto, že plynulý přechod** z rychlostí malých $v(1) \dots v(2) \dots v(3) \dots \rightarrow v(n)$ na rychlosti vysoké např. $v = 0,6c$ neexistuje bez pohybu zrychleného (např. gravitace) a při použití posloupnosti rychlostí $v(1) \dots v(2) \dots v(3) \dots \rightarrow v(n)$ dochází k pootáčení soustavy vlastní toho testovaného- pozorovaného tělesa, které zvyšuje rychlost. V kosmologických

měřících navíc panuje „obecné zakřivení celého vesmíru“. A ještě navíc se v čase vesmír od Třesku rozbaluje, rozbaluje se jeho křivost dimenzí a tak ani z tohoto důvodu nelze STR uplatnit, platí jen pro rovnoměrný přímočarý pohyb.

Příklad gumové šňůrky to znázorňuje: každý její malý úsek se dá přibližně vidět jako kousek dřevěné tyčky, protože se na něm rozpínání projeví jen zanedbatelně. Ale běda, pokusímeli se aproximovat tyčkou velký úsek šňůrky! Vlastně jde o analogii k známé vlastnosti hladkých křivek, že je lze v okolí každého bodu aproximovat přímkou (tečnou). **Prostoročas v obecné teorii relativity je také sice zakřivený** (naštěstí si to nemusíme představovat), ale hladký (riemannovský), a proto ho lze v každé oblasti aproximovat rovným prostoročasem speciální teorie relativity. To je jeden ze základních principů obecné teorie relativity.

Unášení pozorovaných galaxií nadsvětelnou rychlostí je jedním z klíčů k astronomickému rozpoznání, že je třeba používat obecnou teorii relativity. Tyto galaxie jsou totiž od nás mnohem dále, než by to bylo možné podle speciální teorie relativity, a jsou proto vidět daleko slaběji, než by z této teorie plynulo [1].

Jak velké jsou vlastně oblasti praktické použitelnosti speciální teorie relativity? Kdy lze rozpínání prostoru zanedbat a kdy ne? **Ha...**

Co se vlastně rozpíná a co ne?

Zásadně platí, že libovolné objekty, mezi kterými nepůsobí žádné přitažlivé síly, jsou rozpínáním prostoru od sebe unášeny, a tudíž se od sebe vzdalují. To se hned projevuje měřitelně především u vzdálených galaxií. Obecnou teorii relativity však nelze zanedbat, ani když jsou ty objekty sice mikroskopicky blízko sebe, ale zabýváme se jejich dlouhodobým vývojem. Pak je také jejich vzdalování významné, jak hned uvidíme při diskusi rudého posuvu světla.

Jakmile jsou objekty vázány nějakými silami, je to otázka kdo s koho. Jednotlivé galaxie, o našich fyzikálních laboratořích ani nemluvě, jsou při dnešním tempu rozpínání vesmíru plně ovládnuty přitažlivými silami. Proto je rozpínání prostoru v jednotlivých galaxiích a také jejich kupách zanedbatelné a můžeme se – pokud se vyhneme silným gravitačním polím nebeských těles – spokojit s užíváním speciální teorie relativity.

Avšak síly mezi galaxiemi na vzdálenostech větších, než jsou rozměry jejich kup, jsou zanedbatelné, a proto jsou takové galaxie rozpínajícím se prostorem unášeny od sebe. Na kosmologických škálách je pak speciální teorie relativity zcela nepoužitelná. **Tam se projevuje obecně relativistický charakter rozpínání rozbíhání prostoru** naplno. Hubblova vzdálenost D_H k nim rozhodně patří.

Nicméně je dobré si uvědomit, že **rozpínání vesmíru se neděje jenom „někde tam daleko ve vesmíru“, ale i v prostoru u nás doma, podobně jako nám i doma plyne kosmický čas.** **kosmický čas a jeho tempo plynutí se možná v průběhu dějin Vesmíru mění !!** Naše budovy (planeta, sluneční soustava, galaxie) jsou však dostatečně pevné na to, aby to vydržely beze změny. Proto nám rozpínání prostoru až do Hubblova objevu ušlo.

Rozpínání prostoru vede ke kosmologickému rudému posuvu světla

Rudý posuv, **ve spektrech = plochy xy která je kolmá na přímku (v níž přichází vlnění světla) od svítících objektů** označovaný z , je pro astronomy ten nejspolehlivější údaj o kosmických objektech – umějí ho totiž (na rozdíl od vzdálenosti, rychlosti a absolutní světelnosti těchto objektů) dobře měřit. Proto stojí za to ho přesně definovat: **Vlnová délka světla v „ose z“ (spojnice Země – kvasar)** se zvětšuje faktorem $(1 + z)$. Jestliže se nezměnila, je rudý posuv nulový ($z = 0$).

Jaký účinek má rozpínání prostoru na světlo, které se v něm pohybuje? To v našem modelu snadno zjistíme. Znázorníme sousední hřebeny světelných vln, jejichž mikroskopická vzdálenost je vlnová délka světla, třeba dvěma stejnými broučky.

Jestliže necháme broučky lézt stejným směrem po dřevěné tyčce, **„v ose z“** zůstane jejich vzájemná vzdálenost zhruba stále stejná. Vlnová délka zůstává beze změny, při pohybu světla **„v ose z“** nevzniká podle speciální teorie relativity žádný rudý posuv **„v ose xy“** ($z = 0$).

Necháme-li ale lézt broučky po naší gumové šňůrce, kterou přitom napínáme ([obrázek 4](#)), pak jejich vzájemná vzdálenost poroste. **„v ose z“ (mění se intervaly délkové za stejnou jednotku času)** Stejným způsobem roste podle obecné teorie relativity při rozpínání prostoru vlnová délka světla. **„v ose z“** Rudý posuv vzniká **„v ose xy“**, tedy **„vzniká na průmětně Pozorovatele“** během letu světla rozpínajícím se prostorem. **Otázka : bude-li se natahovat gumička v „ose z“ (spojnice Země- kvasar) proč se posouvají „čáry ve spektru xy právě v ploše xy“ ??** Mezi hřebeny světelných vln (stejně jako mezi broučky) nepůsobí vnitřní síly, které by je držely na stále stejné vzdálenosti. Proto zcela podléhají rozpínání prostoru ($z > 0$).

Vlnová délka světla při jeho pohybu vesmírem (**v ose „z“ spojnice Země- kvasar**) k nám narůstala postupně a v různých dobách různě rychle podle toho, jak rychle se zrovna prostor rozpínal. Výsledný rudý posuv **na plátně xy** tedy závisí na historii rozpínání prostoru, tudíž zachycuje dlouhodobý vývoj vesmíru. Proto se mu říká kosmologický rudý posuv. Obecně platí, že **se vlnová délka prodloužila tolikrát, kolikrát se za dobu letu světla k nám zvětšila vzdálenost mezi místem jeho emise a námi. ??? kvasar se za 12 miliard let od nás vzdálil o 11 miliard světelných let a...a že by se i takto zvětšila „vlnová délka světla“ ??? z kvasaru ?? v „ose z“ ?** Pro blízké galaxie je rudý posuv **z** blízký nule, pro vzdálené galaxie je ale velký, protože k nám světlo od nich letělo dlouho, a tak se jeho vlnová délka dlouhou dobu prodlužovala. (**vlnová délka, původně emitovaná kvasarem v době po jeho vzniku, např. 400 nm, se za 11 miliard let časového intervalu, prodlouží na 500nm ...o kolik milimetrů se posune „rudý posuv“ čar ??** Měření rudého posuvu u galaxií na různých vzdálenostech tak poskytuje informaci o historii rozpínání prostoru. **Takže je tu přímá úměrnost : že každou miliardu let času se prodlouží jednak vlnová délka v ose „z“ a jednak „posuv čar ve spektru v rovině xy“ ? ano ? Neevokuje Vám to pootáčení soustav ?**

Všimněme si, že jsme o zdroji toho světla a případném pohybu onoho zdroje nemuseli vůbec nic vědět. **O.K.** Celá úvaha byla na tom **kvasaru** nezávislá, tudíž

nejde o Dopplerův jev způsobený pohybem zdroje, viz omyl (ii). [8\)](#) **chcete říci, že dopplerovo prodlužování vl. délky je závislé jen na „stáří“ Pozorovatele kdy ho měřil ?**

Pokud se zdroj nebo pozorovatel pohybují vzhledem k jejich okolnímu prostoru, vzniká v důsledku Dopplerova jevu dodatečný kladný nebo záporný příspěvek **v metrech** k rudému posuvu. **V rovině „xy“, ano ?** Celkový rudý posuv je pak kombinací kosmologického a dopplerovského rudého posuvu. ???

Při přesných měřeních rozdílů mezi rudými posuvy (jako v případě reliktního záření) je třeba vzít pohyb Země v úvahu. Příslušný postup umožňuje definovat všude v prostoru pevné body. Jsou to polohy takových myšlených pozorovatelů, kteří vidí reliktní záření stejné ve všech směrech, viz [2]. Dopisní spony na gumové šňůrce takové body znázorňují.

Při studiu vzdálených galaxií a kvasarů s kosmologickým rudým posuvem blízkým jedné a větším je dodatečný příspěvek k rudému posuvu zanedbatelný. Jejich typická rychlost pohybu vůči okolnímu prostoru je jen asi 1000 km/s, což vede k dopplerovskému rudému posuvu jenom okolo $\pm 0,003$. Vzdálené galaxie lze tedy při astronomických měřeních ve velmi dobrém přiblížení považovat za prakticky nehybné vůči okolnímu prostoru. Proto je oprávněné znázornit vzdálené galaxie pevně přidělanými dopisními sponami.

Pomocí kosmologického rudého posuvu světla by se dalo v principu zjistit rozpínání prostoru i v místnosti, ve které čtenář tohoto článku právě sedí. Jeho předpokládané hodnoty jsou však na tak malé škále zcela neměřitelné. V našem okolí tedy nehraje rozpínání prostoru žádnou bezprostřední roli.

Připomínáme, že energie světla je nepřímo úměrná jeho vlnové délce. Proto světlo (každý foton) během svého letu v důsledku rozpínání prostoru a z něj plynoucího růstu vlnové délky ztrácí energii úměrně $1/(1+z)$. Teplota reliktního záření je úměrná jeho energii, to znamená, že jeho teplota v důsledku kosmologického rudého posuvu také klesá úměrně $1/(1+z)$.

Jak se popisuje rozpínání prostoru

Ještě jedno zamyšlení nad gumovou šňůrkou nám napoví, že průběh **rozpínání prostoru s časem** „konstantní“ zvětšení prostoru v „konstantním“ přírůstku času by **dávalo konstantní „rychlost“ vééé...** se dá popsat jedinou funkcí času $a(t)$. Ta vyjadřuje, jak se v kosmickém čase t vzdálenost $D(t)$ mezi libovolným párem od sebe dost vzdálených galaxií liší od jejich vzdálenosti dnes. ??? Jsou úměrné jejich dnešním vzdálenostem a $a(t)$ je faktor této úměrnosti,

$$D(t) = a(t)D(t_0).$$

Dnes je $a(t_0) = 1$, v minulosti bylo $a(t)$ menší než 1 a brzy po velkém třesku bylo $a(t)$ téměř nula. V budoucnu asi $a(t)$ dále poroste. Tato funkce v podstatě popisuje, jak rostou kosmologické škály při rozpínání prostoru. Funkce $a(t)$ se proto nazývá kosmický škálový faktor. Závislost $a(t)$ na kosmickém čase t je v podstatě historie rozpínání vesmíru.

Pro kosmický škálový faktor plyne z obecné teorie relativity rovnice, kterou sestavili a studovali Einstein, Friedmann, Lemaître a jiní znalci této teorie. Tato rovnice popisuje časový vývoj $a(t)$ v závislosti na **hustotě hmoty obsažené ve vesmíru která je konstantní ??** a na hodnotě kosmologické konstanty. Tyto potřebné údaje jsou bohužel nejisté.

Co vesmír obsahuje?

Tady narážíme na problémy, se kterými zápasí astronomové a kosmologové aspoň těch 80 let:

- Jaké druhy hmoty a v jakém množství vesmír vlastně obsahuje?
- Je kosmologická konstanta nenulová, a pokud ano, tak jak je velká?

Trochu se ví a hodně se spekuluje, což by však bylo téma pro jiný dlouhý článek. Zde shrneme jen ty poznatky, které jsou dnes poměrně spolehlivé. ⁹⁾ Hmoty ve vesmíru je (alespoň) dvou druhů:

- Viditelná hmota jsou hvězdy, mezihvězdný plyn a prach; počítají se sem také černé díry (protože vznikly kolapsem viditelných hvězd).
- Temná hmota je ta, která nevyzařuje ani neodráží světlo, je opticky neviditelná jako vzduch, a tedy vlastně vůbec není temná. Je ale nápadná svou gravitační přitažlivostí. Ve vesmíru je jí daleko více než hmoty viditelné. Obklopuje viditelné galaxie.

Kosmologická konstanta je přirozenou součástí Einsteinovy obecné teorie relativity (i když ji Einstein sám brzy z estetických důvodů neoprávněně zavrhl). Často se místo ní mluví o energii vakua nebo o hypotetickém poli (kvintessenci) s podobnými účinky [4]. Z nedostatku pochopení fyzikální podstaty těchto pojmů zavedli pro ně kosmologové souhrnné pojmenování: temná energie. ¹⁰⁾ Ani ona není doslova temná, protože je také opticky neviditelná, ale přívlastek „temná“ si asi přesto zaslouží kvůli záhadnosti své fyzikální podstaty. Nyní stručně pár pozoruhodných údajů:

- Oba druhy hmoty zpomalují (brzdí) rozpínání prostoru, zatímco temná energie je urychluje.
- Hustota obou druhů hmoty klesá při rozpínání prostoru („oblak prachu“ se zředuje).

– **Hustota temné energie se přitom nemění, a tak při rozpínání prostoru temné energie přibývá.** Odehrává se s ní tedy něco zcela nezvyklého. **Rodí se hmota-energie ve vakuu na planckových škálách, protože tu čp „se zcvrkává“, tedy tu se zvětšuje jeho objemová křivost. Každý křivý stav dimenzí čp je novým stavem hmoty-energie.**

– Dnes je hustota temné energie ve vesmíru zhruba trojnásobkem hustoty energie obsažené v obou druhích hmoty vzatých dohromady.

– Součet hustoty energie obsažené v hmotě a hustoty temné energie má s velkou přesností právě takzvanou „kritickou“ hodnotu, která způsobuje, že prostor je euklidovský. **na globální úrovni ...; křivosti velkoškálové se rozbalují a křivosti**

mikroúrovni) plankových velikostí) se sbalují, projevem „vřící pěny“ čp dimenzí... Tento fakt byl platný po celou dobu dosavadního vývoje pozorovatelného vesmíru.

Po přestávce s komentářem pokračovat...

Historie rozpínání prostoru

Vložíme-li právě uvedené údaje do zmíněné rovnice pro $a(t)$, vyjde nám, že se původně velmi rychlé rozpínání prostoru prvních 7 Gyr po velkém třesku zpomalovalo, zatímco v následujících 7 Gyr se zase zrychluje. To odpovídá soudobým astronomickým pozorováním. Brždění bylo způsobeno převládáním hustoty hmoty. Ta se ale zředila, a tak teď převládá konstantní nenulová hustota temné energie.

Kvantitativní popis historie rozpínání prostoru, založený na těchto poznatcích, nám poskytuje řadu dalších zajímavých údajů o vesmíru. Z nich vybíráme především, že všechny pozorované galaxie a kvasary s rudým posuvem $z > 1,5$ jsou dnes od nás ve větší vzdálenosti, než je Hubbleova vzdálenost $D_H = 14$ Gly. ¹¹⁾ Jsou od nás tedy unášeny nadsvětelnou rychlostí. Pozorování takových objektů je ale dnes pro astronomy běžné, a často je hlášen nový rekord ve velikosti nalezené hodnoty z . V době psaní tohoto článku je nejvyšší známá hodnota u kvasarů okolo $z = 6,4$. Takový kvasar je od nás unášen rychlostí okolo $2c$.

Obzvlášť zajímavá je historie zdroje reliktního záření

V době emise, to jest 0,0004 Gyr po velkém třesku, to bylo žhavé vodíkové a heliové plazma s teplotou asi 3000 K, jehož rychlost unášení od místa, kde jsme dnes my, byla něco přes $50c$. Dnes jsou z něj pravděpodobně obyčejné galaxie ve vzdálenosti okolo 46 Gly, unášené od nás „jenom“ rychlostí $3c$. Reliktní záření samo mělo při svém vzniku stejnou teplotu jako plazma. Z poklesu jeho teploty na dnešní hodnotu 2,7 K plyne, že jeho kosmologický rudý posuv je dnes $z \sim 1100$. Za dobu letu reliktního záření k nám se tedy vesmír rozepnul zhruba faktorem 1100. Zdroj reliktního záření, dnes vzdálený oněch 46 Gly, byl tedy v době vzniku tohoto záření vzdálen od místa, kde dnes jsme, jenom asi $46/1100 = \sim 0,04$ Gly, tedy pouhých 40 milionů světelných let (to je zdánlivě blízko, ale takové byly tehdy kosmologické škály). Zato se ale vzdaloval opravdu rychle.

Chceme-li pomocí rovnice pro $a(t)$ pohlédnout do vzdálené budoucnosti, zjistíme, že hustota hmoty bude zanedbatelná a že na rozpínání prostoru bude mít dominantní vliv temná energie. Takovou možností se zabýval již de Sitter. V jeho modelu lze snadno spočítat (viz [1]), že pak $a(t)$ roste s časem exponenciálně rychle, a to tím rychleji, čím je hustota temné energie větší. Na ověření této předpovědi dnešní kosmologie si ale budeme muset počkat pár Gyr. Pokud je pravdivá, začnou v budoucnosti ještě daleko vzdálenější mizet vzdálené galaxie z dohledu. Budou velice zředěné a tak vzdálené a „zrudlé“, že je téměř nebude vidět. Také reliktní záření podstatně ochladne. Vesmír na velkých škálách bude nudný.

Pohyb světla v rozpínajícím se prostoru

Jelikož speciální teorie relativity lokálně platí, pohybuje se světlo na každém místě ve vesmíru rychlostí c vůči okolnímu prostoru. Přitom je ovšem tímto prostorem také unášeno (viz [obrázek 4](#)). Stejně jako plavec v řece může být unášen proudem ve směru toku, i když plave proti proudu, může být světlo letící směrem k nám unášeno rozpínáním prostoru od nás pryč. Snadno si to ověříme pomocí napínané gumové šňůrky, když necháme lézt broučka směrem k panu Hubblovi, a přesto jeho vzdálenost od pana Hubbla poroste.

Dnes je situace taková, že všechno světlo nacházející se od nás dál, než je Hubblova vzdálenost, je od nás unášeno pryč. Jak to, že tedy můžeme pozorovat objekty, které jsou dál než D_H ?

Odpověď je, že světlo z těchto objektů, které k nám dopadá dnes, vzniklo před dávnou dobou, což má dva důsledky. Zaprvé vzniklo o hodně blíž k nám, než je dnešní vzdálenost jeho zdroje. Zadruhé se rozpínání vesmíru během jeho pohybu dlouhou dobu zpomalovalo. I když bylo světlo na začátku unášeno od nás, zpomalení rozpínání způsobilo, že se po nějaké době začalo přece jen přibližovat k nám – jako se změnil směr pohybu plavce, když proud v řece dostatečně zeslábne. Souhra těchto dvou důsledků rozpínání prostoru a stáří světla nám umožňuje vidět i objekty unášené od nás nadsvětelnou rychlostí.

Ovšem jen tak, jak vypadaly v minulosti, v době kdy bylo světlo, které dnes vidíme, vyzářeno. Proto je reliktní záření obrazem plazmatu brzy po velkém třesku. Asi 4 Gyr bylo toto světlo unášeno od nás, pak se k nám ale zase začalo přibližovat.

Vztah mezi dobou pohybu světla k nám a vzdáleností jeho světelného zdroje je obecně v důsledku rozpínání prostoru trochu složitý. Zde můžeme jen upozornit, že odhad vzdáleností obdrženy vynásobením rychlosti světla c dobou pohybu světla je při dobách větších než několik Gyr podstatně nesprávný. Skutečné vzdálenosti podceňuje, protože rozpínání prostoru zanedbává. To se projevuje například na dnešní vzdálenosti zdroje reliktního záření – a tedy na poloměru pro nás pozorovatelné části vesmíru. Je zhruba třikrát větší, než by vyšlo z takového nesprávného odhadu ($c \times 14 \text{ Gyr} = 14 \text{ Gly}$).

Energie se při rozpínání prostoru nezachovává

Při úvahách o rudém posuvu světla při jeho pouti rozpínajícím se prostorem vzniká nevyhnutelně otázka, kam se poděla ta část jeho energie, která mu ubyla v důsledku přírůstku jeho vlnové délky.

Podle soudobého chápání rozpínání prostoru se tato energie prostě ztrácí. Zákon zachování energie při rozpínání prostoru není použitelný. To je důsledek spolehnutí na obecnou teorii relativity, ve které zákon zachování energie platí jen za určitých dodatečných podmínek. Ty ale právě v rozpínajícím se prostoru splněny nejsou (i když jsou splněny při většině jiných aplikací této teorie). Proto se také může prostor rozpínat při konstantní hustotě temné energie. Celková energie v rozpínajícím se objemu přitom přece roste!

Nezávidíme čtenáři jeho pocitu, když je poprvé konfrontován s touto představou. Většinou jsme vyrůstali v přesvědčení o neomezené platnosti zákona zachování

energie. Pro jeho platnost mluví všechny dosavadní zkušenosti fyziků, chemiků, inženýrů a vynálezců. Proto zdůrazněme, že všechny tyto dosavadní zkušenosti byly nashromážděny za podmínek, kdy je rozpínání prostoru zcela zanedbatelné. Extrapolace na situaci, kdy tomu tak není, je neoprávněná a vede k omylu (iv).

O teoretických spekulacích a jistotě

V tomto článku se pečlivě vyhýbáme nesčetným zajímavým spekulativním teoriím, kterými dnes kosmologie a jí blízké oblasti fyziky žijí. Týkají se především té nejranější doby vývoje vesmíru, příčiny a průběhu velkého třesku. Některé získaly i ve veřejnosti popularitu, která by mohla snadno zastřít skutečnost, že ještě vůbec nejsou ověřeny experimenty nebo pozorováním.

To, že se zde snažíme zůstat na pevné půdě, ale také není zárukou, že vylíčené soudobé teoretické chápání rozpínání prostoru je už konečné. Například bude v budoucnu zajímavé, zda přesnější měření potvrdí kosmologický princip. Je vesmír na kosmologických škálách skutečně tak jednoduchý? Jsou přírodní zákony všude ve vesmíru stejné? [4] A také představy o podstatě temné energie zjevně nesou rysy teoretické spekulace. Nejlepší bude, když si čtenář v budoucnu aspoň každých 10 let zjistí, co je v kosmologii nového a jak to s těmi teoretickými spekulacemi dopadlo.

Na závěr je třeba zdůraznit, že rozpínání prostoru je přírodní jev plynoucí z obecné teorie relativity a potvrzený mnoha pozorováními v astronomii. Není to žádná spekulace, nýbrž jistota. I když se možná nakonec ukáže být trochu složitější, než jsme ho zde popsali, jistě zůstane spolu s Galileovým „Eppure si muove“ [2] jedním ze základních objevů v kosmologii.

V našem denním životě nehraje sám fakt rozpínání prostoru prakticky žádnou roli, ovlivňuje nás ještě méně než skutečnost, že Země obíhá kolem Slunce. Podobně jako pohyb Země kolem Slunce se ale stává významnou složkou našeho chápání přírody.

Poděkování: Koncept tohoto článku je založen na řadě populárněvědeckých publikací různých autorů, obzvláště dobře napsán je článek Ch. Lineweavera a T. Davisové [5]. Děkuji prof. J. Hořejšímu za pozvání přednášet na toto téma na Matematicko-fyzikální fakultě Karlovy univerzity a za cenné připomínky, Ing. J. Smižanské a Dr. M. Jersákovi za podněty k vylepšení textu.