

DIMENZIE PRIESTORU A ČASU

Dalibor Krupa

Fyzikálny ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 845 11 Bratislava

Abstrakt: *Skúmanie priestoru a času pri poznávaní fyzikálnej reality, ktorá nás obklopuje, spôsobuje, že aj naše vnímanie priestoru a času podobne ako vnímanie hmoty a energie sa dramaticky mení a prehlbuje. V článku ukazujeme ako sa pod tlakom nových poznatkov zmenilo jednoduché vnímanie času a geometrická predstava priestoru v klasickej fyzike na predstavu jedného časopriestorového kontinua a ako sa menia aj súčasné predstavy 4-dimenzionálneho časopriestoru ako novej podmnožiny mnohorozmerného priestoru. Prínos príspevku spočíva v pochopení viacrozmerného priestoru na základe jednoduchých analógií s menej ako trojrozmernými priestormi.*

Kľúčové slová: priestor, čas, štvorrozmerný časopriestor, dimenzie priestoru

Úvod

Základnou vlastnosťou priestoru a času je ich rozmernosť, čiže dimenzia. Priestor, ktorý nás obklopuje je trojrozmerný, jeho dimenzia je 3-D. V klasickej mechanike vystupuje čas skôr ako nezávislý bezrozmerný parameter. Z geometrie poznáme aj priestory s dimenziou menšou ako tri. Príkladom dvojrozmerného priestoru 2-D je rovina alebo ľubovoľná iná plocha, napríklad plocha povrchu gule. Geometrická priamka, zakrivená čiara alebo trajektória pohybujúceho sa telesa predstavujú jednorozmerný priestor 1-D. Geometrický bod je príkladom bezrozmerného priestoru. Pri pohybe hmotného telesa, ktorého rozmery sú malé v porovnaní s dĺžkou jeho dráhy (napríklad pri pohybe planét po obežných dráhach okolo slnka) nie je nutné brať do úvahy jeho rotáciu, rozmery či tvar telesa a stačí uvažovať o pohybe jeho ťažiska ako bezrozmerného hmotného bodu.

1. Stupne voľnosti a súradnicové sústavy

Poloha hmotného bodu pri jeho pohybe v jednorozmernom priestore po priamke alebo po trajektórii iného tvaru, sa dá určiť jedinou súradnicou, napríklad vzdialenosťou od ľubovoľne zvoleného iného pevného bodu, ktorý môžeme považovať za začiatok súradnicovej sústavy. Pri svojom pohybe v 1-D priestore má iba jeden stupeň voľnosti, na rozdiel od pohybu po ploche. V dvojrozmernom priestore, akým je plocha, už s jedným údajom na určenie polohy hmotného bodu nevystačíme. Sú na to potrebné dva údaje, dva parametre, či dve súradnice. Hovoríme, že pri svojom pohybe v 2-D priestore má hmotný bod dva stupne voľnosti. V 3-D priestore sú na určenie polohy potrebné tri súradnice.

Pri popise pohybu hmotného bodu je zaujímavé poznať okrem polohy aj dĺžku dráhy - vzdialenosť, ktorú prešiel. Ak súradnicovú sústavu stotožníme so začiatočným bodom pohybu, tak dĺžka vykonanej dráhy s sa, pri priamočiarom pohybe, rovná vzdialenosti x hmotného bodu. V 1-D priestore platí $s = |x|$, takže platí

$$s^2 = x^2$$

V dvojrozmernom priestore s pravouhlými súradnicami x , y platí podľa Pytagorovej vety

$$s^2 = x^2 + y^2$$

V trojrozmernom priestore v pravouhlej súradnicovej sústave so súradnicami x , y , z máme obdobný vzťah

$$s^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

Výhodné je použiť zápis sčítania pomocou indexov súradníc

$$s^2 = \sum_{i=1}^n (x_i)^2 \quad (1)$$

kde n sa rovná počtu dimenzií uvažovaného priestoru 1, 2 alebo 3. Ako ďalej uvidíme, tento vzťah platí aj pre štvorrozmerný časopriestor v teórii relativity a tiež v teóriách uvažujúcich s viacrozmernými priestormi.

2. Relativita pohybu a transformácie súradnicovej sústavy

Telesá sa pohybujú v priestore, ale nie voči priestoru. Keď hovoríme o pohybe hmotného bodu, vždy máme na mysli pohyb voči ostatným telesám či hmotným bodom, s ktorým ho môžeme porovnávať. Klasická predstava pohybu voči akémusi absolútnemu prázdnenému priestoru je nereálna. Pohyb telesa v priestore sa nedá určiť, pokiaľ sa v priestore nenachádza niečo voči čomu sa pohyb deje, napríklad iný hmotný bod, teleso s ktorým môže navzájom interagovať.

Keďže súradnicovú sústavu si môžeme sami zvoliť, môžeme ju spojiť s telesom, ktoré sa pohybuje, alebo dokonca rotuje. Predstavme si, že sa pozeráme na nejaké teleso, napríklad na bežné školské pravítko s dĺžkou 30cm. Jeho dĺžka sa nezmení, keď sa začneme k nemu približovať alebo vzdalovať. Dokonca sa nezmení ani keby sme sa pritom začali otáčať. Jeho dĺžka bude stále rovnaká, čiže 30cm. Znamená to, že vzdialenosť v priestore medzi dvomi pevnými bodmi sa nemení, či ju meriame v súradnicovej sústave, ktorá je stacionárna, alebo či sa pohybuje. To isté platí, keby sme boli v súradnicovej sústave pevne spojenej s letiacim, či rotujúcim telesom.

Veličiny, ktoré sa pri prechode z jednej súradnicovej sústavy na druhú nemenia, sa nazývajú invariantami. Vzdialenosť medzi dvomi pevnými bodmi vyjadrená vzťahom (1) je invariantná vzhľadom na transformácie súradníc bez ohľadu na to, či je to vzdialenosť meraná v jednorozmernom, dvojrozmernom alebo trojrozmernom priestore.

3. Štvorrozmerný priestor

Pri doterajších úvahách sme nemali problém predstaviť si bod, čiaru, plochu či trojrozmerné teleso. Predstaviť si 0-D, 1-D a 2-D priestor nie je problém, lebo náš 3-D priestor, v ktorom žijeme, obsahuje v sebe celkom prirodzene priestory s menšou dimenziou. Všetky menej ako 3-D priestory sú totiž podmnožinou 3-D priestoru. Keby sme boli bytosťami s dimenziou menej ako 3-D, predstaviť si 3-D priestor by nám robilo veľké ťažkosti. Predstavme si, že by sme boli dvojrozmernými bytosťami, aké bežne vidíme na filmovom plátne, alebo obrazovke. Bytosťami, ktoré sú projekciami trojrozmernej reality do dvojrozmerného priestoru. Pozerať by sme sa mohli iba doprava a doľava, nikdy by sme sa nemohli pozrieť hore, alebo dole, lebo rozmer smerom nahor by pre nás jednoducho neexistoval. Presne takáto je naša situácia, keď si chceme predstaviť štvorrozmerný geometrický priestor, lebo štvrtý rozmer pre nás neexistuje.

Aké však mohlo byť Einsteinove prekvapenie, keď v reči matematiky sformuloval experimentálne zistenú skutočnosť, že rýchlosť svetla nezávisí od rýchlosti zdroja svetla, ale ani od rýchlosti, ktorou sa pohybuje pozorovateľ, čo túto rýchlosť meria. Či sa zdroj svetla pohybuje smerom k nám alebo

od nás, rýchlosť svetla nameriame vždy tú istú, teda konštantnú. Matematicky to znamená, že aj pre $n=4$, kde štvrtá súradnica súvisí s časom, sa pri transformáciách súradných sústav vzdialenosť s v rovnici (1) zachováva, podobne ako sa vzdialenosť zachováva v trojrozmernom priestore. Štvrtá súradnica x_4 pritom vyjadruje vzdialenosť, ktorú svetlo prekoná za čas t , teda platí, že $x_4 = ct$.

Čo z toho vyplýva? Znamená to, že v skutočnosti žijeme v štvorrozmernom priestore 4-D, pričom náš 3-D priestor je podmnožinou priestoru 4-D, ktorý v sebe obsahuje tri súradnice 3-D priestoru a súradnicu závisiacu od času. Hovoríme tomu štvorrozmerný časopriestor. Poloha bodu v priestore vždy súvisí s určitou polohou v čase. Poloha a čas sú takto navzájom prepojené. Čas v teórii relativity už nie je ponímaný iba ako nezávislý parameter ale ako jedna zo súradníc, pričom zmena jednej súradnice spôsobuje zmenu iných, tak aby platilo, že s v rovnici (1) sa nezmení.

4. Viacrozmerné priestory

Viacrozmerné priestory, dokonca priestory s nekonečným počtom rozmerov, nie sú vo fyzike novinkou. Vyskytujú sa v mechanike, termodynamike aj kvantovej mechanike. Ide o tzv. fázové priestory určené polohami a hybnosťami zodpovedajúcimi všetkým možným fyzikálnymi stavom častíc, napríklad molekúl v termodynamike, alebo častíc v tzv. Hilbertovom priestore v kvantovej mechanike. Napriek tomu, že si ich geometricky názorne nevieme predstaviť, vieme ich dobre matematicky popísať a vieme s nimi počítať.

V teoretickej fyzike existujú modely s 10-rozmerným, 26-rozmerným vesmírom, ale aj iné, v ktorých sa nachádza náš známy 4-rozmerný časopriestor. Predpokladá sa, že napríklad ochladzovaním vesmíru pri jeho rozpínaní mohlo dôjsť k tzv. kompakifikácii, t.j. k zredukovaniu extra dimenzií, zvyšných rozmerov, takže sa postupne prestali prejavovať, podobne ako sa relativistický 4-D vesmír javí iba ako 3-D vesmír klasickej mechaniky. Skúmanie fyzikálnych dejov v relativistickej kvantovej fyzike, ktoré sa pri rýchlostiach svetla dejú za nepredstaviteľne malé zlomky času dáva nádej, že sa niečo dozvieme o existencii takýchto extra dimenzií.

Pomocou urýchľovačov elementárnych častíc sa podarilo skúmať štruktúru hmoty na vzdialenostiach mnohokrát menších ako najvýkonnejšími elektrónovými mikroskopmi. Vďaka nim vieme v súčasnosti rozoznať štruktúry, ktoré sú malé až

10^{-20} metra a čas s presnosťou 10^{-24} sekundy. Je to ešte veľmi ďaleko od predpokladanej najmenšej, tzv. Planckovej vzdialenosti 10^{-34} metra a najkratšiemu existujúcemu intervalu času, tzv. Planckovmu času 10^{-44} sekundy, čo sú veličiny odvodené z kvantovej mechaniky. Hrali rozhodujúcu úlohu pri vzniku vesmíru. Očakáva sa že zvyšovaním energie elektrónov pomocou urýchľovačov sa podarí odkryť skryté doposiaľ neznáme dimenzie.

Jednoduchou analógiou na pochopenie kompakfikácie dimenzií je napríklad to, ako vnímame lano natiiahnuté medzi stožiarimi. Pri pohľade z diaľky sa javí ako jednodimenzionálny objekt, ale pri priblížení začíname rozoznávať jeho hrúbku a vidíme ho už ako dvojrozmerný objekt, pri dostatočnom priblížení a zväčšení ho vidíme ako skutočný trojrozmerný objekt.

5. Záver

Doterajšie poznatky z procesu poznávania reality, ktorá nás obklopuje, nás vedie za hranice našej bežnej skúsenosti a predstavivosti. V mikrosвете sme si už zvykli na podivné vlastnosti hmoty - atómov, elementárnych častíc a kvarkov. V makrosвете sme si podobne zvykli na podivné

vlastnosti času, priestoru a rozpínajúceho sa vesmíru. V oboch prípadoch nám nestačí naša predstavivosť získaná jednoduchou každodennou skúsenosťou. Ako ľudské bytosti sa nachádzame niekde v strede medzi dvomi nekonečnosťami a hoci si to ľudia prostredníctvom pozorovania prírody vždy uvedomovali, súčasné vedecké poznávanie, vyzbrojené oveľa lepšími prístrojmi ako kedykoľvek predtým, nám prezrádza, že hranice týchto oboch nekonečností v mikrosvete a v makrosvete sú ešte oveľa vzdialenejšie, ako sme si predstavovali.

Navyše sa ukazuje, že ako sa zväčšujú naše vedomosti, objavujeme stále zložitejšie a jemnejšie štruktúry hmoty, energie, priestoru a času. Naše súčasné poznatky iste nie sú konečné a čakajú nás ďalšie prekvapenia.

Podakovanie

Príspevok vznikol v rámci riešenia grantového projektu APVV-LPP-0223-09.

Adresa autora

RNDr. Dalibor Krupa, CSc., DPhil

Fyzikálny ústav SAV

Dúbravská cesta 9

845 11 Bratislava 4

krupa@savba.sk