Zakřivený prostoročas

V klasické fyzice jsou vlastnosti prostoročasu (tj. prostorové a časové souřadnice) neměnné v závislosti na ději, který v daném prostoročasu probíhá. V obecné teorii relativity vlastnosti prostoročasu velice úzce souvisí s ději, které v daném prostoročasu probíhají.

Velmi blízkou analogií je představit si prostoročas jako jeviště, na kterém probíhají fyzikální děje - tj. hrají se divadelní hry. V klasické fyzice jsou vlastnosti jeviště pro danou hru neměnné a nezávisí na tom, co se na jevišti děje. V obecné teorii relativity se ale jeviště mění v závislosti na tom, co se právě hraje.

Světelný paprsek se pohybuje i v prostoročasu obecné teorie relativity po nejkratší možné spojnici dvou míst. V klasické fyzice (a ve speciální teorii relativity) je trajektorií světelného paprsku přímka. Vzhledem k tomu, že prostor v okolí silných gravitačních polích již není Euklidovský prostor, nepohybuje se paprsek po přímce, ale po tzv. **geodetice** (**geodetické křivce**).

GEODETIKA (GEODETICKÁ KŘIVKA) JE NEJKRATŠÍ SPOJNICÍ DVOU MÍST DANÉHO PROSTOROČASU.

Po geodetikách se tedy pohybuje světlo. V klasické fyzice a ve speciální teorii relativity jsou geodetikami přímky, v obecné teorii relativity to jsou obecně nějaké křivky.

Po geodetikách také létají letadla v atmosféře Země. Když během cesty sledujeme let letadla na mapě, zdá se, že pilot neletí nejkratší možnou cestou - spojnice startu cesty a cíle cesty není přímka. Na mapu se ale dívám na rovinném papíře resp. na rovinném displeji (počítače, GPS, ...), zatímco Země je kulatá. Ve skutečnosti letadlo letí opravdu nejkratší možnou cestou mezi danými dvěma městy.

Prostoročas je v gravitačním poli tedy zakřiven, což je možné chápat také tak, že gravitační síla a gravitační pole jsou projevem zakřivení prostoročasu.

Zakřivení prostoročasu si lze jednoduše představit pomocí názorné analogie. Prostoročas bude přestavovat trampolína, jakou používají artisté v cirkuse. (Analogicky si lze podobný experiment zrealizovat v domácích podmínkách pomocí dámské punčochy nebo prezervativu napnutého na okraj odpadkového koše nebo hrnce, na který budeme postupně pokládat předměty o různé hmotnosti.) Není-li na trampolíně žádné těleso, je membrána trampolíny rovná a představuje tak nezakřivený prostoročas (tzv. plochý prostoročas). Položíme-li na trampolínu velmi malou kuličku (a nebudeme-li uvažovat průhyb trampolíny, kterou kulička způsobí), bude se kulička pohybovat po úsečce, když jí uvedeme do pohybu cvrnknutím.

Postaví-li se na trampolínu malé děcko, trampolína se trošku prohne a začne představovat zakřivený prostoročas. Taková situace by mohla odpovídat např. prostoročasu v okolí Slunce (viz obr. 89 nebo obr. 91a)). Cvrnkneme-li nyní do velmi malé kuličky ležící na trampolíně, kulička se bude pohybovat po úsečce jen tehdy, bude-li daleko od děcka na trampolíně. Když se k děcku přiblíží, její trajektorie se zakřiví - kulička uhne ze svého původního směru.

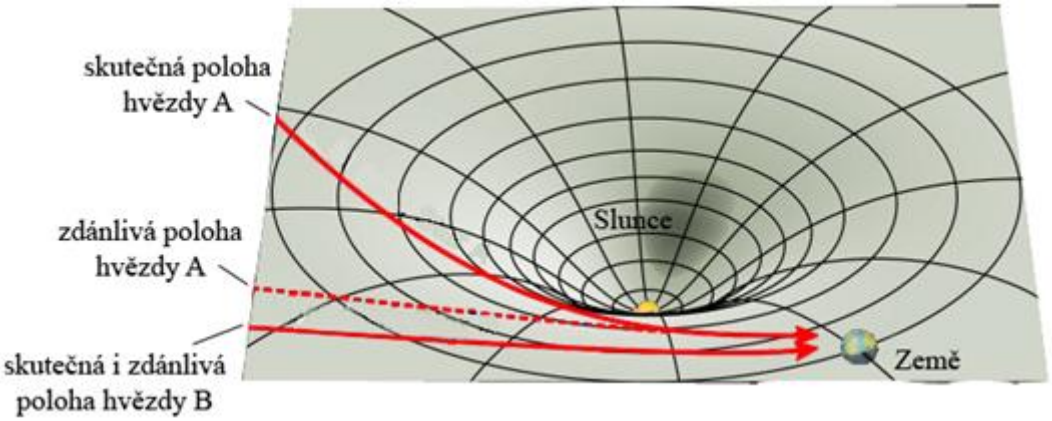
Postaví-li se na trampolínu velmi robusní muž, trampolína se prohne více a kulička bude měnit směr svého pohybu výrazně více, než v případě, kdy na trampolíně stálo dítě. Prostoročas je tedy v tomto případě více zakřiven.

Aby kulička změnila směr svého pohybu, musí na ní (podle Newtonových pohybových zákonů) působit nějaká síla. V případě experimentů na trampolíně je touto silou složka tíhové síly kuličky, která mění směr jejího pohybu. Ve skutečnosti (tj. v případě pohybů těles ve vesmíru) je tato síla daná samotným zakřivením prostoročasu.

Mohla by se vyskytnout námitka, že gravitační působení modelujeme pomocí gravitační síly resp. tíhy těles a že to je tedy velmi nevhodné. Je nutné si ovšem uvědomit, že se jedná skutečně

jen o model, o analogii, jak danou problematiku přiblížit reálné situaci. Skutečné příčiny vzniku gravitačních sil působících mezi tělesy zatím nejsou prozkoumány. Proto je nutné si prozatím vystačit s podobnými analogiemi. Nicméně myšlenka zakřiveného prostoročasu je dobrá, je matematicky podložená a lze pomocí ní vysvětlit jevy, které ve vesmíru probíhají, a objekty, které ve vesmíru existují. A to i přesto, že zatím podstata gravitace zatím není známa: existence gravitonů - částic, které by měly gravitační interakci zprostředkovávat (analogicky jako fotony přenášejí elektromagnetickou interakci), zatím nebyla experimentálně potvrzena.

Na obr. 89 je zobrazen zakřivený prostoročas v okolí Slunce. Na základě tohoto obrázku lze vysvětlit zakřivení světelného paprsku v gravitačním poli Slunci. Světlo z hvězdy *A* se pohybuje k Zemi v blízkosti Slunce - trajektorie tohoto světelného paprsku se tedy vlivem gravitačního pole Slunce zakřiví. Pozorovatel ze Země toto zakřivení při dopadu světla do dalekohledu (resp. do oka) nepozná, a proto si hvězdu nevědomky promítá do jiného směru, než ve kterém skutečně leží. Světlo z hvězdy B se pohybuje k Zemi dále od Slunce, a proto je gravitační působení Slunce již menší - světelný paprsek se nezakřivuje a chyba v určení polohy hvězdy nevzniká.



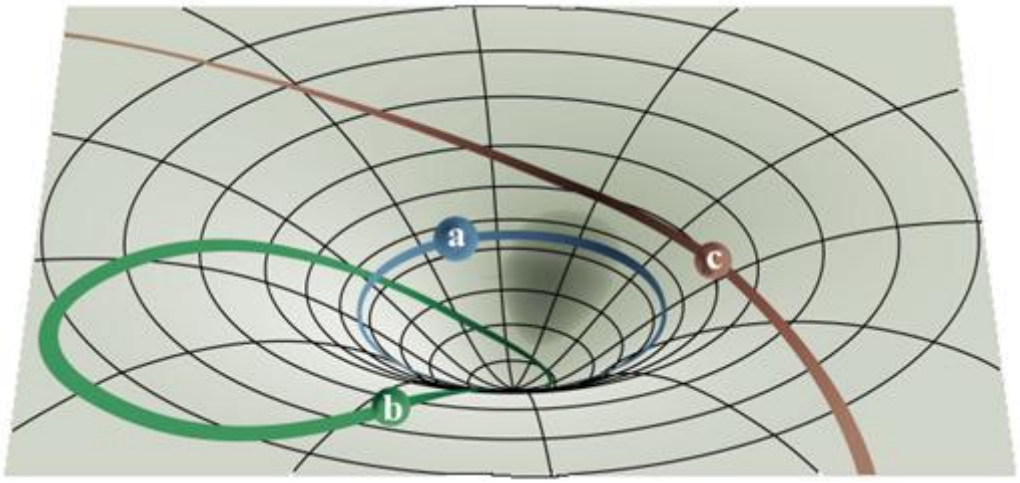
Obr. 89

Zakřiveným prostoročasem lze vysvětlit i pohyby v radiálním gravitačním poli (Země, Slunce, ...). Na obr. 90 je zobrazena situace pro pohyb těles v radiálním gravitačním poli Slunce. Těleso *a* koná pohyb po kružnici v konstantní vzdálenosti od středu Slunce. Těleso *b* se pohybuje po elipse (podle prvního Keplerova zákona).

Fakt, že v blízkosti Slunce (v periheliu své oběžné trajektorie) má obíhající těleso největší velikost své rychlosti a v nejvzdálenějším bodě od Slunce (v aféliu své oběžné trajektorie) má toto těleso nejmenší velikost rychlosti, lze vysvětlit v rámci zakřiveného prostoročasu. Když se pohybuje těleso ke Slunci, pohybuje se „do dolíku“, a proto zrychluje. Když se od Slunce vrací, pohybuje se „do kopce“, což vede ke zpomalení pohybu. Pohyb se zase urychlí, jakmile se těleso začne vracet zpět ke Slunci.

Těleso *c* se pohybuje po parabolické trajektorii nebo po hyperbolické trajektorii. Velikost rychlosti tělesa je tak velká, že gravitační síla Slunce nemá dostatečnou velikost na to, aby těleso přitáhla na uzavřenou oběžnou trajektorii.

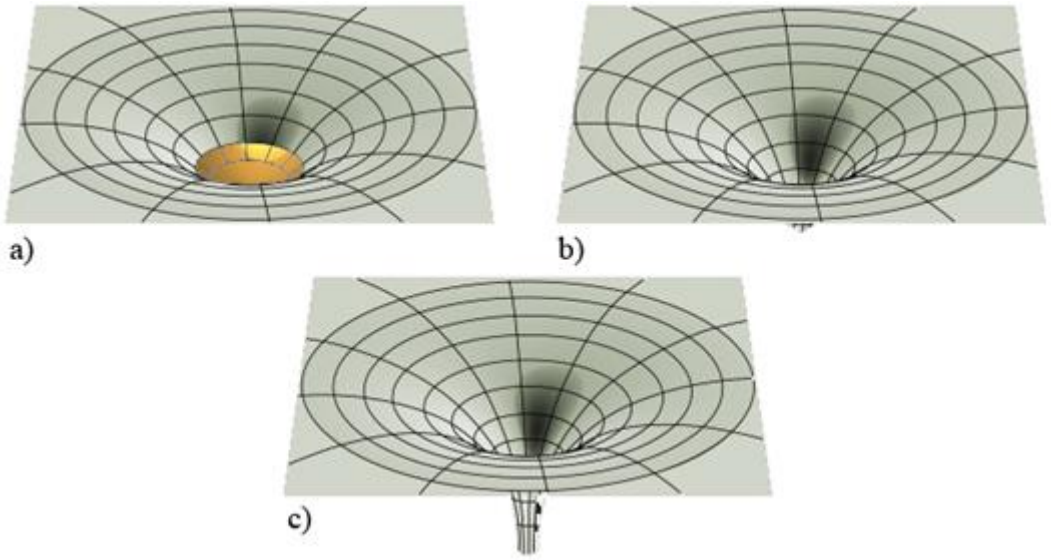
Těleso se pohybuje prostě tak rychle, že „důlek“, který Slunce v prostoročasu vytváří, projede bez výraznější změny své rychlosti.



Obr. 90

Na obr. 91 jsou zobrazeny různá stadia, kterými při vývoji hvězd prochází Slunce. Současné Slunce je zobrazeno na obr. 91a. Na obr. 91b je zobrazena situace, až se ze Slunce stane bílý trpaslík - gravitační pole v jeho okolí bude silnější, neboť Slunce zmenší své rozměry. Na obr. 91c je zobrazeno Slunce v zakřiveném prostoročase v hypotetickém případě, v němž se ze Slunce stala černá díra. Černá díra má rozměry ještě menší než bílý trpaslík, proto je i gravitační pole v jeho těsném okolí silnější.

Intenzita gravitačního pole daného tělesa v daném bodě v jeho okolí je nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti tohoto bodu od středu tělesa. Uvažujeme-li gravitační intenzitu na povrchu tělesa, pak je jasné, že s klesajícím rozměrem tělesa velikost gravitační intenzity roste.



Obr. 91

© 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.