

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 "arzenálu" 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 nastínit 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 souřadnic 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 pseudo-eukleidovská, 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 (ne-eukleidovskou) prostoročasu, čímž odlišuje gravitaci od ostatních interakcí.

volné vztažné soustavě". Toto je Einsteinův obecný princip relativity (zobecnění speciálního principu relativity), který vyjádřen matematicky zní: "všechny fyzikální zákony lze zapsat ve tvaru invariantním (kovariantním) vzhledem k transformacím prostorčasových souřadnic".

Speciální teorie relativity, která operuje většinou s inerciálními vztažnými soustavami, je schopna popisovat vlastnosti i nerovnoměrně se pohybujících objektů (relativistická dynamika). Vztažné soustavy spojené s nerovnoměrně (zrychleně) se pohybujícími tělesy nejsou inerciální, takže mezi nimi není přímo použitelná Lorentzova transformace. Avšak "ideální" (dostatečně pevné) hodiny, s nimiž pozorovatel v takové neinerciální soustavě měří čas, nemění svou strukturu a vlastnosti vlivem zrychlení, takže tyto hodiny půjdou stejně rychle jako inerciální hodiny pohybující se v daném okamžiku spolu s pozorovatelem. Podobně "ideální" (dostatečně tuhé) měřicí tyče neinerciálního pozorovatele budou ukazovat stejnou délku jako tyče pohybující se momentálně inerciálně spolu s ním. Tedy intervaly prostoru a času měřené různými pozorovateli závisí pouze na jejich (okamžitých) vzájemných rychlostech, nikoliv na jejich zrychleních. Z hlediska pozorovatele v inerciální soustavě je možno neinerciální (zrychlenou) vztažnou soustavu považovat za spojitou posloupnost jednotlivých inerciálních soustav a vztah prostorčasových souřadnic bude tedy dán Lorentzovými transformacemi s plynule proměnnými rychlostmi.

To, že zákony speciální teorie relativity platí i při obrovských zrychleních vyšších než asi 10^{28} m/s² (t.j. že prostorčasové relace, hmotnost, energie, hybnost atd. nezávisí na okamžitém zrychlení, ale pouze na okamžité rychlosti) se s vysokou přesností potvrzuje experimentálně při rozptylu částic o vysokých energiích.

Obecný princip relativity tedy tvrdí, že nejen systémy (pseudo)kartézských prostorčasových souřadnic spojené s inerciálními vztažnými soustavami, ale i libovolné jiné soustavy prostorčasových souřadnic jsou pro formulaci fyzikálních zákonů zcela rovnocenné. Na první pohled se zdá, že obecný princip relativity odporuje zkušenosti, protože v neinerciálních vztažných soustavách se objevují "fiktivní" setrvačné síly ovlivňující pohyb těles a průběh fyzikálních dějů. Původ takových sil však lze v rámci speciální teorie relativity snadno vysvětlit a vlastnosti těchto zdánlivých sil (jejich vliv na fyzikální jevy) mohou být vyjádřeny obecně invariantními rovnicemi.

V inerciální vztažné soustavě \tilde{S} v kartézských souřadnicích \tilde{x}^i ($i=0,1,2,3$; $\tilde{x}^0 = ct$, $\tilde{x}^1 = x$, $\tilde{x}^2 = y$, $\tilde{x}^3 = z$) má element prostorčasového intervalu tvar

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2 \equiv \eta_{ik} d\tilde{x}^i d\tilde{x}^k, \quad (2)$$

$$\eta_{ik} \equiv \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Přejdeme-li k libovolné soustavě prostoročasových souřadnic x^i v obecně neinerciální vztažné soustavě S pomocí transformace

$$x^i = x^i(\tilde{x}^k),$$

bude mít v těchto nových souřadnicích x^i prostoročasový interval tvar

$$ds^2 = g_{ik}(x^j) dx^i dx^k, \quad (3)$$

kde

$$g_{ik}(x^j) = \frac{\partial \tilde{x}^l}{\partial x^i} \frac{\partial \tilde{x}^m}{\partial x^k} \eta_{lm}$$

Jelikož vztažné soustavy \tilde{S} a S se vzhledem k sobě pohybují se zrychlením, transformace $S \rightarrow \tilde{S}$ nebude pevnou Lorentzovou transformací a veličiny $\partial \tilde{x}^m / \partial x^k$ budou obecně funkcemi místa a času. Neinerciální vztažné systémy jsou z matematického hlediska vlastně soustavami křivočarých prostoročasových souřadnic. Místo konstant η_{ik} se zde objevují nové veličiny $g_{ik}(x^j)$, jejichž funkční závislosti na souřadnicích x^j charakterizují neinerciálnost soustavy S . Protože tyto veličiny g_{ik} udávají předpis, jak pomocí rozdílů souřadnic měřit skutečné vzdálenosti v prostoročase, nazývají se v diferencíální geometrii metrický tenzor.

Rovnice pohybu volné testovací částice v inerciální soustavě \tilde{S} (t.j. zákon setrvačnosti)

$$\frac{d^2 \tilde{x}^i}{ds^2} = 0$$

vyjádřená v obecně vztažné soustavě S (t.j. v křivočarých prostoročasových souřadnicích x^i) má tvar

$$\frac{d^2 x^i}{d\tau^2} + \frac{\partial x^i}{\partial x^m} \frac{\partial^2 x^m}{\partial x^k \partial x^l} \frac{dx^k}{d\tau} \frac{dx^l}{d\tau} = 0.$$

Tato rovnice je invarianční vzhledem k libovolné transformaci souřadnic $x^i \rightarrow x'^i$ (při použití soustavy souřadnic x'^i dostaneme rovnici stejného tvaru, v níž x jsou nahrazeny x'). Rovnice pohybu volné hmotné částice při použití obecných křivočarých prostoročasových souřadnic x^i (v obecně neinerciální vztažné soustavě) má tedy tvar

$$\frac{d^2 x^i}{d\tau^2} + \Gamma_{kl}^i \frac{dx^k}{d\tau} \frac{dx^l}{d\tau} = 0, \quad (4)$$

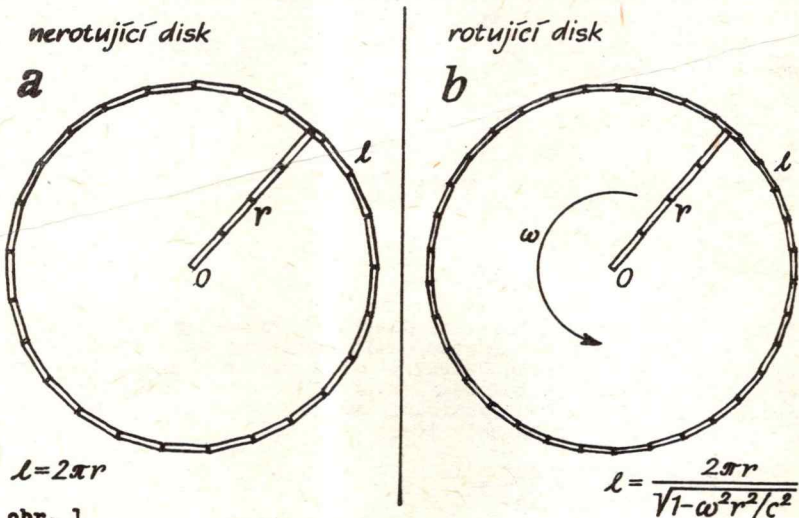
kde koeficienty Γ^i_{kl} lze vyjádřit pomocí metrického tenzoru:

$$\Gamma^i_{kl} = \frac{1}{2} g^{im} \left(\frac{\partial g_{mk}}{\partial x^l} + \frac{\partial g_{ml}}{\partial x^k} - \frac{\partial g_{kl}}{\partial x^m} \right) . \quad (5)$$

Tyto veličiny (popisující působení "zdánlivých" setrvačných sil na pohyb částice) obsahují složky metrického tenzoru a jeho derivace; nazývají se Christoffelovy koeficienty afinní konexe [12]. Rovnice (4) se nazývá rovnice geodetiky (zde se však samozřejmě jedná o přímku vyjádřenou jen v krivočarých souřadnicích).

Vidíme tedy, že pomocí veličin g_{ik} (tj. pomocí metriky) lze zachytit i zdánlivé síly působící na hmotná tělesa v neinerciálních vztažných soustavách S. Podobně všechny ostatní fyzikální zákony (např. zákony elektrodynamiky) lze vyjádřit v obecně invariantním tvaru platném v libovolné vztažné soustavě /9/. V takto zapsaných rovnicích explicitně figurují též složky metrického tenzoru g_{ik} a jejich derivace podle souřadnic. Přítomnost složek g_{ik} ve fyzikálních zákonech vyjadřuje vliv zdánlivých setrvačných sil, např. jejich působení na pohyb těles nebo na elektromagnetické jevy. V rámci speciální teorie relativity tak lze vybudovat obecně invariantní teorii zdánlivých setrvačných sil a jejich vlivu na všechny obecné fyzikální zákony (kromě gravitace).

Z hlediska inerciální vztažné soustavy speciální teorie relativity má prostor (trojrozměrný) Eukleidovu geometrii. V neinerciálních vztažných soustavách se však geometrie trojrozměrného prostoru stává neeukleidovskou! Snadno to lze ukázat na rotující vztažné soustavě (obr. 1). Mějme zpočátku



nerotující rovny kotouč, jehož střed O tvoří počátek inerciální vztahné soustavy S . Pozorovatel, který pomocí (dostatečně krátkých) měřicích tyčí měří rozměry tohoto kruhového disku, změní jeho poloměr r a obvod $l = 2\pi r$ v souladu s Eukleidovou geometrií. Pak disk roztočíme kolem jeho středu s úhlovou rychlostí ω vzhledem k inerciální vztahné soustavě. Jsou-li měřicí tyče i samotný disk dostatečně tuhé, lze roztažení odstředivou silou zanedbat a pozorovatel na rotujícím kotouči pomocí radiálně přikládaných měřicích tyčí naměří stejný poloměr r disku jako by rotace nebylo. Sleduje-li inerciální pozorovatel z S měřicí tyče, které pozorovatel na rotujícím disku přikládá k jeho obvodu za účelem změření obvodu l , pak tyto tyče se pohybují ve směru své délky obvodovou rychlostí ωr . Podle speciální teorie relativity bude každá taková tyč

$\sqrt{1 - \omega^2 r^2 / c^2}$ - krát kratší než v klidu. Pozorovatel na rotujícím disku proto zjistí, že mezi poloměrem a obvodem kruhového disku platí vztah

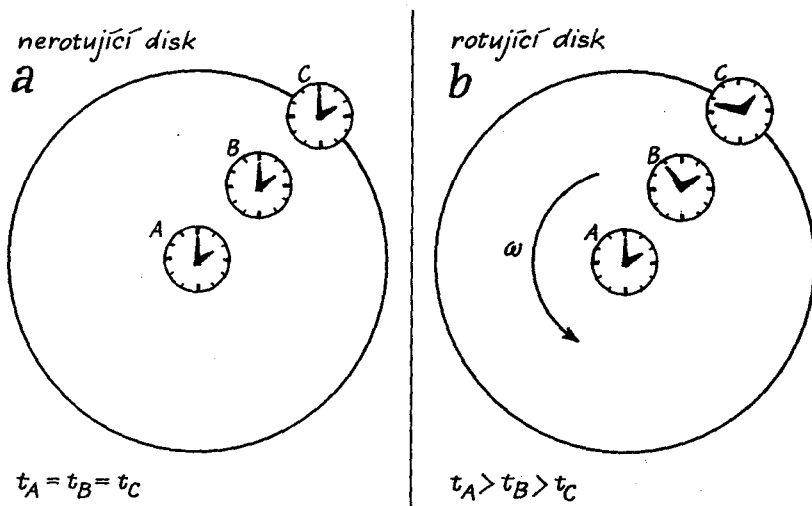
$$l = \frac{2\pi r}{\sqrt{1 - \omega^2 r^2 / c^2}} \quad (6)$$

Poměr mezi délkou kružnice a jejím poloměrem je zde různý od 2π , geometrie rotujícího disku je neeukleidovská. Vnější inerciální pozorovatel to vysvětlí kinematicky pomocí Lorentzových kontrakcí speciální teorie relativity, zatímco vnitřní pozorovatel rotující spolu s diskem (pro něhož budou všechny části disku v klidu) to bude považovat za důsledek "setrvačných" sil působících na všechna tělesa. Prohlásí, že tyto setrvačné síly odchyľují geometrii prostoru od Eukleidovy, přičemž míra této neeukleidovosti (zakřivení) prostoru je dána velikostí těchto setrvačných sil, t.j. odstředivou silou $\omega^2 r$.

Tedy prostorová geometrie v neinerciálních vztahných soustavách není obecně eukleidovská, nelze zde sestavit kartézskou soustavu prostorových souřadnic. Geometrie čtyřrozměrného prostoročasu zde však zůstává eukleidovská - vhodnou transformací se lze vždy vrátit k inerciální soustavě s (pseudo)kartézskými prostoročasovými souřadnicemi. Prostoročas zůstává i ve speciální teorii relativity pevnou "scénou", v níž se odehrávají fyzikální děje, avšak na samotné vlastnosti prostoročasu tyto fyzikální děje nijak nepůsobí.

K tomu, aby v inerciální soustavě dvoje hodiny identické konstrukce šly různě rychle, je třeba, aby se vůči sobě pohybovaly. V neinerciální vztahné soustavě však hodiny nacházející se v různých místech mohou jít různě rychle i tehdy, když se vzhledem k sobě nepohybují. Opět je to dobře vidět na příkladu rotující vztahné soustavy (obr. 2). Mějme kotouč rotující rychlostí ω (to bude neinerciální vztahná soustava S), na němž jsou ve středu rotace upevněny hodiny A, ve vzdálenosti r_B hodiny B a v ještě větší vzdálenosti r_C od středu další hodiny C. Z hlediska inerciální soustavy S (s počátkem ve středu rotace) budou hodiny A

v klidu, hodiny B budou mít rychlost ωr_B a hodiny C ještě větší rychlost ωr_C . Podle Lorentzovy transformace (dilatace



obr. 2

času) půjdou hodiny B pomaleji (a hodiny C ještě pomaleji) než hodiny A:

$t = t_A \sqrt{1 - \omega^2 r^2 / c^2}$. Z hlediska rotující vztažné soustavy S budou všechny troje hodiny vůči sobě v klidu, avšak každé hodiny jdou stejnou rychlostí jako příslušné inerciální hodiny pohybující se v daném okamžiku spolu s vyšetřovanými hodinami. O chodu hodin A, B, C zde bude proto platit totéž co z hlediska inerciální soustavy - vzhledem k hodinám A půjdou hodiny B pomaleji a hodiny C ještě pomaleji. Pozorovatel v inerciální soustavě S to vysvětlí dilatací času způsobenou jejich různým pohybem, zatímco pozorovatel v rotující soustavě (kde jsou všechny troje hodiny v klidu) to musí považovat za důsledek pole setrvačných sil s univerzálními účinky, které ve své soustavě pozoruje.

Obecný princip relativity vzatý izolovaně je však fyzikálně bezobsažný, protože každý fyzikální zákon lze formálně přepsat tak, aby vyhovoval obecnému principu relativity (měl stejnou formu ve všech vztažných soustavách), aniž se nějak rozšíří nebo prohloubí fyzikální význam tohoto zákona. Teprve spojení s principem ekvivalence, který fiktivní setrvačné síly v neinerciálních soustavách staví na roven

skutečně existujícím gravitačním silám, dává obecnému principu relativity hluboký fyzikální význam: vede od obecně invariantní teorie zdánlivých setrvačných sil k Einsteinově teorii gravitace.

3. Univerzálnost gravitace a geometrie prostoročasu

Základní klíč k pochopení souvislosti mezi gravitací, setrvačností a vlastnostmi prostoru a času měl vlastně již Galilei ve svém zákonu volného pádu, podle něhož všechna tělesa padají k zemi se stejným zrychlením nezávisle na svém složení a hmotnosti. Tato specifická vlastnost gravitace, nyní nazývaná univerzálností, zůstala dlouhou dobu fakticky nepovšimnuta. Teprve Albert Einstein pochopil, že právě univerzálnost gravitačního působení je nejdůležitější vlastností gravitace, vyvodil z toho patřičné fyzikální důsledky a vybudoval tak svoji obecnou teorii relativity.

Hmotnost tělesa se ve fyzikálních jevech projevuje v podstatě trojím způsobem a podle toho můžeme rozeznávat tři druhy hmotnosti:

1. Hmotnost setrvačná m_s , která je mírou odporu kladeného tělesem vůči zrychlování negravitačními silami podle 2. Newtonova zákona

$$\vec{F} = m_s \cdot \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} .$$

2. Pasivní hmotnost tíhová m_{tp} , která udává sílu, jakou na toto těleso bude působit dané gravitační pole s potenciálem φ : $\vec{F} = m_{tp} \cdot \text{grad } \varphi$.

3. Aktivní tíhová hmotnost m_{ta} určující, jak intenzivní gravitační pole bude dané těleso kolem sebe budít:

$$\varphi(r) = -G \frac{m_{ta}}{r}$$

pro bodové těleso.

Podle Newtonova zákona akce a reakce je aktivní a pasivní hmotnost každého tělesa stejná (resp. oba druhy hmotnosti si jsou úměrné s koeficientem rovným univerzální gravitační konstantě G).

Hmotná testovací částice se bude v gravitačním poli pohybovat podle rovnice

$$m_s \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = m_t \cdot \text{grad } \varphi \quad (7)$$

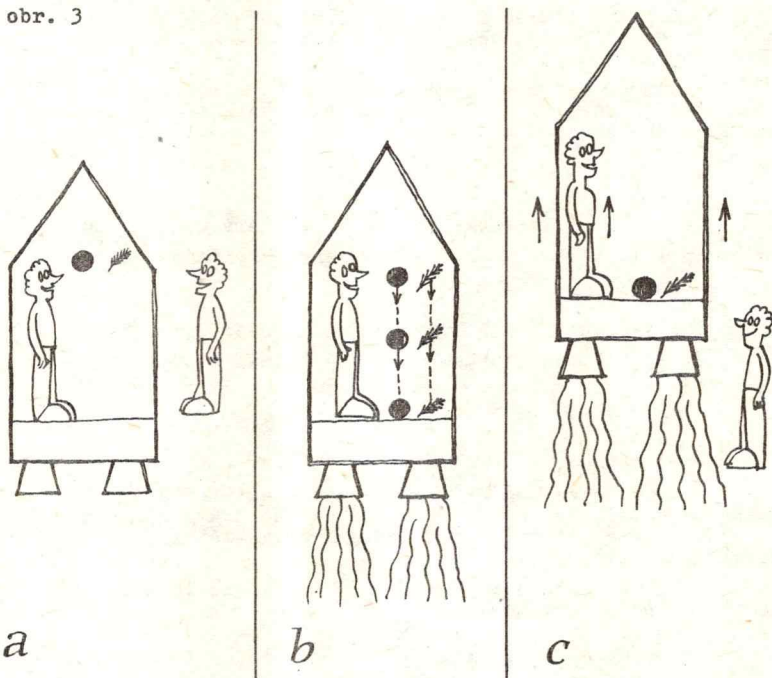
Univerzálnost gravitačního působení zde pak jinými slovy říká, že pro každé těleso je setrvačná a tíhová hmotnost stejná: $m_s = m_t$ (tyto hmotnosti jsou si úměrné a rovnosti se dosahuje vhodnou volbou jednotek). Hmotnosti v rovnici (7) se pak vykrátí a pohyb v gravitačním poli je dán rovnicí

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = \text{grad } \varphi ,$$

kteřá ve shodě s kritériem univerzálnosti neobsahuje žádné individuální charakteristiky pohybujícího se tělesa.

Tedy v gravitačním poli se všechna tělesa pohybují se stejným zrychlením nezávisle na svém složení a hmotnosti. Nejrůznější tělesa vržená z téhož bodu se stejnou (vektoro-
vě) rychlostí se budou pohybovat po naprosto stejných tra-
jektoriích. Tato univerzálnost, jak si všiml Einstein, se
nápadně podobá univerzálnosti kinematiky. Osvětlíme si tento
klíčový aspekt gravitace na myšleném pokusu podle obr. 3.

obr. 3



Představme si na chvíli, že žádná gravitace neexistuje a prostorem se volně (s vypnutými motory) pohybuje raketa, v jejíž kabině jeden pozorovatel provádí mechanické pokusy; druhý pozorovatel to sleduje zvenku přes průhlednou stěnu kabiny.

Umístí-li vnitřní experimentátor v určité "výšce" nad podlahou kabiny nehybně vedle sebe např. olověnou kuličku a peříčko, zůstanou obě tato tělesa neustále vedle

sebe "viset" v klidu vůči podlaze rakety; totéž bude pozorovat i vnější pozorovatel. Jestliže se však zapálí motory a raketa se začne pohybovat s konstantním zrychlením, situace se změní. Vnitřní pozorovatel pocítí "tíži" a bude pozorovat, že všechna tělesa padají k podlaze kabiny. Pokud nebude vědět o zapnutých motorech, prohlásí: "V mé kabině existuje silové pole, ve kterém všechna tělesa padají se stejným zrychlením". Peříčko i olovená kulička dopadnou na podlahu kabiny přesně ve stejném okamžiku, i když jejich složení i hmotnosti jsou velmi rozdílné. Vzpomene si na Galileiho zákon volného pádu a řekne: "Toto univerzální silové pole je polem gravitačním. Asi je má raketa upevněna v blízkosti nějaké planety, jež je zdrojem gravitačního pole, které pozorují".

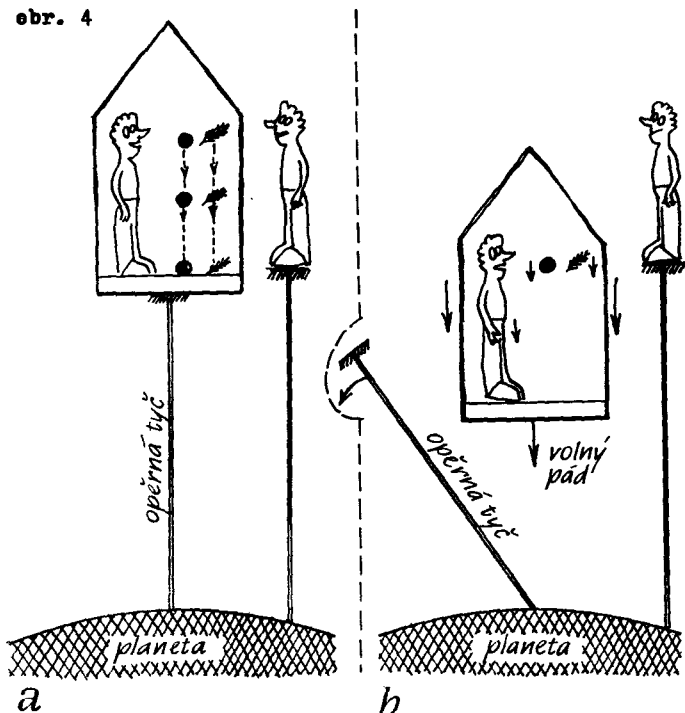
Vnější pozorovatel se mu však vysměje, protože on má jiné vysvětlení: "Žádné gravitační pole uvnitř kabiny neexistuje! Vnitřní pozorovatel cítí tíži proto, že je spolu s kabinou urychlován silou raketových motorů. Olovená kulička i peříčko zůstávají stále na svém místě, nepadají k podlaze, ale naopak podlaha se začala se zrychlením pohybovat proti nim, že se kulička i peříčko srazí s podlahou ve stejném okamžiku, je z kinematického hlediska samozřejmé. Tedy žádná gravitace, ale neinerciální vztahná soustava, ve které působí zdanlivé pole setrvačných sil".

Můžeme si představit i opačnou situaci (obr. 4), kdy je kabina rakety opřena delší tyčí o povrch nějaké planety. Experimentátor uvnitř kabiny bude opět pozorovat, že všechna tělesa padají k podlaze se stejným zrychlením a může to považovat za důsledek přítomnosti gravitačního pole s univerzálními účinky. Avšak vzpomene-li si na vysvětlení vnějšího pozorovatele v předchozím případě, může podat i jiné zdůvodnění: "Moje kabina je ve volném prostoru bez gravitace, ale jsou zapnuty raketové motory, které celou raketu rovnoměrně zrychlují. Tíže, kterou cítím, je setrvačným odporem hmotnosti mého těla vůči zrychlování, padání těles se stejným zrychlením je kinematický efekt v neinerciální soustavě."

Oproti předchozímu případu z obr. 3 je zde však přece jen určitý rozdíl. Druhé vysvětlení bude fyzikálně ekvivalentní prvnímu vysvětlení pouze lokálně, v rámci dostatečně malé kabiny. Gravitační pole je zde totiž nehomogenní - jeho intenzita slábne s výškou nad povrchem a směr je vždy do středu planety. Proto kdyby kabina byla příliš velká, zjistil by vnitřní pozorovatel, že tělesa ve větší výšce nad podlahou padají s menším zrychlením než tělesa bližší podlaze a směr pádu těles v jednom koutě kabiny se poněkud liší od směru pádu v protějším koutě laboratoře. Toto chování těles by již nebylo vysvětlitelné zrychleným pohybem kabiny bez gravitace. Pod pojmem "lokálně" budeme tedy v dalším rozumět "v dostatečně malé oblasti prostoročasu, kde je možno dané gravitační pole považovat za homogenní".

Odstraníme-li na obr. 4 podpírající tyč, začne raketa volným pádem padat k povrchu planety. Protože všechna tělesa bez ohledu na své složení a hmotnost padají v gravitačním poli se stejným zrychlením, bude jejich vzájemné zrychlení

obr. 4



v kabině nulové - vznikne stav beztlíže. Peříčko i olověná kulička zůstávají nehybně "viset" vedle sebe ve stejné výšce nad podlahou kabiny. Vnitřní experimentátor prohlásí: "Moje kabina je inerciální soustava, která se volně pohybuje v prostoru bez gravitace." Vnější pozorovatel (spojený s planetou) však má jiné vysvětlení: "Kabina rakety a s ní všechna tělesa uvnitř padají volným pádem v gravitačním poli planety. Protože gravitační pole udílí stejné zrychlení jak peříčku, tak olověné kuličce i celé kabině, budou padat stále spolu vedle sebe a spolu s kabinou, vůči jejíž podlaze a stěnám budou tedy v klidu". Kabina volně padající v gravitačním poli je pro vnitřního pozorovatele inerciální, avšak opět jen lokálně inerciální, protože gravitační pole je nehomogenní a tedy inerciálnost je dosahována v různých místech různým zrychlením volného pádu. Všechny uvedené závěry budou platit i pro (osudu vnitřního pozorovatele daleko příznivější) variantu, kdy místo volného pádu k povrchu zvolíme oběžný pohyb 1. kosmickou rychlostí kolem planety. Takový stav beztlíže způsobený univerzální kompenzací gravitační a odstředivé síly

si bezprostředně vyzkoušeli všichni kosmonauté.

Který z obou pozorovatelů při popsaných myšlených experimentech má pravdu? Vnitřní nebo vnější? Ať budou provádět libovolně lokální (v rámci kabiny) mechanické experimenty, bude je možno úplně stejně dobře vysvětlit jak přítomností gravitačního pole, tak působením setrvačných sil v neinerciální vztahné soustavě. V takovéto neinerciální vztahné soustavě (např. v kabině zrychlující se rakety) pozorujeme pole "setrvačných sil", které je sice pro vnějšího pozorovatele kinematického původu (a tedy "zdánlivé"), avšak pro vnitřního pozorovatele je to skutečné pole mající všechny vlastnosti gravitačního pole - univerzální účinek na všechny děje. Naopak, skutečné (t.j. buzené nějakou hmotou, např. v okolí planety nebo hvězdy) gravitační pole má lokálně stejné vlastnosti jako pole setrvačných sil v neinerciální soustavě. Setrvačnost a gravitace jsou v jistém smyslu dvě stránky jedné mince: to, co se jednomu pozorovateli jeví jako setrvačnost, je pro jiného pozorovatele gravitací a naopak. Pomocí žádného lokálního mechanického experimentu od sebe nelze odlišit gravitační a setrvačné síly (neexistuje pro ně žádný "lokální indikátor"). Můžeme tak vyslovit slabý princip ekvivalence: Pohyb těles v gravitačním poli je lokálně ekvivalentní pohybu v neinerciální vztahné soustavě bez gravitace.

Vzniká důležitá otázka, zda univerzálnost gravitačního působení se omezuje jen na jevy mechanické, nebo platí pro všechny fyzikální děje. Nepřímou informaci ve prospěch druhé možnosti dává již to, že tělesa velmi rozdílného složení padají v gravitačním poli se stejným zrychlením. Toto Galileiho zjištění bylo ověřeno pokusy Eötvosovými (na počátku našeho století) s přesností 10^{-8} , Dickeho a kol. (r.1963) s přesností 10^{-11} a Braginského a kol. (r.1971) s přesností 10^{-12} . Tělesa rozdílného složení mají rozdílné zastoupení elektronů, protonů, neutronů, rozdílný podíl hmotnosti např. elektromagnetického původu. Změříme-li stejnou setrvačnou a gravitační hmotnost pro tělesa rozdílného složení, můžeme říci, že gravitační pole má stejný účinek na protony, neutrony, elektrony i na samotné elektromagnetické pole (působení gravitačního pole na světlo bylo navíc experimentálně přímo ověřeno - spektrální posuv a zakřívování světelných paprsků). Co nejpřesnější ověření platnosti principu ekvivalence pro všechny druhy interakcí a v co nejširším spektru fyzikálních situací je velmi důležité, protože na zcela přesné platnosti principu ekvivalence pro všechny fyzikální jevy (t.j. na absolutní univerzálnosti gravitační interakce) stojí celá obecná teorie relativity jakožto fyzika prostoročasu a gravitace. Sebelepší spolehlivě zjištěná odchylka by touto teorií otřásla v samotných základech.

A. Einstein plně pochopil a zobecnil univerzálnost gravitačního působení na všechny fyzikální jevy a vyslovil princip ekvivalence, který je základem obecné teorie relativity:

Gravitační pole v každém místě je lokálně ekvivalentní

(pro všechny fyzikální děje) situaci, kdy není žádné gravitační pole, ale vztažná soustava (pozorovatel) v tomto bodě se pohybuje s příslušným zrychlením - je neinerciální.

Univerzálnost gravitačního působení je základní vlastností, kterou se gravitace liší od všech ostatních druhů sil v přírodě. Pole gravitačních a setrvačných sil jsou ekvivalentní pro všechny fyzikální děje, platí pro ně stejné fyzikální zákony a tedy jsou od sebe lokálně zcela nerozlišitelné. Z hlediska obecné teorie relativity lze říci, že setrvačné a gravitační síly mají stejnou (společnou) fyzikální podstatu; touto společnou podstatou jsou geometrické vlastnosti prostoročasu.

Homogenní gravitační pole lze beze zbytku "imitovat" kinematickým polem setrvačných sil v neinerciální vztažné soustavě; přitom je vždy možno nalézt takovou vztažnou soustavu, v níž se volná tělesa pohybují jako kdyby pole nebylo. Pro skutečná (nehomogenní) gravitační pole toto již možné není, protože neexistuje vztažná soustava anulující intenzitu takového pole ve všech bodech. Avšak v dostatečně malém okolí každého bodu lze gravitační pole libovolného původu a struktury považovat za homogenní, a tedy za kinematické.

Záhadné gravitační síly se tak podařilo popsat pomocí zdánlivých setrvačných sil, se kterými si již může poradit speciální teorie relativity, jak bylo výše ukázáno. Lokální princip ekvivalence je tak spojovacím můstkem mezi gravitační a negravitační fyzikou. Univerzálnost gravitace nám umožňuje převést si gravitaci na kinematiku. Kinematika je vyjádřením geometrických vlastností prostoru a času. Jestliže tedy gravitace mění kinematiku, bude tím měnit i geometrické vlastnosti prostoru a času. Skutečně, jak jsme viděli v odstavci 2, speciální teorie relativity použitá v neinerciálních soustavách ukazuje, že prostorová měřítka a běh času se mění podle toho, jak silné pole setrvačných sil je v tom kterém místě. Tvrzení "každé těleso ve svém okolí prostřednictvím gravitace ovlivňuje univerzálně všechny fyzikální děje" je ekvivalentní výroku: "toto těleso ve svém okolí ovlivňuje vlastnosti prostoročasu". Jinak řečeno, všechno bude vypadat úplně stejně, když místo gravitačního pole a vyšetřování jeho vlivu na fyzikální zákony budeme uvažovat geometrickou strukturu prostoročasu bez gravitačního pole a sledovat souvislosti fyzikálních zákonů s vlastnostmi prostoročasu. Logický řetězec gravitace → kinematika → prostoročas tak vede k interpretaci gravitace jako projevu geometrických vlastností prostoročasu, vlastně ke ztotožnění obou pojmů.

V Minkovského prostoročase speciální teorie relativity platí zákony (pseudo)Eukleidovy geometrie, je to prostoročas rovinný (plochý), i když v neinerciální soustavě geometrie samotného prostoru může být neeukleidovská. Existují zde globální inerciální soustavy, které se vůči sobě pohybují rovnoměrně přímočaře; každá lokálně inerciální vztažná soustava je automaticky i globálně inerciální. V nehomogenním gravitačním poli (kolem gravitujícího tělesa) se však lokální inerciálnosti dosahuje v každém bodě zrychlením

obecně jiné velikosti a směru, takže takové lokálně inerciální soustavy nelze spojit v globálně inerciální vztahnou soustavu - globální inerciální soustava zde neexistuje. To, že v nehomogenním gravitačním poli nelze jednotlivé lokálně inerciální soustavy spojit v globální inerc. soustavu ukazuje, že prostoročas zde již není rovinný, ale je zakřivený.

V odstavci 2 bylo ukázáno, že pole fiktivních setrvačných sil vznikající v neinerciálních vztahných soustavách lze popsat metrickým tenzorem g_{ik} , který pak vystupuje v obecně invariantních fyzikálních zákonech. Rozdíl mezi polem "zdánlivých" setrvačných sil (např. odstředivých a Coriolisových sil v rotující vztahné soustavě) a "pravým" gravitačním polem je jen v tom, že v prvním případě je prostoročas rovinný a vhodnou transformací se lze vrátit ke globální inerciální soustavě, zatímco v druhém případě nikoliv. To je rozdíl pouze globální, lokálně žádný rozdíl neexistuje. Protože fyzikální zákony mají lokální charakter, můžeme z toho usoudit, že i skutečné gravitační pole zároveň s polem "fiktivních" setrvačných sil v libovolné vztahné soustavě je plně určeno a popsáno metrickým tenzorem prostoročasu g_{ik} .

4. Obecná teorie relativity - fyzika gravitace

Když shrneme výsledky předchozích úvah, tak v libovolném gravitačním poli lze zavést řadu lokálně inerciálních vztahných soustav (v každém bodě), v nichž je stav beztíže a všechny fyzikální děje v nich probíhají lokálně podle zákonů speciální teorie relativity bez gravitace. Ve skutečném (nehomogenním) gravitačním poli budou mít jednotlivé lokálně inerciální soustavy různá zrychlení a tím i proměnné vzájemné rychlosti, takže podle Lorentzových transformací budou v různých místech odlišné prostoročasové relace a jiný běh času. Přitom jednotlivé lokálně inerciální soustavy obecně nelze spojit v jednu globální inerciální soustavu - prostoročas již není rovinný Eukleidův, ale zakřivený Riemannův. Univerzálnost gravitačního působení vyjádřená v principu ekvivalence tak vede k hlubokým souvislostem mezi gravitací a geometrií: gravitační pole je projevem křivosti Riemannova prostoročasu.

Obecná teorie relativity, t.j. invariantní formulace fyzikálních zákonů platných pro libovolné (i neinerciální) vztahné soustavy, se díky principu ekvivalence stává fyzikou gravitace. Z hlediska obecné teorie relativity je pohyb volně testovací částice v gravitačním poli "inerciální" a jeho případné zvláštnosti jsou způsobeny nikoliv "gravitační silou" působící na částici, ale metrikou prostoročasu; podobně je to se všemi fyzikálními jevy za přítomnosti gravitace. Např. to, že v gravitačním poli se dráha světelných paprsků zakřivuje, můžeme chápat buď jako "padání" světla v gravitačním poli, nebo ekvivalentně jako pohyb po geodetické (t.j. nejkratší, nejprímější) křivce v zakřiveném prostoročase. Gravitační pole nám tím "zmizelo", místo něho zde zůstal obecně zakřivený Riemannův prostoročas. A problém nalezení fyzikálních zákonů řídících přírodní jevy v gravitačním poli se tak převádí na otázku stanovení fyzikálních zákonů v zakřiveném Riemannově prostoročase (bez gravitace). Toto zobecnění

fyzikálních zákonů negravitační fyziky, t.j. zákonů speciální teorie relativity, kde je rovinný Minkowskiho prostoročas, na zakřivený prostoročas, t.j. na přítomnost gravitačního pole, umožňuje rovněž princip ekvivalence: prostoročas se rozdělí na dostatečně malé oblasti, v nichž lze zakřivení zanedbat, v těchto oblastech se aplikují fyzikální zákony rovinného prostoročasu (t.j. speciální teorie relativity formulovaná pro obecné vztažné soustavy) a nakonec se tato "mozaika" složí ve výslednou globální situaci.

Z Newtonovy fyziky víme, že gravitační pole kolem sebe vytvářejí hmotná tělesa; řečeno slovy obecné teorie relativity, hmotná tělesa kolem sebe zakřívují prostoročas. Univerzálnost gravitace se přitom zobecňuje i na buzení gravitačního pole: Gravitační pole (křivost prostoročasu) je buzeno univerzálně veškerou hmotou ~ energií, neboli pro každý objekt aktivní gravitační hmotnost = pasivní gravitační hmotnost = setrvačná hmotnost. Tedy intenzita gravitačního pole, které kolem sebe budí nějaké těleso, vůbec nezávisí na jeho složení a povaze, je dána pouze jeho celkovou setrvačnou hmotností. Nezáleží na tom, zda se jedná o pevné těleso, plyn, shluk elementárních částic nebo třeba elektromagnetické pole.

A. Einstein dovršil svoji obecnou teorii relativity v r. 1916 tím, že odvodil rovnice gravitačního pole zobecnující Newtonův gravitační zákon

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ik} \quad (8)$$

kde R_{ik} je Ricciho tenzor křivosti, R skalární křivost a T_{ik} je tenzor energie-hybnosti zdrojových hmot. Levá strana tedy popisuje geometrii prostoročasu, pravá strana rozložení a pohyb hmoty budící gravitační pole. Einsteiny gravitační rovnice (8) tedy ukazují, jak hmotná soustava popsaná tenzorem energie-hybnosti T_{ik} zakřívuje prostoročas, t.j. jak kolem sebe budí gravitační pole. Dialektiku obecné teorie relativity je možno stručně shrnout slovy: "prostoročas určuje hmotě, jak se má pohybovat a hmota určuje prostoročas, jak se má zakřívovat".

5. Nejen geometrie, ale i topologie prostoročasu?

Aplikace obecné teorie relativity vede ve většině případů pouze k malým "opravám" vzhledem ke klasické teorii (slabá gravitační pole a velmi malé zakřivení prostoročasu v naší sluneční soustavě). Při velkém náhromadění hmoty však může zakřivení prostoročasu dosáhnout takového stupně, že dochází nejen k výrazným relativistickým efektům, ale i ke změně kvalitativních vlastností prostoročasu - k jiné topologické struktuře prostoročasu. Jednou takovou oblastí, v níž globální topologie hraje rozhodující úlohu, je kosmologie, kde se uplatňuje vliv sumárního gravitačního pole hmoty celého vesmíru. Druhou oblastí jsou černé díry

vznikající úplným gravitačním kolapsem masivních hvězd (/3/, /10/, /13/); zde extrémní intenzita gravitačního pole vesmíru nahuštěním velké hmoty do relativně malého objemu. Utvářejí se horizonty událostí měnící kauzální strukturu prostororočasu.

Již v nejjednodušším případě Schwarzschildovy centrálně symetrické černé díry se objevuje neeukleidovská geometrie prostoru: při zmenšování poloměru koule opsané kolem černé díry se její plocha nejprve zmenšuje, ale pak opět roste - koule se začne po průchodu Einsteinovým-Rosenovým mostem rozpínat do druhého "zrcadlově obráceného" vesmíru (ve skutečnosti se do tohoto druhého vesmíru žádná tělesa z našeho vesmíru nemůže dostat, protože by potřebovala nadsvětelnou rychlost). Ještě složitější je topologická struktura prostororočasu rotujících nebo elektricky nabitých černých děr (/6/, /10/, /13/). Tam se právě objevují ony "tunely do jiných vesmírů", kterými s oblibou cestují astronauté ve vědecko-fantastických románech. I když v daném případě je realita podobných možností z fyzikálních důvodů nepravděpodobná (jsou produktem krajně idealizovaných modelů ve zcela prázdném prostoru bez kvantových zákonitostí), existence černých děr je téměř jistá a různé topologické vlastnosti prostoru musíme brát zcela vážně. Moderní geometricko-topologické metody aplikované na vlastnosti prostororočasu v obecné teorii relativity přinesly v nedávné době řadu důležitých výsledků, jako jsou Hawkingovy a Penroseovy teoremy o singularitách, důkaz 2. zákona dynamiky černých děr nebo teoremu o uniformitě černých děr ve vakuu ("černá díra nemá vlasy") (/6/, /10/, /13/).

Je třeba rovněž připomenout důležitost topologických přístupů pro geometrické unitární teorie pole, především pro geometrodynamiku J.A.Wheelera, která se snaží nejen fyzikální pole, ale i jeho zdroje (t.j. hmotné částice a elektrické náboje) vysvětlit jako vhodné geometrické a topologické struktury prázdného zakřiveného prostororočasu (/18/, /10/, /15/). Pokud by se geometrodynamická unitární teorie ukázala úspěšná, bylo by třeba název tohoto článku poněkud upravit: nejen že "žijeme v zakřiveném prostororočase", ale dokonce "jsme zakřiveným prostororočase" (hned je vidět, do jakých filosoficko-metodologických obtíží bychom se dostali)!

Nechali jsme zde stranou tzv. supergravitační teorie (viz např. /11/) snažící se metodami moderních kvantových teorií pole o sjednocení všech čtyř základních interakcí; i zde existují geometrické přístupy, které však nejsou zdaleka tak bezprostřední a jednoznačné jako v obecné teorii relativity.

Literatura:

- /1/ Bičák J.: Einsteinova cesta k obecné teorii relativity. Čs. čas. fyz. A29, 222 (1979)
- /2/ Einstein A.: Sobraniye naučnych trudov. Nauka, Moskva 1965
- /3/ Grygar J.: Gravitační kolaps čili poslední dnové masivních hvězd. Kosmické rozhledy 9, 41 (1971)

- /4/ Grygar J.: Sejdeme se v nekonečnu. Albatros, Praha 1979
- /5/ Grygar J., Horský Z., Mayer P.: Vesmír. Mladá fronta, Praha 1983
- /6/ Hawking S., Ellis G.: The large scale structure of space-time. Univ. Press, Cambridge 1973
- /7/ Horský J.: Úvod do teorie relativity. SNTL, Praha 1975
- /8/ Kuchař K.: Základy obecné teorie relativity. Academia, Praha 1968
- /9/ Landau L.D., Lifšic E.M.: Teorija polja. Nauka, Moskva 1967
- /10/ Misner Ch., Thorne K., Wheeler J.: Gravitation. Freeman and Comp., San Francisco 1973. (Existuje ruský překlad Mir, Moskva 1977)
- /11/ Niederle J.: Supersymetrie a supergravitace. Čs. čas. fyz. A30, 118 (1980)
- /12/ Raševskij P.K.: Rimanova geometrija i tenzornyj analiz. Nauka, Moskva 1967
- /13/ Ullmann V.: Gravitační kolaps a fyzika černých děr. Reprint KNSP, Ostrava 1978
- /14/ Ullmann V.: Gravitační energie. PMFA 25, 250 (1980)
- /15/ Ullmann V.: Hmota z prázdnoty utvořená. Reprint KNSP, Ostrava 1975
- /16/ Votruba V.: Základy speciální teorie relativity. Academia, Praha 1969
- /17/ Weinberg S.: Gravitation and cosmology. Wiley, New York 1972. (Existuje ruský překlad, Mir, Moskva 1975)
- /18/ Wheeler J.A.: Gravitacija, nejtrino, vseennaja. IL, Moskva 1962

KOSMICKÉ ROZHLEDY BLAHOPŘEJÍ

Ing. Milan Burša, DrSc. členem korespondentem ČSAV

Usnesením vlády ČSSR ze dne 3. května 1984 byl na základě volby provedené XLVI. valným shromážděním členů ČSAV dne 26. dubna 1984 jmenován Ing. Milan Burša, DrSc. členem korespondentem Československé akademie věd. Jsme rádi, že máme příležitost se připojit ke gratulantům k tomuto jmenování, tím spíše, že Ing. Milan Burša, DrSc. je jedním z členů naší Společnosti, a to členů velmi aktivních. Vědecky pracuje v oboru kosmické geodézie; na základě poruch drah umělých družic Země, jiných planet a Měsíce studuje gravitační pole a tvar těchto těles. Je vedoucím odd. dynamiky sluneční soustavy Astronomického ústavu ČSAV. Zastával a zastává četné funkce v mezinárodních vědeckých organizacích. Zvláště oceňujeme, že svůj vzácný čas, zasvěcený především vědecké

práci, věnuje i nám. Ing. Milan Burša, DrSc. zastává v Československé astronomické společnosti funkci druhého místopředsedy, do které byl zvolen na 8. volebním shromáždění dne 29. září 1979 a znovu do této funkce potvrzen na 9. sjezdu ČAS 30. září 1983. Působí mnohostranně pro ČAS - po stránce odborné i organizační.

Novému členu korespondentu ČSAV srdečně přejeme do další práce pro vědu i naši Společnost hodně úspěchů.

- red -

Z NAŠICH A ZAHRANIČNÍCH PRACOVÍŠŤ

Práce publikované v Bulletinu čs. astronomických ústavů
Vol. 35, No 4

Studie proměnnosti Be hvězd

1. Pozoruhodná podobnost rychlých periodických změn jasnosti hvězd EM Cep, σ Ori E a možná LQ And

P. Harmanec, Astron. ústav ČSAV, Ondřejov

Práce vnáší nové pohledy na podstatu krátkoperiodické proměnnosti Be-hvězd. Fotometrické studium tří objektů tohoto typu přivádí autora k závěrům o možnosti vysvětlovat pozorované efekty rotační hypotézou (na rozdíl od zatím uvažované podvojnosti Be-hvězd). Ukáže-li se nová hypotéza správnou, otevírají se široké možnosti pro přímé určování rotačních rychlostí Be-hvězd.

Hledání dlouhodobé optické proměnnosti hvězdy AO Psc

R. Hudec, Astron. ústav ČSAV, Ondřejov

Pomocí 700 desek z období 1928 - 1981 určoval autor fotografickou magnitudu AO Psc - t.j. optické složky rentgenového zdroje H 2252-035. Zjistil, že se v tomto období nevyskytly ani světelné změny, ani zjasnění, ani neaktivní období s amplitudami většími než 0,4 mag.

- pan -

Einsteinův - Straussův - de Sitterův model vesmíru

Z. Stuchlík, Vysoká škola báňská, Ostrava

Je dokázáno, že lze sestavit Einsteinův-Straussův-de Sitterův model vesmíru, t.j. model Schwarzschildových-de Sitterových kondenzací hmoty vložených do Friedmannova vesmíru s nenulovou kosmologickou konstantou. Ve Schwarzschildově-de Sitterově i Friedmannově části daného modelu je zkoumán geodetický pohyb a je provedeno propojení geodetik na napojovací náběhy těchto částí. Jsou diskutovány některé důsledky tohoto propojení, jež mohou být důležité v procesu vytvoření a evoluce hmotových kondenzací při gravitační nestabilitě hmotných neutrin ve vesmíru, v němž dominují neutrina.

- aut -

**astronomická orientace katedrály sv. Víta a chrámu sv. Jiří
na Pražském hradě**

C. Köberl, Inst. for Astronomy, Univ. of Vienna, Austria

Teorii astronomické orientace starých kultovních staveb vyslovili Nissen a Lockyeri. Souvislost mezi orientací osy různých rakouských středověkých kostelů a východem Slunce v den příslušného svatého našli Firneis a další autoři. Vzhledem k těsným kulturním vztahům by byla potřebná podobná analýza československých kostelů. Pro oba uvedené chrámy lze vztahy tohoto druhu nalézt.

- pan -

Změny gravitační konstanty G a stáří Slunce v Bransově-Dickeho kosmologii

A.D. Pinotsis, Department of Astronomy, University of Athens

Dnešní místo Slunce v H-R diagramu se srovnává s isochronami odpovídajícími třem a pěti miliardám let a s modely $1 M_{\odot}$ nalézajícími se na těchto křivkách v Bransově-Dickeho kosmologii. Protože (z geologických důvodů) Slunce nemůže být tak mladé, je třeba alespon někdy tuto kosmologii vyloučit.

- pan -

Procesy pozorovatelné ve fotosféře během vzniku akreční oblasti

3. Vznik aktivní oblasti na okraji starého bipolárního magnetického pole

V. Bumba, J. Suda, Astron. ústav ČSAV, Ondřejov

Studují se procesy pozorované během vzniku nových skvrn na okraji starého magnetického pole (odpovídajícího pozadí) v období červen-červenec 1974. Popisuje se vznik umbrý řídící skvrny z jednotlivých jader.

- pan -

**Počet skupin skvrn vzniklých v cyklu sluneční činnosti
No 20 a jejich střední životní doba**

M. Kopecký, F. Kopecká, Astron. ústav ČSAV, Ondřejov

Práce doplňuje dříve publikované hodnoty počtu vzniklých skupin skvrn a jejich průměrné životní doby o hodnoty z 11-letého cyklu No 20, t.j. pro roky 1965 - 1976. Je ukázáno, že v 11-letém cyklu No 20 dále poklesla průměrná životní doba skupin skvrn v porovnání s cykly No 19 a 18 a že počet vzniklých skupin skvrn v 11-letém cyklu No 20 potvrzuje existenci systematického vzrůstu počtu vzniklých skupin skvrn v posledních 100 letech, což pravděpodobně souvisí s několikasetletou variací sluneční činnosti a podporuje naši předpověď abnormálně vysoké sluneční činnosti v příštím století.

- aut -

Zákon rozdělení celkové intenzity optických slunečních erupcí
T.K. Das, M.K. Das Gupta, Centre of Advanced Study in Radio
physics and electronics, Calcutta, India

Autoři sledují rozdělení frekvence výskytu erupcí
v optické oblasti podle různých hodnot celkové jasnosti.

- pan -

Sledování dálkových posuvů čelních ozvěn meteorů pomocí
pozorování

B.A. Lindblad, Lund Observatory, Sweden
A. Hajduk, Astron. ústav SAV, Bratislava

Zkoumají se ozvěny od 338 meteorických stop a výskyt
rádiových odrazů se změnou vzdálenosti. Je navrženo nové
vysvětlení jevu pomocí pohybu odrazného bodu podél stopy,
který se vyskytuje v 10% původně pozorovaných meteorů.

- Šim -

Práce publikované v Bulletinu čs. astronomických ústavů
Vol. 35 (1984), No 5

Kosmogenní izotopy ^{22}Na a ^{26}Al a studium stopových prvků
ve vzorcích ze sond Luna 16, 20 a 24

P. Emrich, V. Jurina, P. Povinec, Katedra jaderné fyziky
a ústav fyziky a biofyziky, Komenského univerzita, Bratislava

Měsíční vzorky dopravené sovětskými automatickými
sondami se studovaly z hlediska koncentrace kosmogenních
nuklidů stopového výskytu jader skupiny železa v krysta-
lech. Hloubkové závislosti obsahu ^{22}Na a ^{26}Al se srovnávaly
s teoreticky určenými hodnotami rychlosti produkce. Nejlepší
shoda se dostala pro intenzitu galakt. kosm. paprků
 $0,24 \text{ protonů} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$ za poslední milion let.

- pan -

Výskyt erupcí s rádiovými záblesky typu II a IV ve vztahu
se skupinami slunečních skvrn

Š. Knoška, Astron. ústav SAV, Skalnaté Pleso
L. Křivský, Astron. ústav ČSAV, Ondřejov

Bylo provedeno statistické zpracování výskytu erupcí
s radiovým typem II a zvláště s typem IV podle typů skupin
skvrn, v kterých se tyto erupce vyskytovaly. Zpracované
období cyklu č. 20 1966-1976. Byla brána v úvahu typisace
curyšská a magnetická. Výsledky jsou v tabulkách a připoje-
ných grafech. Oproti erupcím s typem II u erupcí s typem IV
je zvětšená tendence vznikat ve složitějších aktivních oblas-
tech, kde v nevelkém prostoru je větší nahromadění magnetické
energie (typ d'). Výskyt erupcí s typem II i s typem IV
v průběhu let cyklu č. 20 vykazuje anomální chod, a to
výrazný pokles výskytů z r. 1970 na 1971, což je v souladu
s některými jinými parametry sluneční aktivity.

- aut -

Výskyt skupín skvrn různých typů během cyklu No 20

Š. Knoška, Astron. ústav SAV, Skalnaté Pleso

L. Křivský, Astron. ústav ČSAV, Ondřejov

Je sledován výskyt curyšských typů skvrn v průběhu celého slunečního cyklu č. 20 (1965 - 1976) po jednotlivých letech a za celý cyklus je zjištěn procentuální výskyt těchto typů.

- aut -

Výskyt erupcí s rádiovými záblesky typu II a IV v interagujících skupinách skvrn během sluneční rotace

J. Klímeš, Hvězdárna Úpice

L. Křivský, Astron. ústav ČSAV, Ondřejov

Na základě dat ze slunečního jedenáctiletého cyklu č. 20 bylo zjištěno, že ve skupinách skvrn, které se v průběhu otoček vyvinuly ve vzájemné blízkosti nebo se i slily, se vyskytuje erupce s rádiovým vzplanutím typu II více než dvakrát hojněji a erupcí s typem IV je téměř dvakrát více než u skupin skvrn samostatných. U obou typů je výskyt těchto erupcí převážně soustředěn do otočky t.zv. interakce skupin skvrn (jejich přiblížení, slití).

- aut -

Erupce s pomalým poklesem měkkého rentgenového záření
1. Oblast McMath 11 926 z 15. června 1972

A. Antalová, Astron. ústav SAV, Skalnaté Pleso

M.B.Ogir, Krymská astrofyzikální observatoř, AV SSSR

Z hlediska aktivizace filamentov a vzniku kanálů filamentov bol analyzovaný časovo-priestorový výskyt a vývoj H-alfa erupcií, ktoré vznikli 15. júna 1972 v oblasti McMath 11926. H-alfa filmy boli získané na Krymskom astrofyzikálnom observatoriu. Magnetické pole skúmanej oblasti malo formu "ostrova" S pola, ktorý bol obkolesený rozsiahlym N pólom. 15. júna 1972 sa oblasť vyznačovala nasledovnými parametrami

- a) existenciou škvŕny s delta konfiguráciou (Mc Math 11926A),
- b) vznikom nových škvŕn v okolí vnútornej neutrálnej čiary,
- c) časťou aktivizáciou filamentov a disparition brusque veľkého filamentu.

Dve erupcie (začiatok v H-alfa 09:15 a 12:47 UT) boli sprevádzané emisiou mäkkého röntgenového žiarenia s pomalým spádom.

- aut -

Klasifikace Ap hvězd HR 830 a 21 CVn

J. Zverko, Astron. ústav SAV, Skalnaté Pleso

Sú študované dve nejednoznačne klasifikované Ap hviezdy HR 830 a 21 CVn. Pozorovacie dáta sú porovnávané s dátami pre normálne hviezdy α Del a α Uyr. Hviezda HR 830 je klasifikovaná ako Ap typu S1 na základe zesilenej absorpcie v kremíkových čiarach a fotometrickej variability v UBV. 21 CVn je klasifikovaná ako Ap S1 na základe oslabe-

ných absorpcií hélia, premennosti héliových čiar a fotometrickej periodickej variability a vlastností UV spektra. Vyvodzuje sa záver, že fotometrická periodická premennosť je dobrým indikátorom Ap vlastností rýchle rotujúcich A a pozdných B hviezd.

- aut -

O erozi malých meteoroidů

I. Kapišinský, Astron. ústav SAV, Bratislava

Ukazuje se, že rázová eroze - t.j. stráta hmotnosti a zmenšení rozměru částic - je jedním z důležitých procesů systematicky působících na menší meteoroidy v meziplanetárním prostoru. Ukazuje se, že rázová eroze je rovněž velmi silným efektem majícím vliv na dynamiku mikrometeoroidů a spolu s erozí od slunečního větru na dobu jejich života ve sluneční soustavě.

- pan -

Redukce instrumentální polarizace teleskopu s coelostatem

G. Bachmann, Zentralinstitut für solar-terrestrische Physik, Potsdam

Nový magnetograf dovoľuje mēřit polarizaci svētla na 0,0005 a potřebuje vzít v úvahu instrumentální polarizaci vznikající na zrcadle coelostatu.

- pan -

Přesná metoda určení radiantu

Ch. Steyaert, Working Group on Meteors, Astron. Association, Geel, Belgium

Analyticky se zkoumá problém určení střední polohy radiantu pro více než dvě meteorické stopy.

- pan -

Práce publikované v Bulletinu čs. astronomických ústavů
Vol. 35 (1984), No 6

Numerické řešení stacionárního slunečního větru

D. Odstrčil, Katedra exper. fyziky, Komenského universita, Bratislava

Tento príspevok sa zaoberá aplikáciou jedno-rozmerného časovo-závislého hydrodynamického počítačového programu BOREAS pre riešenie ustáleného stavu slnečného vetra. Pre tento účel sme použili relaxačnú techniku, t.j. začínajúc z ľubovoľného stavu sme získali záverečný ustálený stav. Avšak tento proces je zložitejší ako len relaxácia. Konkrétne, reverzná rázová vlna sa formuje pri vnútornej hranici a v blízkosti tejto silnej rázovej vlny sa pozorujú silné numerické oscilácie. Tento príspevok dáva podrobnú analýzu tohto procesu spoločne s výsledkami získanými za iných podmienok. Predkladané riešenie môže byť priamo použité pre naslednú simuláciu medziplanetárnych rázových vln.

- aut -

Numerická simulace meziplanetárních rázových vln

D. Odstrčil, Katedra exper. fyziky, Komenského universita, Bratislava

Tento příspěvek se zabere aplikací jednorozměrného časovo-závislého hydrodynamického počítačového programu BOREAS pro řešení meziplanetárních rázových vln. Použili sme, ako počítačové pozadie, kludný stav slnečného vetra medzi vnútornou a vonkajšou hranicou systému. Potom, pri vnútornej hranici, sme špecifikovali "pravouhlý" pulz, t.j. zvýšené hodnoty hustoty, rýchlosti a teploty sme držali konštantné po nejaký čas, a potom sme ich vrátili na ich pôvodné hodnoty kludného stavu. Pulz generuje rázovú vlnu, ktorej šírenie sa medziplanetárnym prostredím sme sledovali.

- aut -

Jednoduchý kinetický model mnohočasticového oblaku II. Plynné porudy ve hvězdách typu Algol

P. Hadrava, Astron. ústav ČSAV, Ondřejov

Metoda uvedená v první části souboru se používá k výpočtu trojrozměrného dynamického modelu proudů ve dvojhvězdách. Výsledky potvrzují nepoužitelnost předpokladu o hydrostatické rovnováze při výpočtu vertikální struktury proudů. V práci je rovněž sledován vliv adiabatické nebo izotermické expanze (popřípadě zářivé rovnováhy a změny ionizace) na strukturu proudů.

- pan -

Dynamické tření v důsledku kosmologického pozadí II. Newtonovská kosmologie

P. Hadrava, Astron. ústav ČSAV, Ondřejov
V. Karas, Katedra matematické fyziky, MFF UK, Praha

Zkoumá se perturbace newtonovského kosmologického modelu, způsobená gravitací pohybujícího se tělesa. Ukazuje se, že tenký chvost kosmologického pozadí nekonečné hmoty (který vzniká ve stopě tělesa) způsobí gravitační tření. Toto tření je zanedbatelné během evoluce vesmíru, pokud je současná rychlost tělesa dostatečně velká.

- pan -

Korona z 30. července 1981 pozorovaná v bílém záření a emisních čarách

V. Rušin, M. Rybanský, Astron. ústav SAV, Tatranská Lomnica

Biela koróna z úplného zatmenia Slnka, ktoré nastalo 19 mesiacov po maxime slnečného cyklu No. 21, ukazuje 4 odlišné typy koronálnych štruktúr: polárne koronálne diery, veľké koronálne lúče, glucky a oblúky a polárne lúče. Protuberančná aktivita pre dnu zatmenia sa pozorovala v P.A. okolo 90°, 175° a 270°. Spektrografické rozdelenie intenzít korony 530,3 nm a 637,4 nm v celej pozorovanej výške je uvedené.

- aut -

Hydrostatická rovnováha a zpomalování rotace Země

M. Burša, Astron. ústav ČSAV, Praha

Hydrostatické zploštění Země α určené ze soudobé hydrostatické teorie podle nejnovějších družicových údajů při konstantní precesi se od reálné Země liší v mezích této teorie ($\sim \alpha^2$). Rozpor mezi pozorovanou hodnotou sekulárního zmenšování rychlosti rotace Země a teoretickou hodnotou (vypočtenou ze slapové teorie podle poklesu středního pohybu Měsíce) lze objasnit sekulárním poklesem hlavního momentu setrvačnosti Země, což vede k poklesu jejího zploštění.

- pan -

Prostorová spektroskopická diagnostika planetárních mlhovin IV. Regularizace metodou nejlépe určených termů

J. Hekela, Astron. ústav ČSAV, Ondřejov

J. Neuberg, Katedra elektroniky, Fakulta technické a jaderné fyziky, Praha

V práci se rozebírá metoda trojrozměrného určení horní hladiny opticky tenké čáry. Předpokládá se kinematický model planetární mlhoviny. Největší potíž je v inverzi Fredholmovy integrální rovnice 1. druhu. Autoři ukazují a stručně diskutují hranice použitelnosti této metody.

- pan -

Předpověď obsahu deutéria v kometách

V. Vanýsek, Katedra astronomie a astrofyziky UK, Praha

Na základě předpokládaných reakcí ion-molekula ve studených mezihvězdných mračcích je diskutováno obohacení těžkého materiálu v kometách deuteriem. Předpokládá se, že molekuly obsahující vodík jsou deuterizovány před akrecí a kondenzací na prachových částicích, ze kterých jsou tvořeny kometesimály. Odhadnutý celkový poměr D/H v kometárním jádru je $2 \cdot 10^{-4}$. Možnost frakcionizace izotopů v kometách však znamená, že tyto objekty nejsou vhodné pro testování původního deutéria. Na druhé straně obsah deutéria může být velmi citlivý indikátor fyzikálních podmínek, které panovaly v prostředí, kde komety vznikaly.

- aut -

Možnosti kosmických letů po balistických drahách k dlouho-periodickým kometám

Ľ. Kresák, E.M. Pittich, Astron. ústav SAV, Bratislava

Zkoumá se možnost těchto letů a autoři uvádějí realizovatelné přechodové dráhy jako funkce heliocentrické délky uzlu kometární dráhy, geocentrické rychlosti vypuštění a požadované minimální doby letu. K těmto veličinám jsou přidány údaje týkající se podmínek pozorování ze Země v době setkání kosmické sondy s kometou. Výsledky dovolují určit technické požadavky (dobu objevu komety a energii potřebnou k vypuštění) pro takovéto expedice.

- pan -