

H M O T A
z p r á z d n o t y u t v o ř e n á

RNDr. Vojtěch Ullmann

O s t r a v a 1 9 8 0

1. Úvod - unitární teorie pole

Jak vznikl tento svět - celý náš vesmír? Trvá vesmír od věčnosti do věčnosti nebo byl svého času "stvořen" /vznikl/ - a bude existovat věčně, nebo někdy zanikne? Jaká je nejvlastnější podstata hmoty a veškerého bytí? Tyto a podobné vzájemně související otázky vzrušovaly od nepaměti a vzrušují stále přírodovědce, filosofy a všechny hlouběji přemýšlející lidi. A snad žádné jiné otázky nejsou tak daleko od svého konečného zodpovězení jako právě tyto základní.

V tomto článku se stručně zmíníme o jednom zajímavém přístupu k pokusu o vyjasnění otázky jednotné podstaty hmoty. Čtenářům je jistě známo, k jakému pokroku ve fyzice vedlo vytvoření jednak Einsteinovy speciální a obecné teorie relativity, jednak kvantové mechaniky v prvních dekádách našeho století. Přes všechny dosažené úspěchy však nebyl Albert Einstein spokojen a do konce svého života pracoval na tzv. unitárních teoriích pole. Myšlenka unitární teorie pole je velice hluboká a krásná. Podle ní by mělo existovat jediné, zcela základní a vše zahrnující fyzikální pole, jehož projevem by pak byla všechna pozorovaná silová pole /gravitační, elektromagnetické, pole silných a slabých interakcí a pod./.

Ve světě pak neexistuje nic než toto pole, z něhož je vše složeno - hmotné útvary /např. částice/ jsou jakési místní "zhuštění" tohoto pole. Na vytvoření unitární teorie pole gravitačního a elektromagnetického pracoval Einstein usilovně až do konce života /téměř 40 let/ - snažil se pomocí spekulativních úprav geometrie prostoročasu "vymyslet přírodu". Tato cesta, jak se ukázalo, nemohla vést k úspěchu.

V jistém smyslu pokračovatelem Einsteinových snah o vytvoření unitární teorie pole, avšak poněkud jinou cestou, se stal americký fyzik John Archibald Wheeler, který s dalšími spolupracovníky /především s Ch. Misnerem/ vyšel od původní /ověřené a osvědčené/ Einsteinovy obecné teorie relativity. Einsteinova obecná teorie relativity svrhla prostor a čas z postavení jakési nezúčastněné "arény", v níž se odehrávají fyzikální děje. Již z časů Galileiho známá, avšak teprve Einsteinem plně pochopená a zobecněná univerzálnost gravitace vede ke geometrickému pohledu na gravitaci -

není žádná gravitace, pouze ~~prostor~~čas je zakřivený. Einsteinova obecná teorie relativity se někdy /a daleko výstižněji!/ označuje též jako geometrodynamika; popisuje dynamiku gravitačního pole, tedy dynamiku geometrie prostoročasu /podobně jako elektrodynamika popisuje dynamiku elektromagnetického pole/. Podle geometrodynamiky je gravitační pole projevem křivosti prázdného prostoročasu - máme tedy jakousi "gravitaci bez gravitace".

Gravitační pole je buzeno univerzálně veškerými formami hmoty, tedy i např. elektromagnetickým polem. Einsteinovy gravitační rovnice mají tu důležitou vlastnost, že popisují chování nejen gravitačního pole, ale nepřímo /přes zákony zachování energie a hybnosti/ i jeho zdrojů. Vezmeme-li tedy elektromagnetické pole ve vakuu, pak z rovnic jím buzeného gravitačního pole plynou i Maxwellovy rovnice tohoto elektromagnetického pole. Elektromagnetické pole zanechává na geometrii prostoročasu charakteristické stopy, z nichž jej lze "poznat". Elektromagnetické pole lze tedy plně popsat pomocí pouze gravitačních veličin /např. složek metrického tenzoru/. Misner a Wheeler tak dospěli k závěru, že již původní Einsteinova obecná teorie relativity do značné míry splňuje to, oč se Einstein pak bezúspěšně snažil - jednotný popis gravitačního a elektromagnetického pole.

Ve škole se učí, že elektromagnetické vlny, např. světlo, se ve vakuu /a v každém průzračném homogenním izotropním prostředí/ šíří přímočaře. To však platí pouze v rovinném eukleidovském prostoru. V gravitačním poli se dráha světelných paprsků zakřivuje, což můžeme chápat buď jako "padání" světla v gravitačním poli, nebo jako pohyb po tzv. geodetické křivce v zakřiveném prostoročase. Šíří-li se prostorem elektromagnetické vlny, budí kolem sebe též gravitační pole - zakřivují prostoročas, ve kterém se pohybují /a to nezůstává bez vlivu na jejich pohyb/. Podle obecné teorie relativity mohou velmi silné elektromagnetické vlny kolem sebe vytvořit tak silné gravitační pole, že jím budou nuceny trvale se pohybovat po uzavřených dráhách. Elektromagnetické vlny si tak samy vytvářejí kolem sebe jakýsi gravitační "vlnovod" ze zakřivené geometrie prostoročasu /z gravitačního pole/, v němž trvale cirkulují - obr. 1. Takový útvar z elektromagnetických vln udržovaný pohromadě vlastní gravitací se nazývá /elektromagnetický/ g e o n.

O geonu pro zajímavost jen uvedeme, že čas uvnitř geonu plyne třikrát pomaleji než daleko od geonu. Geon není stabilní, ale pouze metastabilní - pomalu se rozplývá, nebo naopak může zkolabovat a vytvořit černou díru /taková černá díra bude mít podle teoremu "černá díra nemá vlasy" stejné vlastnosti jako kdyby vznikla gravitačním kolapsem např. hvězdy s příslušnou hmotností a momentem hybnosti/. Pro vzdáleného pozorovatele bude tento geon jevit gravitační účinky jako každá jiná hmota /třebas planeta/ - může např. na oběžnou dráhu kolem geonu uvést družici./Obr. 1. Mohutné elektromagnetické nebo gravitační vlny mohou vytvořit kolem sebe tak silné gravitační pole /zakřivit prostoročas/, že jím budou trvale nuceny cirkulovat v uzavřenem "gravitačním vlnovodu" - vzniká metastabilní hmotný útvar g e o n ./

Taková hmota složená čistě z elektromagnetických vln se nám může zdát sice zvláštní, avšak hmotná povaha elektromagnetických vln je dostatečně vžitá. Nahradme ale elektromagnetické vlny vlnami gravitačními. Gravitační vlny rovněž přenášejí energii, zakřivují tedy prostoročas /univerzální buzení gravitace/ a podle obecné teorie relativity mohou též vytvořit gravitační geon, který se bude navenek svými gravitačními účinky chovat jako skutečná hmota. Co jsou to však gravitační vlny? Gravitační vlny jsou vlněním gravitačního pole, tedy fluktuacemi geometrie prázdného prostoročasu. Pozorovatel se tak stává svědkem fantastické věci: vlnící se křivost prázdného prostoru "bez hmoty" se bude jevit jako hmotný útvar! Gravitační geon je tedy názorným modelem jakési "hmoty bez hmoty", hmoty utvořené doslova z "prázdnoty" prostoru s vlnící se křivostí.

To, jak se i v "prázdném" prostoru bez obvyklých hmotných zdrojů objeví jakási efektivní hmota mající globální gravitační účinky, je poněkud analogické situaci v elektrodynamice, kde se i ve vakuu bez proudů pro nestacionární elektromagnetické pole objevuje Maxwellův posuvný proud mající magnetické účinky stejně jako "skutečný" proud elektrických nábojů.

2. Topologická interpretace elektrického náboje

Všimněme si nyní elektrických nábojů. Elektrické náboje /a jejich proudy/ jsou zdroji elektromagnetického pole, avšak jsou zároveň čímsi "cizorodým" v teorii samotného elektromagnetického pole /jakási substance/. V místech kladných elektrických nábojů elektrické siločáry začínají a vycházejí na všechny strany, do míst záporných elektrických nábojů siločáry ze všech stran vstupují a tam končí /obr. 3a/. Celkový elektrický náboj v libovolné části prostoru lze podle tzv. Gaussovy věty zjistit tak, že vyšetřovanou oblast obklopíme /myšlenou/ uzavřenou plochou S a změříme intenzitu E elektrického pole ve všech místech této uzavřené plochy /určíme "počet siločar" které jdou dovnitř nebo ven/ - obr. 3a. Nemohou se však siločáry, které jdou dovnitř nějak "nepozorovaně" dostat zase ven aniž bychom to zaznamenali na uzavřené ploše tento vnitřek ohraničující /nebo podobně siločáry jež jdou ven se dostat zpět dovnitř/? Na první pohled se taková otázka zdá být směšná. Uzavřeme-li někoho ze všech stran do vězení, je podle zdravého rozumu nemyslitelné, aby se dostal ven aniž by musel projít /prorazit zeď, otevřít v ní dveře/ stěnou svého vězení.

Nakresleme si tuto situaci v dvojrozměrném případě na kus papíru; místo lidí si myslíme mravence, které zde budeme považovat za dvojrozměrné bytosti /obr. 2: a/ Vězeň /mravec/ obklopený ze všech stran uzavřenou stěnou vězení se v prostoru /zde dvojrozměrném/ s obvyklými vlastnostmi nijak nemůže dostat ven aniž projde stěnou vězení. b/ V prostoru s vícenásobně souvislou topologií lze opustit uzavřené vězení bez nutnosti projít jeho stěnou. Mravenec může projít topologickým tunelem a podívat se zvenku na neporušenou stěnu svého vězení. / V horní části /obr. 2a/ má dvojrozměrný svět mravenců obvyklé vlastnosti a vězeň nacházející se uvnitř uzavřené křivky se skutečně nijak nemůže dostat ven aniž by prošel touto hranicí svého vězení.

Co však když dvojrozměrný svět mravenců vypadá tak, jak je to znázorněno na obr. 2b? Mravenec uvězněný v oblasti ze všech stran obklopené uzavřenou křivkou /stěnou vězení/ může projít

"tunelem" a podívat se zvenku na svoje vězení bez toho, že by musel projít v některém místě uzavřenou stěnou svého vězení. Z hlediska trojrozměrného okolí, do něhož je tato konstrukce vnořena, na tom není nic divného - mravenec, i když se pohybuje stále v rámci své dvojrozměrné plochy, "podleze" stěnu svého vězení tak říkajíc přes "další rozměr". Z hlediska samostatných dvojrozměrných mravenců, pro které žádný "třetí rozměr" neexistuje, se však stal jakýsi zázrak: vězeň ze všech existujících stran obklopený zdí se najenou odněkud zvenku přišel podívat na neporušenou zeď svého vězení! Příčina je v tom, že uvedený dvojrozměrný prostor má jiné tzv. topologické vlastnosti než na obr. 2a. Je vícenásobně souvislý. Uzavřená křivka zde již nemusí být hranicí oblasti uvnitř! Lokální geometrické vlastnosti v každém místě přitom mohou být zcela obvyklé /jen mírné zakřivení/.

Nyní se již můžeme vrátit k elektrickým nábojům. Na obr. 3a je obvyklým způsobem v dvojrozměrném nákresu znázorněn kladný a záporný elektrický náboj - z kladného náboje siločáry vycházejí a končí na záporném náboji. Obklopíme-li náboj myšlenou uzavřenou plochou S , můžeme "spočítáním" siločar, jež vcházejí nebo vycházejí stanovit hodnotu náboje Q uvnitř. Tam však žádný "skutečný" elektrický náboj nemusí být! Při vhodné topologii prostoru /jak je znázorněno na obr. 3b/ sice budou uzavřenou plochou S siločáry ze všech stran vstupovat dovnitř, tam však nebudou končit, ale topologickým "tunelem" projdou do jiného místa prostoru, odkud budou zase vycházet a vracet se zpět. Vnějšímu pozorovateli, který bude měřit elektrické pole, se jedno ústí "tunelu" bude jevit jako záporný náboj $-Q$ /siločáry jdou dovnitř/ a druhé hrdlo tunelu jako kladný náboj $+Q$ /siločáry jdou ven/.

Taková topologická interpretace elektrického náboje je "nábojem bez náboje": žádné "skutečné" elektrické náboje neexistují, elektrické siločáry nemají začátky ani konce, jsou pouze zachyceny a procházejí topologickým tunelem prostoru, jehož ústí se pak jeví jako kladné a záporné náboje Q . Tedy volné elektromagnetické pole ve vakuu bez nábojů může vlivem vhodné topologické struktury v prostoru vlastně vytvářet /efektivní/ elektrické "náboje".

Obr. 3

- a/ Obvyklé chápání elektrického náboje Q jako "substance", z níž vycházejí /a vcházejí/ siločáry buzeného elektrického pole.
- b/ Topologická interpretace elektrického náboje - neexistuje žádný "skutečný" náboj jako substance, siločáry nikde nezačínají ani nekončí, jsou jen zachyceny a procházejí topologickým tunelem, jehož hrdla se pak jeví jako "zdánlivé" náboje " Q ".

3. Kvantová geometrodynamika

Když to zrekapitulujeme, geometrodynamický pohled na svět klasické /nekvantové/ fyziky je obdivuhodně jednotný: neexistuje nic než prázdný prostoročas, veškerá hmota, pole i náboje jsou projevem geometrických a topologických vlastností prázdného prostoru /ne příliš správně řečeno slovy starých filosofů - "všechno je nic"/. Klasická fyzika by takto mohla být plně unitarizována.

Víme však, že příroda je mnohem pestřejší - je známo více než 300 druhů "elementárních" částic, náboj je kvantován atd. Z tohoto pohledu se celá klasická geometrodynamika jeví jen jako zajímavá fyzikálně-matematická hříčka. Aplikací kvantových zákonitostí na geometrodynamiku vzniká tzv. kvantová geometrodynamika.

Při běžném pohledu se nám prostoročas jeví jako spojitě kontinuum. Podobně když se z vysokého letícího letadla díváme na povrch oceánu, vidíme zcela hladkou, jen mírně globálně /do tvaru zeměkoule/ zakřivenou hladinu. Seskočí-li pozorovatel padákem a postupně se blíží k hladině, vidí stále zřetelněji, že je rozvlněná. Když nakonec dosedne s gumovým člunem na hladinu tak si uvědomí, jak daleko má hladina do ideálně hladké plochy - hladina se prudce vlní, stříká pěna. V metrových měřítcích silně fluktuuje místní zakřivení hladiny /vlny/, v centimetrových a milimetrových měřítcích fluktuuje dokonce i topologická struktura hladiny /oddělují se kapky, vznikají bubliny pěny/.

Podobně v našem časoprostorovém "kontinuu" čím menší mikrooblasti sledujeme, tím více se budou podle kvantové geometrodynamiky projevovat tzv. kvantové fluktuace geometrie, až nakonec v měřítcích tzv. planckovské délky 10^{-33} cm bude silně fluktuovat

i samotná topologie prostoru /budou se např. vytvářet a zanikat topologické tunely a pod./ . Podle kvantové geometrodynamiky je tedy to zdánlivě prázdné vakuum dějištěm nabouřlivějších mikrojevů - prostoročas má jakousi "pěnovitou" neustále fluktuující mikrostrukturu. Pozorované elementární částice /které však nejsou zdaleka elementární/ mají rozměry řádové 10^{20} krát větší než Planckova délka, a tedy by mohly být snad jakýmsi slabými kolektivními "excitacemi" v moři silných fluktuací mikrogeometrie, které se všude jinde v průměru ruší /a makroskopicky tvoří obvyklé "vakuum"/. Zda tomu tak je a jak to probíhá zatím nikdo neví.

4. Z á v ě r

V současné fyzice však nyní převládá jiná cesta k unitarizaci - cesta kvantové fyziky polí, sjednocování čtyř druhů fundamentálních interakcí mezi elementárními částicemi /interakce silné, slabé, elektromagnetické a gravitační/. V nedávné době vedlo ke značným úspěchům s jednocováním elektromagnetických a slabých interakcí na jednu tzv. elektroslabou interakci. Dále jako tzv. "velké sjednocení" se označují teorie pokoušející se sjednotit elektroslabé interakce se silnými interakcemi /s tzv. kvarkovou chromodynamikou/. Konečně byly učiněny i první pokusy o kvantové sjednocení ostatních interakcí s gravitací v tzv. supergravitaci, která ke gravitačnímu poli /s jeho kvanty gravitony/ přiřazuje další spinorové pole, jehož kvantum /"částice"/ se nazývá gravitino. Podobně jako u kvantové geometrodynamiky zatím nikdo neví, zda supergravitační teorie je správnou cestou, experimentální ověření /např. pozorování gravitina/ zatím zcela chybí.

Od konečného zodpovězení v úvodu položené otázky o jednotné podstatě a struktuře hmoty jsme tedy stále ještě daleko. Od postupného sbližování kvantové mechaniky s obecnou teorií relativity však lze hodně očekávat. Připomeňme jen velmi zajímavý vývod S. Hawkinga o kvantovém vypařování černých děr nebo teorie o kvantově-relativistických fyzikálních procesech v blízkosti předpokládané iniciální singularity /bin bangu/ spoluurčujících další strukturu a evoluci vesmíru.

Rovněž sestoupení "o jedno patro níž" - od geometrie k topologii, vede k řadě zcela zásadních otázek. Jsou diskutovány možnosti existence více "vesmírů", mezi nimiž by rotující nebo elektricky nabitě černé díry mohli vytvářet jakési "spojovací tunely". Globální topologická struktura vesmíru, která nemusí být vůbec obvyklá eukleidovská, neovlivní sice lokální fyzikální děje, ale může mít značný vliv na vzájemné vztahy mezi různými částmi vesmíru a na to, co z vesmíru pozorujeme. Např. určité objekty bychom mohli vidět současně na různých místech oblohy /jakési "duchy", globální obdoba gravitační čočky/ v různých fázích jejich vývoje podle doby, kterou potřebuje světlo k překonání té které cesty k pozorovateli. To všechno jsou ovšem zatím jen hypotézy.

Celkově můžeme říci, že otázky mikrosvěta, makrosvěta i megasvěta se velmi úzce prolínají /a tak tomu v přírodě též skutečně je!/, takže úspěchy bádání v jedné oblasti se mohou velmi pro-
nikavě uplatnit i v druhé oblasti. A my se budeme na tyto další úspěchy těšit !

Vydala: Krajská hvězdárň Prešov

Zodpovedný: riaditeľ KH - Štefánia Lenzová, prom.ped.

Náklad: 500 výtlačkov

Nepredajné!

Len pre vnútornú potrebu!

Autor: RNDr. Vojtěch Ullmann, Radioisotopové odd. KNSP, ul. Vítěz-
ného února 1790, 708 52 Ostrava - Poruba

Číslo blán: 158 - 167/83