

M. F. Širokov

Obecná theorie relativity nebo theorie gravitace?

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 1 (1956), No. 3, 295--298

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137124>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1956

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

ného a komplexního čísla. V 19. století se stalo nutným zavést i veličiny jiného druhu. Tak bylo zjištěno, že důležité fyzikální pojmy, na příklad rychlost, se dají jen uměle a nedokonale popsat trojicí čísel (souřadnicemi). Dokonalý popis rychlosti a jiných fyzikálních veličin vyžadoval zavedení nového matematického pojmu — vektoru. K popisu stavu pružných těles bylo třeba dalších nových veličin, a tak vznikl pojem tensoru.

(Dokončení)

Přeložil Dr Otto Fischer,
(mat. ústav ČSAV)

M. F. ŠIROKOV

OBECNÁ THEORIE RELATIVITY NEBO THEORIE GRAVITACE?¹⁾

Общая теория относительности или теория тяготения?

Žurnal experimentalnoj i teoretičeskoj fiziki, sv. 30 (1956), č. 1, str. 180—184.

V. A. Fok podává v řadě prací [1—5] nový výklad obecné teorie relativity. Podle tohoto výkladu se fyzikální obsah této teorie redukuje na známý Einsteinův obecný gravitační zákon

$$R^{\lambda\mu} - \frac{1}{2} g^{\lambda\mu} R = -kT^{\lambda\mu}, \quad (1)$$

kteřý určuje odlišnost prostoročasové metriky od metriky galileovské. Oproti obecné teorii relativity se tu vyzdvihuje tvrzení o existenci privilegované vztažné soustavy se souřadnicemi, které vyhovují podmínce „harmoničnosti“.

$$\frac{\partial}{\partial x^{\nu}} (\sqrt{g} g^{\mu\nu}) = 0. \quad (2)$$

V citovaných Fokových pracích se proto navrhuje sám název „obecná teorie relativity“ nahradit názvem „teorie gravitace“²⁾. Nejde tu jen o změnu terminologie, nýbrž o zásadně jiný výklad obecné teorie relativity, jak je patrné z těchto výroků: „Z řečeného je dostatečně jasné, že termíny ‚obecná relativnost‘, ‚obecná teorie relativity‘ nebo ‚obecný princip relativity‘ jsou nepřijatelné. Nevedou jen k nedorozuměním, ale reprezentují nesprávné chápání teorie samé. Ač to zní paradoxně, projevil takové nepochopení sám autor teorie A. Einstein. . .“ ([5], str. 135). „Na zrychlený pohyb nelze aplikovat princip relativity, nemluvě o tom, že sám pojem ‚zrychleně se pohybující vztažná soustava‘ není dobře definován“ ([4], str. 25). „Princip ekvivalence

¹⁾ O teorii relativity vyšla v českém překladu serie diskusních statí v časopise „Sovětská věda — matematika, fyzika, astronomie“, ročníky 1952—1955. Jde o diskusní statí, týkající se převážně filosofických stránek teorie. Z prací akademika V. A. Foka, o nichž se hovoří ve výše otištěném článku, vyšly v českém překladu v témž časopise práce [2] a [4] (viz literaturu, citovanou na konci článku). *Pozn. překl.*

²⁾ Toto Fokovo hledisko, které v každém případě připouští alespoň diskusi, dostalo se bohužel do nového vydání *Velké sovětské encyklopedie* (Bolšaja sovětskaja encyklopedija), kde se pod heslem „Theorie relativity“ vykládá jen speciální teorie relativity, a místo obecné teorie relativity se uvádí heslo „Gravitační teorie“.

má přísně lokální charakter (v prostoru i v čase) a je aplikovatelný jen na slabá a homogenní pole a na malé rychlosti. Jen za těchto podmínek lze pole zrychlení zaměnit gravitačním polem a obráceně. Obecně tento princip vůbec neplatí“. ([4], str. 25). „Kovariantnost rovnic sama o sobě není takto nijak výrazem nějakého fyzikálního zákona“. ([5], str. 133).

Nebude proto zbytečné pohovořit o otázce, nadhozené v nadpise tohoto článku.

1. Platí v přírodě obecný princip relativity?

Matematickým výrazem tohoto principu je kovariantnost základních rovnic fyziky vzhledem k velké třídě transformací souřadnic, včetně všech přechodů od jedné inerciálních nebo neinerciálních vztažných soustav k jiným. Fyzikální podstata obecného principu relativity je v tom, že křivočarost prostoročasových souřadnic se projevuje v existenci dvou polí: pole gravitačních sil a pole sil setrvačných, která podmiňují různé fyzikální jevy objektivně v přírodě existující.

Není-li gravitačního pole, je Riemannův-Christoffelův tensor křivosti nulový

$$R_{\lambda\mu\nu}^{\alpha} = 0. \quad (3)$$

Tato rovnice je nutnou a postačující podmínkou pro to, aby prostoročas byl galileovský. V takovém prostoru lze vždy sestavit souřadnicovou soustavu, která — zvolíme-li časovou souřadnici imaginární ($x_4 = ict$) — splňuje podmínky

$$g_{\lambda\mu} = \begin{cases} 1 & \text{pro } \lambda = \mu, \\ 0 & \text{pro } \lambda \neq \mu. \end{cases} \quad (4)$$

Za přítomnosti gravitačních polí vztah (3) neplatí, prostoročas není galileovský, a jeho metrika je dána gravitační rovnicí (1).

Existuje názor [4], že rozdíl mezi „speciální“ a „obecnou“ teorií relativity se redukuje prostě na platnost nebo neplatnost rovnic (3). Při tom se má za to, že ve speciální teorii relativity je za předpokladu, že platí (3), kovariantnost rovnic triviální, a že nemá fyzikálního obsahu. Kdyby tomu tak bylo, pak by se obecná teorie relativity skutečně redukovala zcela na teorii gravitace, založenou na vztahu (1). Ve skutečnosti se věc má jinak. Oblast, v níž lze užít speciální teorie relativity, je značně užší, než oblast vymezená podmínkou (3); omezuje se přitom jen na vztažné soustavy, vyhovující podmínce (4).

Mezi požadavky (3) a (4) je podstatný rozdíl. Podmínce (4) vyhovují všechny inerciální vztažné soustavy bez tíhového pole, se souřadnicovými sítěmi, spjatými vzájemně Lorentzovými transformacemi. Naproti tomu podmínce (3) vyhovují také všechny neinerciální vztažné soustavy, které neobsahují tíhových polí. V těchto neinerciálních vztažných soustavách se však projevují vlivy polí setrvačných sil na mechanické, elektromagnetické (optické) a jiné děje, jež nelze nijak vysvětlit na podkladě Lorentzových transformací, to jest v rámci speciální teorie relativity.

Velmi podstatné je také, že v neinerciálních vztažných soustavách, vyhovujících podmínce (3), nevyhovuje metrika prostoročasu podmínce (4). Již Einstein poukázal na možnost, že vlastnosti prostoru se v neinerciálních vztažných soustavách (na příklad v rotujících soustavách) odchylují od euklidovských vlastností. Je však naproti tomu dobře známo, že ve speciální teorii relativity platí pro prostor euklidovská geometrie.

Rozšířit platnost speciálního principu relativity i na jevy, vyhovující podmínce (3), a zároveň popřít, že možnost obecně kovariantní formulace přírodních zákonů má fyzikální obsah, znamená ve skutečnosti popřít objektivní realnost polí setrvačných

sil a jimi podmíněných jevů v neinerciálních vztažných soustavách. Při tom mnohé takové jevy byly experimentálně již dávno zjištěny. Odtud vzniká nutnost zobecnit princip relativity i na inerciální vztažné soustavy, to jest formulovat obecný princip relativity jako fyzikální poučku, která je odrazem objektivní přírody.

2. Existují privilegované vztažné soustavy?

V pracích [1—5] se z jednoznačnosti řešení gravitačních rovnic (1) za podmínky harmoničnosti (2) a při okrajových podmínkách (4) pro hmotné shluky v nekonečnu činí závěr, že existují privilegované souřadnicové soustavy, určené těmito řešeními. Existence těchto řešení se tedy pokládá za důležitý argument proti obecnému principu relativity. Jde totiž o řešení rovnic (1) a (2), z nichž (2) zřejmě nejsou kovariantními vzhledem k obecným transformacím souřadnic.

Zmíněná řešení, získaná do značné míry vhodnou volbou podmínky (2), jsou jistě vědecky cenná a zajímavá. Avšak jejich unicita by byla argumentem proti obecné teorii relativity jen tehdy, kdyby rovnice (2) vyjadřovaly nějaký fyzikální zákon. Pak by se obecný gravitační zákon formuloval rovnicemi (1) a (2). Avšak (2) je zcela libovolnou podmínkou, která určuje souřadnicovou soustavu, v níž se nejvhodněji najde řešení úlohy. Volba harmonických souřadnic (2) je do jisté míry analogická volbě jiných souřadnic, cylindrických, sférických a p., vhodných pro danou úlohu.

Osvětlit je nutno sám pojem privilegované vztažné soustavy. V newtonovské mechanice se za takovou soustavu pokládala soustava, v níž těžiště daného hmotného systému je v klidu nebo se rovnoměrně a přímočaře pohybuje. Existence těžiště byla zjištěna zákony zachování massy, energie, hybnosti a momentu hybnosti. Takový pojem privilegované vztažné soustavy se dá zavést i v obecné teorii relativity, neboť i v této teorii platí věta o těžišti v obecně kovariantním tvaru, to jest pro libovolné souřadnicové soustavy, avšak s galileovskou podmínkou (4) v nekonečnu [6].

V soulase s tím bude, aniž to bude jakkoli odporovat obecnému principu relativity, Kopernikova heliocentrická soustava privilegovaná i v obecné teorii relativity. Z této příčiny se se strany některých zahraničních fyziků a filosofů tvrdí, že z obecné teorie relativity vyplývá ekvivalence Kopernikovy a Ptolemaiovy soustavy. Nutno k tomu ještě dodat, že rotující vztažná soustava může existovat jen v omezených oblastech prostoru [7], z čehož plyne, že geocentrická Ptolemaiova soustava pro „celý“ vesmír reálně neexistuje.

3. Platí princip ekvivalence setrvačných sil a gravitace?

Obecný princip relativity zahrnuje organicky princip ekvivalence gravitačních a setrvačných sil. Bez toho by nebyla možná obecně kovariantní formulace rovnic fyziky. V tom je také příčina toho, že Einsteinovo úsilí vytvořit obecnou teorii relativity ho přivedlo k formulaci nového obecného gravitačního zákona. Fyzikální obsah principu ekvivalence je v tom, že pole setrvačných sil a sil gravitačních mají i při různém svém vzniku stejný fyzikální účinek. Na příklad rovnice geodetických čar jsou diferenciálními rovnicemi trajektorie malého tělesa jak v gravitačním poli tak v poli setrvačných sil, při čemž v daném bodě prostoru jich nelze rozlišit. Stejný tvar v obou těchto polích mají také rovnice elektrodynamiky, mechaniky těles deformace schopných a jiné.

Princip ekvivalence platí přesně jen lokálně, to jest jen v daném bodě prostoročasu. To zcela stačí k tomu, aby se fyzikální zákony daly formulovat v obecně kovariantním tvaru. Skutečnost, že pro gravitační pole „vcelku“ neplatí princip ekvivalence, znamená, že gravitační pole nelze vykládat jen kinematicky. Nelze ovšem tuto skutečnost pokládat za argument proti principu ekvivalence v jeho existující formě.

4. Jaké jsou vyhlídky pro aplikaci obecné teorie relativity na jevy mikrokosmu?

O obecné teorii relativity se má ve většině případů za to, že jí lze použít jen na makroskopické jevy, na příklad na pohyby nebeských těles. Lze očekávat, že jí bude možno použít i na jevy v mikrokosmu? Zmíníme se o některých okolnostech, jež jsou významné pro odpověď na tuto otázku.

Je známo, že v posledních letech vedla kovariantní formulace kvantové elektrodynamiky (Schwinger, Fejnman, Tomonaga a jiní) vzhledem k Lorentzovým transformacím k značným úspěchům, hlavně v tom smyslu, že se dosáhlo jasnější formulace teorie a výkladu některých nových experimentálních faktů. To dává naději, že důležitější obecně kovariantní formulace kvantové teorie pole a částic se může ukázat plodnou. Tato teorie je nesporně fyzikálně bohatšího obsahu vzhledem k tomu, že se tu berou v úvahu účinky gravitačních polí a polí setrvačných sil. I kdyby se ukázalo, že tato pole nemají podstatnou úlohu v mikrokosmu, byl by důkaz takového faktu sám o sobě pozoruhodným výsledkem, neboť dnes se této poučky používá de facto bez odůvodnění. Některé úvahy methodického charakteru vedou naproti tomu k pochybnostem o správnosti takového tvrzení. Ukazuje se, že v jistých lineárních i nelineárních zobecněních Bornovy-Infeldovy a Boppovy-Podolského elektrodynamiky hypotéza slabého (newtonovského) gravitačního pole nevyhovuje, a že toto pole podstatně přispívá k masě částic [8, 9].

Závěry

Obecná teorie relativity je fyzikální teorie o závislosti vlastností prostoru a času na hmotě a jejím pohybu. Tato teorie se opírá o tvrzení o jednotnosti (kovariantnosti) přírodních zákonů ve všech inerciálních a neinerciálních vztažných soustavách, které existují nebo mohou v přírodě existovat (obecný princip relativity), a o obecný gravitační zákon (1). Teorie obsahuje dvě světové konstanty: rychlost světla v inerciálních vztažných soustavách bez gravitačních polí, a gravitační konstantu, která vystupuje ve formuli (1) pro obecný gravitační zákon. Prvá z těchto konstant reprezentuje vzájemnou závislost prostoru a času, druhá závislost prostoročasu na hmotě a jejím pohybu.

Vykládat obecnou teorii relativity jen jako teorii gravitace s vyloučením obecného principu relativity jako přírodního zákona je nepřijatelné, neboť takový výklad vede k popírání objektivní reálnosti polí setrvačných sil a všech fyzikálních jevů jimi vyvolávaných.

Rozdělení teorie relativity na speciální teorii relativity a na obecnou teorii relativity není podstatné. Pro takové dělení mluví jen praktické úvahy o účelnosti, jak využít teorie v jednom nebo v druhém směru.

Literatura

- [1] V. A. Fok, ŽETF, sv. 9, 375, 1939.
- [2] V. A. Fok *Nikolaj Kopernik*, Izd. AN SSSR, 1947 (viz také článek téhož autora *Kopernikova a Polemaiova soustava ve světle obecné teorie relativity* v časopise „Sovětská věda — matematika-fysika, astronomie“, sv. III [1953], str. 694 a d.).
- [3] Sborník *Někotorýje primeněnja idej N. I. Lobačevskogo v mechanike i fizike*, GTTI, 1950.
- [4] V. A. Fok, *Sovremennaja teorija prostranstva i vremeni*, *Priroda*, roč. 1953, č. 12 (česky pod názvem *Současná teorie prostoru a času*, *Sovětská věda — matematika, fysika, astronomie*, sv. IV [1954], str. 380 a d.).
- [5] V. A. Fok, *Voprosy filosofii*, 4, 1955.
- [6] J. M. Širokov, ŽETF, sv. 21, 748, 1951; M. F. Širokov, ŽETF, sv. 27, 251, 1954.
- [7] L. Landau a J. Lifšic, *Teorija polja*, OGIZ, 1948.
- [8] M. F. Širokov, *Vestnik MGU*, sv. 4, 67, 1947.
- [9] J. Pugačev a M. Širokov, ŽETF, sv. 24, 375, 1953.

Přeložil Josef Veselka