

# Červie diery a cestovanie v čase

Cesta do minulosti nám môže pripadať ako námet sci-fi románu. Výskum medzinárodného tímu teoretikov pod vedením slovenského vedca však ukázal, že využitím červie diery a priestoru v podobe Möbiovej pásky by to bolo možné. Dokonca by to nenarušilo ani princíp kauzality.

Koľkokrát v živote sme si povzdychli: „Keby sa dal vrátiť čas...“ Všetko by bolo iné, samozrejme, lepšie. Ideálne, ak by sme sa mohli vrátiť do minulosti s dnešnými znalosťami a skúsenosťami. Bez poznania histórie by sme pravdepodobne urobili tú istú chybu, kvôli ktorej sme chceli minulosť napraviť. A kto vie, možno sme sa už vrátili toľkokrát, že žijeme v najlepšej možnej prítomnosti... Čo ak by cestovanie v čase bolo naozaj možné? Využili by sme to? V tomto článku sa pokúsime populárnou formou zhrnúť fyzikálne možnosti cestovania (nielen) v čase a priniesť nový pohľad na tento problém, ak vezmeme do úvahy existenciu záporných dimenzií.

## Cestovanie v priestore

Od prvého pristátia ľudí na Mesiaci pred viac ako 50 rokmi sme sa v medziplanetárnom cestovaní s ľudskou posádkou veľmi neposunuli. Očakávaná cesta na Mars predstavuje nielen technickú, ale aj psychologickú výzvu. Cesty k iným planétam (alebo ich mesiacom) v rámci Slnecnej sústavy by so súčasnými dopravnými prostriedkami trvali niekoľko rokov až desaťročí. Medzihviezdne vzdialenosti sú však priepastné. Ľudstvo si možno v priebehu desaťročí podmaní Slnecnú sústavu, no obsadiť planétu vhodnú pre život pri inej hviezde so súčasnými rýchlosťami rakiet by trvalo desiatky tisíc rokov. Alebo sa dajú tieto cesty nejako skrátiť?

Do vzniku špeciálnej teórie relativity (1905) sa čas považoval za niečo absolútne. Vesmír existoval v čase, ktorý plynul nezávisle od toho, čo sa v ňom odohrávalo. Albert Einstein zmenil náš pohľad na čas, keď ukázal, že je previazaný s priestorom a pozorovateľom, ktorý sa v ňom nachádza a pohybuje. Čas je v teórii relativity relatívny pojem. Dobré to vidieť na príklade elementárnych častíc, ktoré vznikajú zrážkami protónov s vysokou energiou v najväčšom urýchľovači na svete - *Veľkom hadrónovom urýchľovači* (Large Hadron Collider, LHC, CERN, obr. 1). Mnoho častíc, ktoré v pokojovej sústave (t. j. v sústave, v ktorej sa nehýbu) sa veľmi rýchlo rozpadajú, existuje pre vonkajšieho pozorovateľa, detektor (t. j. v sústave, v ktorej sa pohybujú), omnoho dlhšie. V tejto sústave majú častice pohybovú energiu niekedy aj tisíckrát väčšiu ako svoju pokojovú energiu (danú známym vzťahom  $E = mc^2$ ). Pre vonkajšieho pozorovateľa pomer celkovej energie (pohybová + pokojová) a pokojovej potom určuje, koľkokrát dlhšie existujú tieto častice než v pokojovej sústave. Ak je napr. celková energia 1000-krát väčšia



Obr. 1: Umelecké stvárnenie urýchľovača LHC ako diaľnice do vesmíru. (Zdroj: CERN)

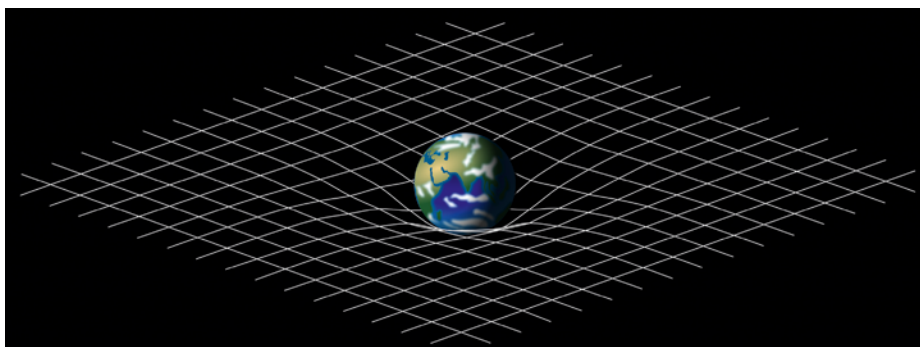
ako pokojová, potom bude častica existovať 1000-krát dlhšie. Tento jav sa označuje ako dilatácia (z lat. rozšírenie, zväčšenie) času a je denno-denne experimentálne potvrdzovaný (a tým aj teória relativity) na svetových urýchľovačoch.

Ukážeme si to aj na inom príklade: s priateľom sa stavíte, že vašou raketou (najnovšia technológia z roku 3 000) podniknete okružnú cestu okolo stredu Galaxie za 80 dní. Váš priateľ, ktorý chýbal na hodinách relativity, sa rád stavia, lebo vie, že svetlu by to trvalo okolo 170 000 rokov a ako vieme, žiadne hmotné teleso sa nemôže pohybovať rýchlejšie ako svetlo vo vákuu (približne 300 000 km/s). Dilatácia času však spôsobí, že čím rýchlejšie sa pohybujeme, tým kratší čas nám na lodi uplynie. Náš priateľ na Zemi by nám síce nameral čas niečo viac ako 170 000 rokov (určite poletíme pomalšie ako svetlo), no v rakete by mohlo ubehnúť 50 000 rokov, 5 rokov, alebo pokojne aj tých 80 dní, v závislosti od našej rýchlosti. Aby sme to však stihli za tých „našich“ 80 dní, museli by sme sa pohybovať rýchlosťou 99,999 999 999 917% rýchlosti svetla vo vákuu. Druhou stranou mince je, že keď si pridáme po výhru, náš priateľ bude už takmer 170 000 rokov mŕtvy...

Asi najextrémnejším príkladom dilatácie času sú vysokoenergetické častice kozmického žiarenia. Ak by k nám tieto častice (väčšinou sú to protóny) prileteli z obdobia Veľkého tresku (teda pred 13,8 miliardy rokov), boli by len nedávnymi účastníkmi vzniku vesmíru, keďže v ich sústave od tohto okamihu uplynulo len pár týždňov! A koľko by nám trvala cesta na Proximu Centauri, ak by sme sa mohli „zviezť“ na zväzku z urýchľovača LHC? Niečo viac ako 5 hodín, teda ako cesta z Bratislavy do Košíc.

Môžete si však povedať: počkať, ak naša kozmická loď preletí 170 000 svetelných rokov za 80 dní a jeden svetelný rok predstavuje 9,5 bilióna kilometrov, nepoletíme rýchlejšie ako svetlo? Veď

$1,6 \times 10^{18} \text{ km} / 6,9 \times 10^6 \text{ s} = 2,3 \times 10^{11} \text{ km/s}$ , čo je 776 tisíc krát viac ako rýchlosť svetla vo vákuu. Ale pozor! V relativite (tak ako v celej fyzike) platí, že ak chceme počítať s rôznymi veličinami, musíme ich určiť v rovnakej vzťažnej sústave. V prípade uvedeného výpočtu sme však vzdialenosť merali v sústave spojenjej so Zemou, no čas sme určili v sústave spojenjej s raketou. Pre výpočet rýchlosti sme teda pomešali hrušky s jablkami. V sústave spojenjej so Zemou je vzdialenosť rovná



Obr. 2: Zakrivenie časopriestoru závisí od rozloženia hmoty a energie. (Zdroj: wikimedia.org)

170 000 svetelných rokov a čas rovný trochu viac ako 170 000 rokov. V sústave spojenej s raketou uplynie 80 dní, pretože cesta by sa pre nás skrátila na necelých 80 svetelných dní! V rakete by sa nám totiž zdalo, ako keby sa priestor v smere nášho pohybu skracoval, keďže okolie voči nám uháňa rýchlosťou blízkou rýchlosti svetla. Kontrakcia dĺžky je ďalšia z predpovedí špeciálnej teórie relativity, ktorá súvisí s absolútnym limitom rýchlosti pohybu hmotných objektov.

### Cestovanie v čase

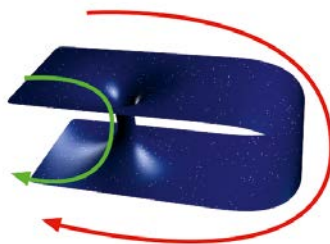
Z nášho príkladu cesty okolo Galaxie za 80 dní vyplýva, že v čase určite môžeme cestovať dopredu – do budúcnosti. Ako rýchlo, v porovnaní s rovesníkmi, ktorí zostali na Zemi, závisí iba od našej rýchlosti. Čím je väčšia, tým je efekt dilatácie času výraznejší. Limitná rýchlosť hmotných telies (s nenulovou pokojovou hmotnosťou) je rýchlosť svetla vo vákuu. Je to zároveň aj jediná absolútna rýchlosť, pretože v každej sústave, nezávisle od jej rýchlosti, ostáva jej veľkosť rovnaká. Vlastne práve vďaka tejto vlastnosti, má časopriestor (alebo priestoročas, učebnice niekedy označujú čas ako štvrtú súradnicovú os, inokedy ako nultú) také zaujímavé, zdanlivo až paradoxné vlastnosti.

Fotón, ako jedna z dvoch elementárnych častíc, ktoré majú nulovú pokojovú hmotnosť (druhou časticou je gluón, no ten je uväznený v nukleónoch a nemôžeme s ním robiť priame experimenty) sa pohybuje rýchlosťou svetla vo vákuu. Efekt dilatácie času je preto extrémny, vo vákuu by čas pre fotón zastal. Cesta z jedného konca vesmíru na druhý by mu pripadala ako okamih. Ak by sa predsa len nejaká častica (napr. hypotetický tachyón) pohybovala rýchlejšie ako svetlo, potom by jej čas plynul do minulosti. Z okružnej cesty po Galaxii raketou s nadsvetelnými motormi by sme sa vrátili mladší ako sme výlet začali. Je teda možný návrat v čase?

Hlavným problémom s cestovaním do minulosti je narušenie kauzality, v tomto kontexte známe ako paradox starého otca: ak by sme počas výpravy do minulosti spôsobili smrť svojho dedka, nemohli by sme sa neskôr narodiť, a teda ani podniknúť cestu do minulosti. S výletom do budúcnosti tento problém nenastáva, lebo sa predpokladá, že budúcnosť nie je daná, ale môžeme ju meniť na základe našich slobodných rozhodnutí. Minulosť sa však už odohrala.

### Cestovanie v časopriestore

Cestovanie vo vesmíre relativistickými rýchlosťami, prípadne pomocou tachyónov, má svoje nedostatky. Napríklad, nemohli by sme sa s priateľmi podeliť so zážitkami z cesty. Nedalo by sa to vyriešiť bez časových skokov? Dalo - skratkou cez



Obr. 3: Červia diera s dvoma koncami v dvojdimenzionálnom zakrivenom priestore ako skratka vedúca cez dodatočný, tretí rozmer. (Zdroj: Wikimedia.org)

dodatočné dimenzie (hyperpriestor).

V špeciálnej teórii relativity Albert Einstein ukázal, že čas je zviazaný s priestorom do takej miery, že zmena jedného mení druhé. O 10 rokov neskôr publikoval všeobecnú teóriu relativity, ktorú by sme mohli nazvať aj teória gravitácie. V nej odhalil, že vlastnosti času a priestoru sú naviazané na rozloženie hmoty a energie. Každý hmotný objekt (aj človek alebo elementárna častica) okolo seba zakrivuje priestor a mení plynutie času. Merateľné je to však až pri veľmi hmotných objektoch ako napr. Slnko.

Všeobecná teória relativity dáva do vzťahu krivosť časopriestoru (geometriu) a rozloženie hmoty. Americký teoretický fyzik John Wheeler duchapne zhrnul túto teóriu slávnou vetou: „Časopriestor určuje hmotu, ako sa má hýbať a hmota časopriestoru, ako sa má ohýbať.“ Alebo inak: dráha telesa v gravitačnom poli je určená krivosťou časopriestoru a krivosť časopriestoru je určená hmotnosťou telesa (obr. 2).

Vesmír vyzerá globálne plochý (má nulovú časopriestorovú krivosť), no lokálne existujú miesta aj s nekonečnou krivosťou - čierne diery. Sú to ozajstné diery v časopriestore. Vieme, že keď niečo padne pod horizont udalosti,

už sa naspäť nevráti. Stephen Hawking síce prišiel s návrhom, že objekty, ktoré spadnú do čiernych dier by sa mohli vynoriť na opačnom konci vesmíru z tzv. bielych dier, ktoré nič nepohlcujú, len vyvrhujú. Táto cesta by však asi nebola vhodná na cestovanie: jednak by to bola jednosmerná cesta a tiež vieme, že čierne diery nie sú veľmi „šetrné“ k objektom, ktoré do nich padajú.

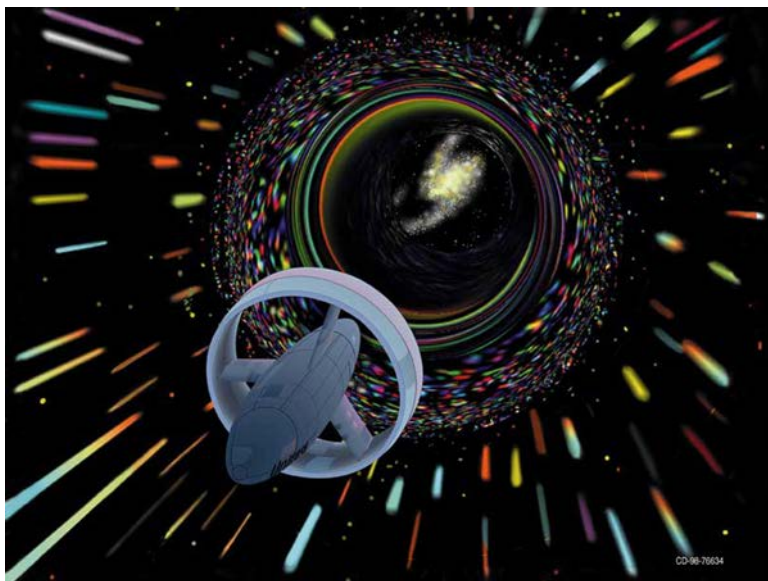
### Červie diery

Vhodným kandidátom na cestovanie by mohli byť tzv. červie diery, ktorých existencia však, na rozdiel od čiernych dier, nebola experimentálne potvrdená. Červia diera predstavuje tiež diery v časopriestore, no ide o diery s dvoma koncami. Do ústia červej diery by sa dalo vojsť, ale aj z neho vyjsť (obr. 3). Červie diery, na rozdiel od čiernych, nemajú horizont udalosti. V trojdimenzionálnom priestore by malo ústie červej diery dokonalejšie sférický tvar a mohli by sme v jednom ústí vidieť priestor za tým druhým ústím (obr. 4).

Červie diery sú jedným z matematických riešení rovníc všeobecnej teórie relativity (tzv. Einsteinove-Rosenove mosty), no majú pár nepriemerných vlastností, ktoré ich na cestu časopriestorom diskvalifikujú: vo vesmíre vznikajú náhodne a existujú príliš krátko na to, aby nimi hocičo preletelo. Gravitačným pôsobením dochádza totiž k okamžitému pretrhnutiu diery v hyperpriestore. Aby k pretrhnutiu spojenia koncov červej diery nedošlo, musela by byť „vystužená“ nejakým exotickým materiálom, ktorý by tlačil steny diery od seba, teda mal antigravitačné účinky. Gravitácia zakrivuje priestor tak, ako to robí so svetlom spojná šošovka. Antigravitácia by mala pôsobiť ako gravitačná rozptyľka. Poznáme však v prírode niečo, čo pôsobí anti-gravitačne? Niečo, čo má zápornú hmotnosť, resp. zápornú pokojovú energiu?

Vo vesmíre sa stretávame hlavne s kladnou hustotou energie (všetko hmotné má kladnú pokojovú hmotnosť). Stephen Hawking však zistil, že ak sa kvantové fluktuácie vákuu odohrávajú v blízkosti horizontu udalosti čiernej diery, môžu predstavovať hmotu so zápornou hustotou energie.

Kvantové fluktuácie sú vysvetlením mnohých javov v časticovej fyzike. Vďaka nim si myslíme, že vesmír nie je prázdny a v najmenších mierkach sa javí ako „bublajúca polievka“ párov častíc a antičastíc, ktoré neustále vznikajú a zanikajú. Tento jav bol experimentálne potvrdený (tzv. Casimirov efekt). Vďaka kvantovým vlastnostiam častíc sa to neprieči ani základnému prírodnému zákonu – zákonu zachovania energie. Tieto častice v skutočnosti nie sú reálne (v teórii ich označujeme ako virtuálne), lebo nemajú niektoré vlastnosti



Obr. 4: Umelecké stvárnenie preletu kozmickej lode cez červiu diery. V červej diere vidieť cieľ cesty, normálne vzdialený aj milióny svetelných rokov. (Zdroj: NASA)

skutočných častíc. Ak však takýto pár virtuálnych častíc vznikne na zlomok sekundy na hranici horizontu udalostí čiernej diery, jedná častica (tá, ktorá vznikla pod horizontom udalostí) bude pritiahnutá čiernou dierou. Druhá častica, ktorá vznikla nad horizontom udalostí, už nemá na výber – jej virtuálna partnerka sa stratila a tým pádom sa táto častica musí „zreálniť“. Detegovali by sme ju ako súčasť tzv. Hawkingovho žiarenia. Zreálnenie častice znamená, že v pôvodne prázdnom priestore vzniklo niečo s kladnou energiou. Dôsledkom zákona zachovania energie je, že druhá častica, ktorá skončila v čiernej diere, musí mať zápornú energiu. Pre vzdialeného pozorovateľa to vyzerá, ako keby sa hmotnosť čiernej diery znížila. Takto si vieme predstaviť niečo so zápornou energiou.

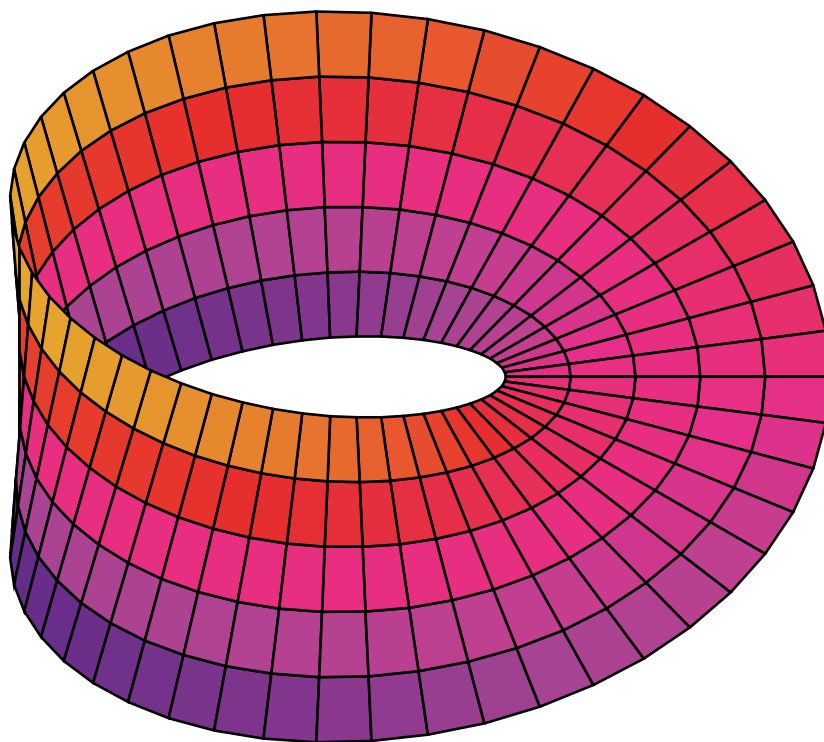
Teoreticky tento exotický materiál nemusí byť nutne zložený z hmoty so zápornou pokojovou energiou (ako napr. tachyóny). Stačí, aby pôsobil vzhľadom na prelietavajúcu časticu alebo kozmickú loď ako materiál so zápornou hustotou energie. Ak vákuum osciluje okolo nejakej hodnoty hustoty energie, potom jednotlivé fluktuácie spôsobujú, že na jednom mieste je viac energie (vyššia energetická hustota), na inom menej. Oproti miestam s vyššou energiou môžu potom tie s nižšou pôsobiť ako záporná hustota energie. Môžeme si to predstaviť ako more. Z diaľky vyzerá ako dokonalá guľová plocha, no zblízka vidíme, že sa vlní. Niektoré miesta povrchu sú nižšie („záporná hodnota“) a niektoré vyššie („kladná hodnota“) ako stredná hodnota guľovej plochy.

Kip Thorne sa vo svojej brilantnej knihe Černé diery a zborcený čas (Mladá fronta, 2004) zamýšľa, ako by sa dala červia diera umelo vyrobiť, ak by sme neboli obmedzovaní technológiami, ani zdrojmi, ale len fyzikálnymi zákonmi. Prichádza na to, že teoreticky by boli možné dva spôsoby: v prvom, „kvantovom“ by sa vzala červia diera z úrovne kvantovej peny a makroskopicky sa natiahla. (Pozn. kvantová pena vzniká na úrovni Planckovej-Wheelerovej dĺžky  $\approx 10^{-35}$  m, kde geometria a priestor majú vďaka vákuovým fluktuáciám pravdepodobnostný charakter a nachádzajú sa tam červie diery.)

V druhom, „klasickom“ prípade by sa to dialo postupným zakrivovaním priestoru (bez vzniku objektov s nekonečnou krivosťou) na makroskopickú úroveň (dostatočne veľkej pre kozmickú loď). Pri tejto metóde by sa ale pri vytváraní červej diery muselo cestovať tam aj späť v čase (do minulosti však len do času

začatia stavby červej diery). Čiže, aj keď na krátky čas, museli by sme použiť stroj času. Dá sa vôbec vytvoriť stroj času? Kip Thorne argumentuje, že stroj času by sa dal vyrobiť pomocou červej diery, ktorej konce by sa od seba relativisticky vzdalovali, avšak samotná dĺžka červej diery v hyperpriestore by bola rovnaká. Aj taká červia diera by však porušovala princíp kauzality.

Zhrňme si to: ak by sa dali vyrobiť makroskopické, stabilné (vystužené materiálom so zápornou hustotou energie) červie diery, mohli by byť použité ako skratka pri cestovaní v priestore. Navyše, ak by vzájomná rýchlosť oboch ústí červích dier v priestore bola relativistická, bolo by možné použiť červiu diery aj na cestovanie v čase. Čo však kauzalita? Náš (takmer) plochý vesmír je známy tým, že kauzalita v ňom musí platiť. Čo ak by sme sa vyhli zasahovaniu do kauzality tým, že v bode



Obr. 5: Möbiova páska. (Zdroj: wikimedia.org)

návratu by sa začala rozvíjať nová časová línia vesmíru s novou históriou – paralelný vesmír? Alebo sa do minulosti môžeme dostať, len ju nemôžeme zmeniť? Alebo sa to jednoducho nedá? V ďalšej časti ponúkame odvážny vedecký pohľad, ktorý sa dotkne aj týchto otázok.

### Manifold

S euklidovskou geometriou sme sa zoznámili už na základnej škole. Získané znalosti pravého uhla a Pytagorovej vety môžeme smelo použiť napríklad pri stavbe domu. Extrémne priestorové podmienky, ktoré sme spomínali v prechádzajúcich častiach, však euklidovská geometria nepopisuje. Pre telesá s rýchlosťou blízkou rýchlosti svetla vo vákuu alebo pre blízke okolie veľmi hmotných, kompaktných objektov už nemôžeme použiť euklidovskú

geometriu, ale takú, ktorá vie popísať časovo-priestorové deformácie (einsteinovsky zakrivený priestor). Na druhej strane, ak študujeme najmenšie objekty, t.j. oveľa menšie ako rozmery atómových jadier, musíme niekedy na ich popis použiť aj 10-rozmerný priestor, čo si pri 1+3 časopriestore nevieme celkom dobre predstaviť. Geometrie popisujúce extrémne fyzikálne podmienky môžu byť naozaj veľmi komplikované. Našťastie, existujú metódy, ako si uľahčiť výpočty. Jedným zo spôsobov je zavedenie (matematického) priestoru s názvom manifold. Manifold je typ priestoru, ktorý na najmenších vzdialenostiach pripomína euklidovský priestor. Môžeme si to predstaviť na príklade guľovej plochy, ktorá síce nie je rovná, no zblízka by sme mohli jej veľmi malé časti dobre priblížiť rovinou s nulovým zakrivením. Manifold je teda veľmi vďačný typ (topologického) priestoru, ktorý sa dá využiť aj pri popise fyzikálneho sveta. Manifolds (teda zjednodušujúce pohľady na komplikované priestory) existujú aj pre einsteinovsky zakrivené priestory v blízkosti čiernych dier, no aj pre teóriu superstrún pre popis najmenších záchvev časopriestoru.

### Záporné dimenzie

Jedným typom einsteinovsky zakrivených manifoldov je aj tzv. PNDP (Partially Negative Dimensional Product) manifold, ktorý v sebe obsahuje okrem klasických dimenzií aj tzv. záporné či „virtuálne“ dimenzie, ktoré sú pre náš vesmír skryté a nepozorovateľné.

PNDP manifold bol matematicky definovaný a objavený spoluautorom tohto článku a jeho kolegami len nedávno. Kým pri fraktáloch sme si akotak zvykli na predstavu neceločíselných dimenzií, záporné dimenzie sa úplne vymykajú akýmkoľvek predstavám. Náš trojdimenzionálny mozog si dokáže ľahko predstaviť trojrozmerné objekty, alebo priestor vo všeobecnosti (t.j. počet kladných dimenzií = 3). Dvojdimenzionálny priestor v podobe roviny alebo guľovej plochy je tiež celkom ľahko predstaviteľný, a ako sme videli, pomáha pri vytvorení si predstavy takých objektov, ako je napr. červia diera. Jednorozmerný priestor pre fantáziu veľa priestoru nedáva (priamka, krivka,...). Priestor s počtom dimenzií 0 je reprezentovaný bezrozmerným bodom. A kým s viac ako tromi rozmermi ešte vieme pracovať pomocou času a paralelných vesmírov, záporné dimenzie statočne unikajú akejkolvek rozumnej predstave. Na druhej strane, fyzici si už zvykli pracovať s teóriami, kde sa matematický aparát úpl-

ne vymyká, alebo aj protireči zažitým predstávam. Podstatné je, že výpočty súhlasia s experimentami. Typickým príkladom je kvantová teória.

### Princíp vynárania sa

V biologických systémoch sa často stretávame so zaujímavým javom: systém, ktorý sa skladá z jednoduchších častí má vlastnosť, ktorá sa nedá odvodiť na základe štúdia jednotlivých častí. Napr. tkanivo (orgánu) má vlastnosti, ktoré sa nedajú zistiť skúmaním jednotlivých buniek. Posun k väčšej zložitosti (komplexnosti) systému spôsobí vznik novej vlastnosti na vyššej úrovni. Hovoríme, že daná vlastnosť sa „vynorila“. Je to typické nielen v biológii, ale aj v spoločenských vedách pri skúmaní ľudskej spoločnosti. Vynáranie (emerging) sa objavuje aj v teórii komplexity, keď isté množstvo základných entít (tzv. agentov) operujúcich v prostredí formujú komplexnejšie správanie a vykazujú tak kolektívne, makroskopicke dobre definované vlastnosti.

Čo však neživá príroda? Aj napriek nepredvídateľnosti vynárajúceho sa správania, v deterministickom systéme, ak správanie nepochádza z interakcie s prostredím, je priamym dôsledkom počiatočného stavu systému. Môžu sa teda vynárať vlastnosti komplexnejšej štruktúry, ktorú nemusíme vidieť pri skúmaní jednotlivých súčastí?

Príroda nemusí nutne stáť na takých základoch, ako sa nám javí. V tomto zmysle môže byť PNDP manifold použitý ako nástroj aj na štúdium vynárajúceho sa priestorového aspektu prírody. V tejto interpretácii sa náš pozorovaný priestor vynára z multiverza ako dôsledok interakcie skrytých dimenzií. Záporné dimenzie možno súvisia s matematickým opisom, v ktorom je jeden typ fundamentálnych síl negatívny a vytvára negatívne pole. Záporné dimenzie sú však niečím, čo v prírode samotnej nemôžeme vidieť, pretože automaticky interagujú s pozitívnymi rozmermi. Skryté dimenzie sú matematicky rigorózne definované ako okraj bodu. Z nášho výskumu vyplýva, že priestor nemusí predstavovať základnú, primárnu vlastnosť dimenzií. Priestor je namiesto toho sekundárna charakteristika (alebo dôsledok) vytvorená inými fundamentálnejšími silami.

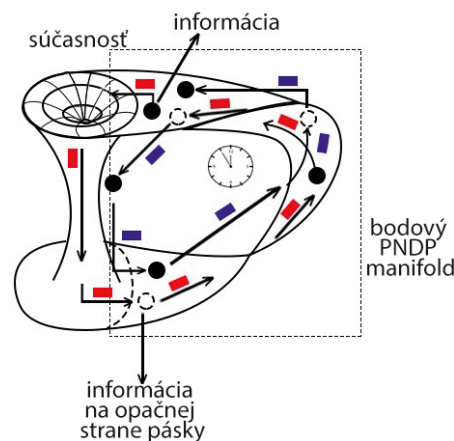
PNDP manifold má zaujímavé vlastnosti, z ktorých vyplývajú ešte zaujímavejšie dôsledky pre mnoho rôznych, na prvý pohľad nesúvisiacich fyzikálnych javov. O tomto type manifoldu a jeho užitočnosti pre vysvetlenie aktuálnych problémov modernej fyziky bol prednedávnom publikovaný článok s významnou slovenskou účasťou v prestížnom zahraničnom vedeckom časopise *Universe*. V článku sa uvádza, že realita, tak ako sa nám javí, môže byť vynárajúcou sa časťou oveľa komplikovanejšej skrytej štruktúry. Inými slovami, interakcie s „virtuálnymi“ dimenziami umožňujú vynorenie sa našej reality. V ďalšom texte si priblížime cestovanie v čase cez červiu diery z pohľadu PNDP modelu.

### Möbiova páska, červia diera a cestovanie v čase

Möbiova páska je špeciálny typ pásika, ktorý

má len jednu stranu a jednu hranu (obr. 5). Pre tých, ktorí sa s daným pojmom ešte nestretli: predstavte si, že z papiera vystrihnete úzky pásik. Ak zanedbáme jeho hrúbku, možno ho považovať za objekt s dvomi rozmermi. Ak by ste boli mravec, ako by ste sa dostali z jednej strany pásika na druhú stranu presne v tom istom bode? Máte dve možnosti: pôjdete na hranu pásika a preleziete na druhú stranu, t. j. využijete dodatočný, tretí rozmer. Ten môžete ale využiť aj tak, že v mieste štartu urobíte v papieri diery, cez ktorú sa prepcháte na opačnú stranu. Gratulujem, práve ste vytvorili červiu diery, ktorá posluží ako skratka cez dodatočnú dimenziu. Čo ak však nechceme alebo nemôžeme využiť dodatočný rozmer? V priestore popísanom cez euklidovskú geometriu som skončil. Ak však zmením geometriu (tzn. v našom prípade zmením vlastnosti priestoru), potom by to možno šlo.

Geometriu môžem zmeniť jednoducho: vezmem jeden koniec pásika do jednej ruky a druhý koniec pásika do druhej ruky. Pásik je rovný a natiahnutý medzi oboma rukami. Teraz pootočím jednu ruku o 180 stupňov. Pootočením ruky sa otočil aj pásik. Je stále natiahnutý, no už nie je rovný. Pootočený koniec pásika priložím a prilepím k druhému koncu pásika. Náš mravec teraz bez toho, aby využíval tretí rozmer, môže prejsť priamočiarým pohybom (v rámci danej plochy/geometrie) na



Obr. 6: Cestovanie v čase pomocou PNDP manifoldu, (Zdroj: *Universe*)

druhú stranu plochy, a keď prejde vzdialenosť rovnajúcu sa dvojnásobnej dĺžke pásika, vráti sa presne na to isté miesto odkiaľ vyšiel. Keďže nejde o chemický pokus, doma si to rozhodne vyskúšajte. Pohyb mravca skúste kresliť fixkou, aby ste sa presvedčili, že sa naozaj dostane na druhú stranu.

Predstavme si teraz červiu diery v časopriestore (obr. 3). Ak je dimenzia PNDP nulová (v dôsledku interakcií medzi kladnými a zápornými rozmermi), manifold virtuálne vyzerá ako bodový, má nulový rozmer. Aj keď je bezrozmerný, a preto nepostrehnuteľný, stále môže spájať dva konce červej diery. A teraz si predstavme, že konce nejakej červej diery sú spojené Möbiovou páskou, ako je to znázornené na obr. 6.

Cesta do minulosti cez klasickú červiu diery

nás postaví už pred skôr spomínaný paradox starého otca. Ak však oba konce červej diery spojíme práve Möbiovou páskou prostredníctvom PNDP manifoldu, vyhneme sa tomuto paradoxu. Do minulosti by sme však mohli dôjsť už len ako pozorovateľ – videli by sme odohrávajúc sa minulosť, no nemali by sme možnosť do nej zasiahnuť. Navyše čas, za ktorý by sme kroky v minulosti pozorovali, by bol dvojnásobný (mravec tiež prejde dvojnásobnú vzdialenosť, kým sa dostane na to isté miesto), čiže spomalený. V prípade spojenia dvoch ústí červej diery s bodovým PNDP manifoldom sme zistili, že častica by zrekapitulovala svoju minulosť, až kým by neprišla do ústia chodu presne v tom čase, v ktorom odišla. Zopakovala by si svoju minulosť krok za krokom a videla samu seba, ako začína svoju púť vo vstupnom ústí červej diery. Už však nebude schopná interagovať so žiadnym okamihom svojej minulosti, bude teda v časopriestore neviditeľná.

Hypotéza, z ktorej táto práca vychádza, nám teda ukazuje, že môžeme cestovať v čase do minulosti, ale len ako pozorovatelia, neschopní ovplyvňovať udalosti. Nebudeme môcť zmeniť našu minulosť, len ju znova vidieť, zrekapitulovať. Môžeme sa teda rozlúčiť s paradoxom starého otca, ten bude nerealizovateľný. Navyše, v porovnaní s hypotetickým vonkajším pozorovateľom, si zrekapitulujeme svoju minulosť pomalšou rýchlosťou.

### Nová realita

K cestovaniu v čase (s alebo bez červej diery) má ľudstvo ešte ďaleko. Zaujímavý pohľad na túto problematiku nám prináša model PNDP manifoldu. Prednosťou tohto modelu je jeho veľká všestrannosť a aplikovateľnosť na mnohé kľúčové problémy modernej fyziky a často predstavuje nový uhol pohľadu pri štúdiu nejasných fenoménov.

Ukázali sme, že živá a neživá príroda možno fungujú na podobných princípoch vynárania sa istej vlastnosti, či štruktúry pri prechode k zložitejším objektom. Na záver spomeňme ešte holografický kvantový princíp, ktorý hovorí, že všetky informácie obsiahnuté v objeme priestoru môžu byť reprezentované popísať hranice tejto oblasti. Z pohľadu PNDP manifoldu sa tento princíp dá tiež veľmi elegantne vysvetliť: v tomto prípade častice v systéme budú previazané s časticami na okrajoch cez PNDP bodový manifold a vytvorí sa niečo ako kvantová gravitácia.

PNDP manifold teda spája makroskopický a mikroskopický svet, kde platia úplne iné fyzikálne zákony. Z pohľadu fyziky by takéto spojenie neexistovalo. Pohľad na svet očami geometrie a topológie, ale také spojenie umožňuje. V blízkej budúcnosti by nám tento pohľad mohol priniesť úplne novu realitu, o ktorej sme doteraz ani len netušili.

RNDr. Richard Pinčák, PhD.,  
Ústav experimentálnej fyziky SAV  
doc. RNDr. Marek Bombara, PhD., Ústav  
fyzikálnych vied, PF UPJŠ v Košiciach  
(využitím pôvodného článku R. Pinčák  
a kol., 2021, *Universe* 7(3), 75,  
<https://www.mdpi.com/2218-1997/7/3/75>)