



# ***KOSMICKÉ ROZHLEDY***

**ROČNÍK 23 (1985) ČÍSLO 1**

**NEPERIODICKÝ VĚSTNÍK ČESKOSLOVENSKÉ ASTRONOMICKÉ SPOLEČNOSTI PŘI ČSAV**

# KOSMICKÉ ROZHLEDY, neperiodický věstník Československé astronomické společnosti při Československé akademii věd

ročník 23 (1985) číslo 1

Vojtěch Ullmann

## Žijeme v zakřiveném prostoročase

### 1. Úvod

Různě rychle plynoucí čas, gravitační "fata morgana" a gravitační čočky, drtivý gravitační kolaps vedoucí ke vzniku černé díry, nevídané efekty v okolí černých děr ukrývajících ve svém nitru děsivé singularity, možnost existence více vesmírů a topologické tunely umožňující "cestovat" mezi různými vesmíry, velký třesk ... To jsou jen některá hesla z "arsenálu" obecné teorie relativity, která pronikla do povědomí širší odborné i laické veřejnosti a usídlila se na stránkách vědecko-fantastické literatury. A to nehovoříme o vývodech nesprávných, plynoucích z chybné interpretace relativistických zákonitostí (sem patří např. různé "stroje času" umožňující cestování mezi budoucností a minulostí).

Přítom společným jmenovatelem všech těchto jevů v zakřiveném prostoročase je stará známá gravitace, s níž je ve formě zemské tíže každý člověk bezprostředně a neustále v kontaktu. Při letmém setkání s obecnou teorií relativity přijde na mysl otázka, proč něco tak známého a všedního jako je gravitace (resp. jak se gravitace jeví v pozemských podmínkách) popisovat a vysvětlovat tak podivně a složitě - přes neeukleidovskou geometrii prostoročasu. Tato problematika je důkladněji rozebírána jen v podrobných monografiích (např. /10/, /17/, /8/, /7/, /2/, /9/), zatímco v širší veřejnosti (často i mezi astronomy a fyziky pracujícími v jiných oblastech než teorie relativity a gravitace) o těchto otázkách jsou jen značně mlhavé a někdy i zkreslené představy. Většina lidí považuje obecnou teorii relativity a relativistickou astrofyziku za jakousi záhadnou vědu, jejíž principy neznají a jen prostě přijímají (nebo nepřijímají) její výsledky. Tato "mystičnost" relativistické astrofyziky je na jedné straně magnetem přitahujícím zájem širší veřejnosti, avšak pro skutečné zájemce by neměla být obestřena tajemstvím logika základních principů; záhadami vzrušujícími jeho fantazii by měly být skutečně nevyřešené problémy a sporné otázky, kterých je v daném oboru dost.

V tomto článku se pokusíme nastítnit řetězec úvah, který

od známých a obvyklých fyzikálních zákonů vede s logickou nevyhnutelností k interpretaci gravitace jako projevu geometrických vlastností zakřiveného prostoročasu a tím k oněm specifickým efektům, které se v obecné teorii relativity vyskytují. Důraz budeme klást na fyzikální (kvalitativní) stránku věci, bez matematických detailů.

## 2. Pohyb, prostor, čas, relativita

Jak je obecně známo, kromě poznání specifických "relativistických" efektů Einsteinova speciální teorie relativity způsobila hlubokou revizi intuitivních představ o prostoru a času. Speciální teorie relativity vychází ze základního postulátu (tzv. speciálního principu relativity) podle něhož fyzikální zákony jsou stejné pro všechny inerciální vztažné soustavy - všechny tyto inerciální soustavy jsou pro popis fyzikálních dějů rovnocenné, při stejných podmínkách probíhají fyzikální jevy stejně v každé inerciální soustavě nezávisle na rychlosti jejího pohybu. V Newtonově mechanice je speciální princip relativity splněn. Aby speciální princip relativity platil i pro jevy elektromagnetické popsané Maxwellovými rovnicemi, musí mít veličina  $c$  (obsažená v Maxwellových rovnicích buď přímo nebo přes permitivitu vakua a rovná rychlosti šíření elektromagnetických vln ve vakuu) ve všech inerciálních soustavách stejnou hodnotu. Tento důsledek platnosti speciálního principu relativity pro elektromagnetické děje byl experimentálně potvrzen optickými měřeními Michelsona a Morleye v r. 1886 a později několikrát znovu a přesněji ověřen. Tento výsledek A. Einstein ve své průkopnické práci v r. 1905 /2/ prohlásil jako obecný princip stálé rychlosti světla ve vakuu, podle něhož rychlost šíření elektromagnetických vln musí mít tutéž hodnotu  $c \approx 3 \cdot 10^8$  m/s ve všech inerciálních soustavách. Toto je v ostrém rozporu s obvyklými kinematickými představami vyjádřenými Galileiho transformacemi a založenými na koncepci absolutního prostoru a času - neplatí zde běžné pravidlo skládání rychlostí. Obvyklé Galileiho transformace souměrné mezi inerciálními soustavami musejí být nahrazeny obecnějšími transformacemi Lorentzovými.

Prostorové vzdálenosti a časové intervaly přestávají být absolutními veličinami - závisely na vztažné soustavě, z níž se měří (známé efekty kontrakce délek a dilatace času). Prostor a čas nemohou být chápány nezávisle na sobě, absolutní význam má pouze jejich spojení ve čtyřrozměrný prostoročas událostí: každá událost je charakterizovaná tím, kde se stala (tři rozměry prostorové) a kdy se stala (jeden rozměr - čas). Prostoročasová "odlehlost" neboli interval dvou událostí o souřadnicích  $t, x, y, z$  a  $t + \Delta t, x + \Delta x, y + \Delta y, z + \Delta z$

$$\Delta s^2 = -c^2 \Delta t^2 + \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2 \quad (1)$$

je nezávislý na tom, ze které inerciální soustavy je určová

Důležité je, že v inerciálních soustavách speciální teorie relativity geometrie jak prostoru, tak prostoročasu

je Eukleidova (přesněji řečeno, geometrie Minkowského prostoročasu je pseudoeukleidovská, protože časová souřadnice v "Pythagorově formě" (1) má záporné znaménko) - prostor i prostoročas je rovinný (nezakřivený), lze vždy zavést systém globálních kartézských souřadnic jak prostorových, tak prostoročasových.

Speciální teorie relativity, i přes svůj obrovský přínos pro téměř všechny oblasti fundamentální fyziky, má dva zásadní nedostatky (spolu vzájemně související): 1. Popisuje fyzikální zákony pouze z hlediska inerciálních vztažných soustav. 2. Neumožňuje důsledný popis gravitačních jevů.

V praxi jsme často nuceni sledovat fyzikální procesy z neinerčních vztažných soustav. Ukazuje se, že přirozeným formálním zobecněním lze v rámci speciální teorie relativity studovat fyzikální zákony i v neinerčních soustavách, takže první nedostatek by nebyl tak závažný. Závažnější je druhý nedostatek: za přítomnosti gravitace neexistují inerciální vztažné soustavy a speciální teorie relativity je zde globálně nepoužitelná. / Jak ale uvidíme dále, díky těsné souvislosti mezi gravitací a setrvačností si speciální teorie relativity v gravitačním poli zachovává lokální platnost; to umožňuje vybudování relativistické fyziky gravitace a prostoročasu - Einsteinovy obecné teorie relativity.

Všechna fyzikální měření a pozorování přírodních dějů vůbec jsou ve své podstatě vlastně založena na stanovení prostorových a časových relací, na zjišťování prostoročasových koincidenzí mezi dvěma událostmi. Každé elementární události (bodu prostoročasu) je přiřazena čtveřice čísel - souřadnice daného bodu - přičemž toto přiřazení se požaduje vzájemně jednoznačné a spojitě. Koincidence dvou prostoročasových událostí pak bude vyjádřena rovností všech jejich souřadnic. Splývají-li takto dvě prostoročasové události v jedné souřadnicové soustavě, musejí být tyto události totožné i v libovolné jiné souřadnicové soustavě. Soustava prostoročasových souřadnic je věcí volby a proto nemá žádný vztah k fyzikálnímu obsahu teorie. Lze tak vyslovit přirozený kinematický požadavek, aby fyzikální zákony platné v nějaké vztažné soustavě platily i v libovolné jiné vztažné soustavě: "všechny fyzikální zákony mají stejný tvar v libo-

+ / Pozn. red.: Je zřejmé, že Newtonova teorie gravitace je neslučitelná se speciální teorií relativity, neboť předpokládá okamžitě (t.j. současně vzhledem k absolutnímu času) působení gravitace na dálku, zatímco ve spec. teorii relativity je i "současnost" relativní. Bylo by možné hledat relativistické zobecnění Newtonovy teorie např. ve tvaru, v němž by se gravitační potenciál šířil od zdroje konečnou rychlostí v inerciální soustavě (přičemž prostoročas by měl stále Minkowského geometrii) Takové teorie však kvantitativně selhávají. Empiricky zjištěná univerzálnost gravitačního pole však implikuje principiální nerozlišitelnost gravitačního pole od pole setrvačných sil a vede tak (jak uvidíme dále) ke ztotožnění gravitačního pole s geometrií (neeukleidovskou) prostoročasu, čímž odlišuje gravitaci od ostatních interakcí.