## Relativistické modely

Z kosmologického principu pro reálný vesmír vyplývá, že vesmír musí být v každém daném čase trojrozměrným prostorem **s konstantní křivostí**. Vesmír tedy musí být v daném čase v každém místě stejný, takže každý pozorovatel naměří ve velkém měřítku stejné celkové zakřivení prostoru.

Křivost je matematický pojem, který se zavádí jak pro křivky v rovině, tak pro plochy v prostoru. Křivost v daném bodě křivky v rovině určuje převrácená hodnota poloměru oscilační kružnice dané křivky v daném bodě. Oscilační kružnice křivky v daném bodě je kružnice, která tuto křivku v uvažovaném bodě nejlépe nahradí. Analogicky se zavádí křivost i pro plochy v prostoru. Křivost plochy v daném bodě je dána převrácenou hodnotou poloměru oscilační kružnice, která danou plochu v daném bodě a v daném směru nejlépe nahrazuje. Např. kružnice je křivka, která má v každém bodě stejnou křivost, tj. jde o křivku konstantní křivosti.

Oskulační kružnice je tedy kružnice, která se v daném bodě ke křivce nejlépe přimkne, splyne s ní.

Pro plochy v prostoru je to podobné. Plocha v prostoru vypadá obecně podobně jako zvlněný létající kobereček či plastická mapa pohoří. Nahradit tuto plochu v daném bodě a daném směru oskulační kružnicí, znamená např. vybrat na plastické mapě Krkonoš Sněžku, mapu rozříznout ve směru sever - jih a snažit se nahradit kružnicí místo ležící 100 m pod vrcholem Sněžky, přičemž sledujeme pouze vzniklý řez na mapě.

Křivost obecně může být:

1. kladná - tuto křivost má např. kružnice, koule, ...;
2. nulová - nulovou křivost má přímka nebo rovina
3. záporná - tuto křivost má povrch sedla.

Ve fyzice se obecně jedná o čtyřrozměrný zakřivený prostoročas. Jako analogie poslouží dvourozměrná plocha kulová, rovinná a sedlová. Na základě výpočtů obecné teorie relativity existují tyto tři možné modely vesmíru:

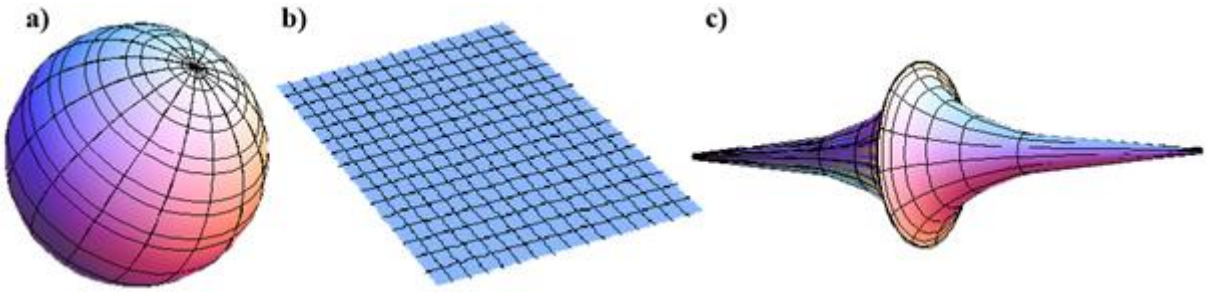
1. prostor s konstantní kladnou křivostí - jeho geometrie je geometrie čtyřrozměrné koule ve čtyřrozměrném euklidovském prostoru. Tento prostor je konečný, uzavřený a neohraničený.
2. prostor s nulovou křivostí - plochý prostor, který je nekonečný, otevřený, neohraničený.
3. prostor s konstantní zápornou křivostí - jeho geometrie je geometrie čtyřrozměrné pseudosféry ve čtyřrozměrném pseudoeuklidovském prostoru. Je nekonečný, otevřený a neohraničený.

Trojrozměrné modely čtyřrozměrných prostoročasů jsou zobrazeny postupně na obr. 109a až obr. 109c.

Koule (zobrazená na obr. 109a) a pseudosféra (zobrazená na obr. 109c) jsou tělesa, na jejichž povrchu neplatí běžná euklidovská geometrie, s níž se setkáváme v rovině. V euklidovské geometrii je součet vnitřních úhlů v trojúhelníku roven $180°$, daným bodem lze vést jednu přímku, která je s danou přímkou rovnoběžná, ... Tyto a další vlastnosti na povrchu koule a na povrchu pseudosféry neplatí.

Např. na kouli můžeme sestrojit trojúhelník (tj. útvar, který má 3 strany, které leží na povrchu daného tělesa - tj. na kouli), v němž je součet vnitřních úhlů roven $270°$. Tento tzv. sférický

trojúhelník lze obejít např. takto: vyjdeme ze severního pólu směrem na jih, dojdeme na rovník a odbočíme po rovníku na východ. Jakmile obejdeme po rovníku jeho čtvrtinu, odbočíme zpět na sever. Obešli jsme tak trojúhelník, který má všechny tři vnitřní úhly pravé.




Obr. 109

V charakteristikách jednotlivých modelů (prostorů) se vyskytly vlastnosti, které mají následující význam:

1. konečný prostor - jedná se o prostor, který má konečný poloměr, objem, ...;

Konečný prostor lze tedy zavřít do koule, která má neměnný poloměr.

2. uzavřený prostor - jde o prostor, který je možné obejít, tj. vyjde-li pozorovatel z jednoho bodu a pohybuje se stále stejným směrem, dojde po **konečném** čase zpět do výchozího bodu, ale z druhé strany;

Koule je uzavřený prostor - je možné jí obejít např. po rovníku. Rovina v matematickém slova smyslu (tj. nekonečná rovina) uzavřená není: když vyjdeme z jednoho bodu, budeme se z něj při chůzi daným směrem stále vzdalovat.

3. neohraničený prostor - při cestě libovolným směrem nenarazí nikde pohybující se pozorovatel na žádnou překážku, kterou by nebylo možné překonat.

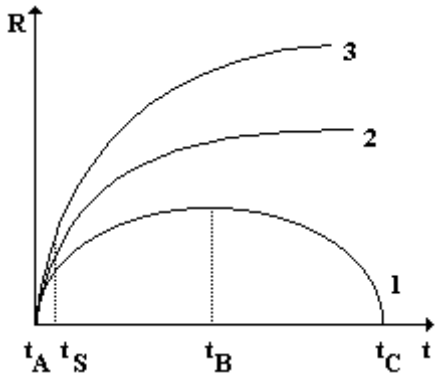
Model statického vesmíru neplatí, proto se vesmír vyvíjí v čase. Nejjednodušší je předpokládat, že **vesmír se rozpíná**. Toto rozpínání vesmíru má za následek, že elektromagnetické záření ze vzdálenějších objektů je posunuto do oblasti delších vlnových délek (tzv. kosmologický rudý posuv). Rozhraní vesmíru mezi pozorovatelnou a nepozorovatelnou částí vesmíru se nazývá **horizont vesmíru**.

Rozhraní mezi pozorovatelnou a nepozorovatelnou částí vesmíru tvoří povrch myšlené koule, která má střed v místě pozorování. Pozorovatel se přitom může (na základě koperníkovského principu) nacházet kdekoliv ve vesmíru.

Ve skutečnosti je možné pozorovat objekty (resp. signály z objektů), které se nachází blíže, než je horizont, neboť objekty na horizontu mají nekonečně velký rudý posuv.

Můžeme prostě vidět jen ty objekty, které jsou od nás tak daleko, že světlo stihlo od daného objektu k pozorovateli za dobu existence daného objektu (resp. za dobu existence vesmíru) dorazit.

Řešení Einsteinových rovnic obecné teorie relativity, které popisuje vývoj vesmíru, nalezl již v roce 1922 ruský matematik a kosmolog Alexander Alexandrovič Friedmann (1888 - 1925). On sám před nalezením řešení Einsteinových rovnic vyslovil předpoklad, že vesmír není statický. Pro různé hodnoty křivosti získal různý průběh závislosti velikosti vesmíru (poloměru vesmíru) na čase (viz obr. 110). Z toho pak vyplývají i různé tzv. **Friedmannovy modely**.



Obr. 110

Tvary křivek na obr. 110 popisují průběh vzájemné velikosti gravitační síly, kterou se vzájemně přitahují všechny objekty ve vesmíru, a počátečním impulsem, který uvedl původní látku vesmíru do pohybu.

Vývoj vesmíru závisí na tom, jak dopadne souboj mezi gravitační silou, která přitahuje navzájem všechny objekty ve vesmíru, a silou, se kterou byla na počátku vesmíru „rozfouknuta“ původní látka. To tedy znamená, že záleží na tom, kolik hmoty je ve vesmíru, protože gravitační síla působí na hmotné objekty. Pokud je ve vesmíru hmoty hodně, je velikost gravitační síly velká a rozpínání vesmíru se může zastavit. Je-li ve vesmíru hmoty málo, je velikost gravitační síly malá a rozpínání se nezastaví.

Navíc: malé množství hmoty ve vesmíru znamená, že počáteční „rozfoukávací síla“ udělila této hmotě větší zrychlení. Hmotnost látky ve vesmíru se během vývoje nemění.

Přesněji: platí zákon zachování energie ve spojení se zákonem zachováním hmotnosti podle speciální teorie relativity.

Jedná-li se o otevřený vesmír (křivky 2 a 3 na obr. 110), bude se vesmír neomezeně rozpínat z počáteční singularity - tzv. Velkého třesku (Big Bang). V případě křivky 3 se sice gravitační účinky vesmírných objektů rozpínání stále zpomalují, ale pohyb vesmírných objektů se nikdy nezabrzdí. V případě křivky 2 se jedná o tzv. **kritický model**, který odpovídá situaci, kdy se vlivem gravitační síly rozpínání zastaví. V případě křivky 1 bude vesmír expandovat až do dosažení určité maximální velikosti (v čase $t_B$ - tzv. Big Stop) a poté expanzi vesmíru vystřídá kontrakce vesmíru, která povede k dalšímu singulárnímu bodu (v čase $t_C$ - tzv. Velký Krach).

Uvedené tři modely vesmíru si lze představit v analogii vrhů těles: bude-li tělesu na povrchu Země udělena rychlost o menší velikosti, než je velikost únikové rychlosti, vzdálí se těleso od Země, ale zase se vrátí zpět (křivka 1). Bude-li mu udělena rychlost o velikosti větší než je velikost únikové rychlosti, těleso se nikdy zpět na Zem již nevrátí (křivka 3). Křivka 2 pak odpovídá tělesu, kterému bude udělena rychlost, jejíž velikost je rovna přesně velikosti únikové rychlosti - tj. jedná se o mezní případ mezi oběma dalšími.

---

**© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička**
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.