

OBEČNÁ TEORIE RELATIVITY A EXPERIMENT

ÚVOD

První část slíbené trilogie pojednávající o obecné teorii relativity pro talentované středoškolské studenty již čtenář najde na tomto portálu. Celá trilogie je určena především pro talentované studenty gymnasií, ale nejen jim, samozřejmě. Jsem přesvědčen o tom, že mít úplně základní ale seriózní informace o soudobé teorii gravitace by měl nadaný absolvent střední školy mít. Není již přece možné, aby o gravitaci maturanti věděli ještě méně než to, co Newton objevil před třemi sty lety. Kam bychom došli.

OBEČNĚJŠÍ INFORMACE

Je dost důležité se trochu seznámit se vztahem fyzikální teorie a experimentu. Stačí jediný dobře prokázaný experimentální nesoulad mezi výsledkem dobře provedeného experimentu a předpovědí plynoucí z fyzikální teorie.

Pak je nutno celou teorii poctivě a důkladně přezkoumat, a nepodaří-li se nesoulad odstranit, vytvořit teorii novou. Na novou teorii jsou, samozřejmě, kladeny stejně přísné požadavky jako na teorii předchozí. My si v dalším všimneme toho, nakolik teoretické závěry obecné teorie relativity /Einsteinovy teorie gravitace/ obstály při observační prověrce. Z celé řady experimentů vybíráme ty nejdůležitější, abychom neztráceli čas poměrně jednoduchým, ale zdoluhavým výkladem speciálních případů.

Po vzniku obecné teorie relativity vznikly i jiné teorie gravitace, které jsou sice obecné teorii relativity podobné, ale nejsou s ní totožné. Aby se tyto experimenty daly zpracovávat jednotně, je dobré nejprve uvažovat o exaktních sféricky symetrických řešeních v těchto teoriích. Vezmeme malý parametr /např. $\epsilon \approx (GM/c^2 R)^{1/2}$, kde M je centrálně sféricky symetrická hmota, G je Newtonova gravitační konstanta a R značí poloměr zdroje / a provedeme rozklad exaktních řešení podle tohoto parametru.

Nebudeme-li nyní uvažovat vliv rotace Slunce, bude v takových parametrizovaných relativistických teoriích platit, že

$$ds^2 = - \left[1 - 2 \left(\frac{GM_{\text{Slunce}}}{c^2 r} \right) + 2b \left(\frac{GM_{\text{Slunce}}}{c^2 r} \right)^2 \right] c^2 dt^2 + \\ + \left[1 + 2g \left(\frac{GM_{\text{Slunce}}}{c^2 r} \right) \right] \left[dr^2 + r^2 (dJ^2 + \sin^2 J dj^2) \right]$$

kde γ a β značí dva parametry. Obecná teorie relativity zřejmě vyžaduje, aby

$$g = 1, \quad b = 1.$$

MĚŘENÍ PARAMETRU g

Velikost ohybu světelného signálu gravitačním polem Slunce v obecné teorii relativity označíme jako $(df)_E$ a přímo řekneme, že je rovna

$$(df)_E = 1,75''$$

pro paprsek od hvězdy, který prochází přímo u kraje Slunečního disku.

Provede-li se analogický výpočet pro zmíněný soubor gravitačních teorií zjistí se, že platí

$$df = \frac{1}{2}(1+g)(df)_E.$$

Dnešní měření velikosti ohybového úhlu se již neprovádí přímo světelnými signály, ale signály radiovými pomocí radiových teleskopů. Idea je stejná, bohatě se však využívá radiové interference realizované pomocí globální sítě radioteleskopů. Zmíněná měření vedou k hodnotě

$$|g-1| < 3 \cdot 10^{-4}.$$

V současnosti je ovšem znám i další efekt vedoucí k velmi přesnému získávání hodnoty parametru γ , jedná se o tak zvaný Shapirův jev (1964). Nechť je radarový signál vyslán ze Země v okamžiku t_V , odrazí se od družice (například Viking) a jeho příchod je na Zemi registrován v okamžiku t_P . Rozdíl

$$\Delta = t_P - t_V,$$

se nerovná newtonovskému časovému rozdílu. Provede-li se příslušný výpočet (s družicí Cassini jako odražečem) zjistí se již hodně přesně, že zmíněný soubor novějších gravitačních teorií vede ke korekci k newtonovské gravitační teorii. Tato korekce obsahuje pouze parametr g . Příslušné experimenty byly provedeny například s radarovým signálem procházejícím blízko Slunce. Výsledkem těchto experimentů je hodnota

$$g = 1 + (2.1 \pm 2.3) \cdot 10^{-5}.$$

MĚŘENÍ PARAMETRU β

Merkur je planeta nejbližší ke Slunci a její trajektorie má ve Sluneční soustavě největší obecně relativistickou změnu precesního úhlu jeho perihelia. Po odečtení všech známých poruch se zjistí, že obecná teorie relativity dává pro velikost precesního úhlu hodnotu

$$\Delta w_E = 42,98''$$

za sto let.

Vztah pro změnu precesního úhlu je jednoduchý

$$\Delta w = \frac{1}{3}[2 + 2g - b]\Delta w_E ,$$

A to dává následující omezení

$$|2g - b - 1| < 3 \cdot 10^{-3} .$$

Odkud se získá, že

$$b = 1,000 \pm 0,003.$$

Pokud se tyto výsledky obohatí ještě o důsledky podrobnějších úvah i měření týkajících se samotného principu ekvivalence zjistí se, že

$$b - 1 = (1,2 \pm 1,1) \cdot 10^{-4} .$$

TESTY V SILNÉM GRAVITAČNÍM POLI

Kvalitativně novou cestu ,experimentální i teoretickou ,otevřel v roce 1974 objev Hulse a Taylora a to dvojného pulsaru PSR 1913+16. Trajektorie pulsaru je silně excentrická, parametr e je dost velký. Pozoruhodným výsledkem je ,že byl velmi přesně prokázán kvantitativní soulad mezi velikostí energie vyzářené gravitačními vlnami (obecná teorie relativity) a odpovídající změny periody (experiment). Je jasné, že testování nových gravitačních teorií v těchto nových gravitačních laboratořích má význačnou budoucnost.

ZÁVĚR

Stanfordský experiment, mluví se též o Gravity Probe B experimentu, je úžasnou ukázkou aplikací nejmodernější měřicí techniky. Tento experiment začal 20.4.2004, kdy se raketa Delta II na oběžnou dráhu kolem Slunce vznesla a vynesla na své palubě nesmírně jemnou aparaturu umožňující měřit nepatrné efekty, kterými se od sebe mohou lišit různé skupiny relativistických gravitačních teorií. O výsledcích rozboru bychom měli být informováni v prosinci roku 2007.

V každém případě lze říci, že dnes není znám žádný provedený experiment, který by předpověděl obecné teorie relativity , v rámci měřicích chyb, odporoval.

Obecná teorie relativity je navíc dnes již teorií aplikovanou v běžném světě, například fungující GPS přístroje se bez její aplikace neobejdou. Lze tudíž konstatovat, že její aplikace musí být ve fyzikální kosmologii nutně realizována.

LITERATURA

Horský J.: Úvod do teorie relativity. SNTL Praha 1976

Straumann R.: General Relativity with Applications to Astrophysics. SPRINGER Berlin 2004