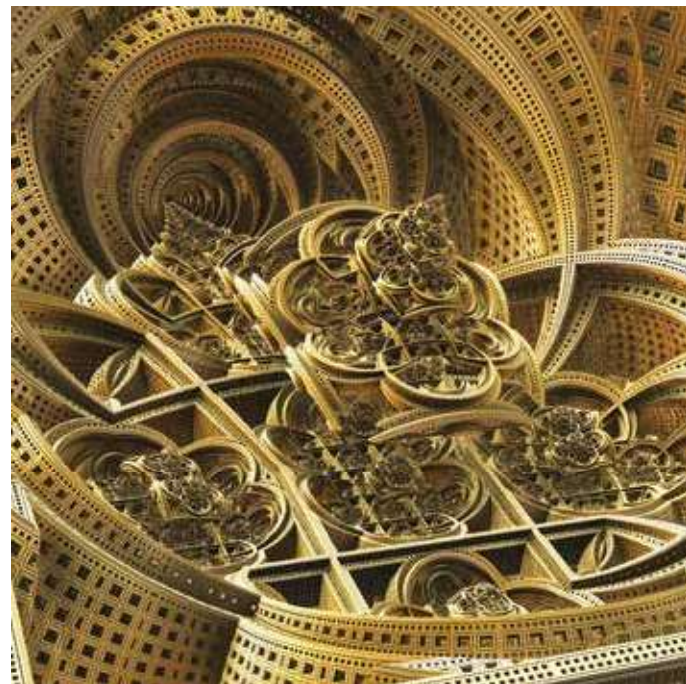
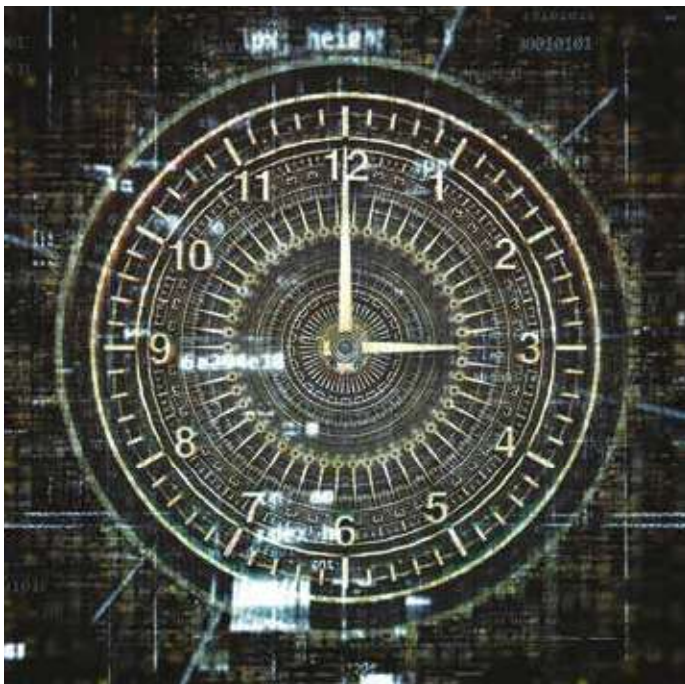


Cestovanie v čase

Predstava cestovania červou dierou zatiaľ patrí do ríše umenia či fantázie. Pre modernú teoretickú fyziku to však môže byť jeden z predmetov každodenného bádania: od cestovania v čase cez červie diery, skúmanie otázok a záhad skrytých dimenzií vo vesmíre až po temnú hmotu a paralelné vesmíry.



Na všetko spomenuté dokáže moderná fyzika nachádzať nové pohľady: tie umožňujú vysvetliť, ako sa napríklad pomocou interakcie s *virtuálnymi* dimenziami umožňuje vynorenie sa našej reality, teda pozorovateľného vesmíru a síl, ktoré v ňom aj mimo neho pôsobia.

OD EUKLIDA K MANIFOLDOM

V euklidovskej geometrii sú priamky rovné, štvorce pravouhlé, kocka hranatá a súčet uhlov v trojuholníku je presne 180 stupňov. Už viac ako sto rokov však vieme, že aj keď v každodennom živote platí euklidovská geometria, príroda je v skutočnosti popisovaná iným typom geometrie. Všetko to začal Albert Einstein, keď publikoval svoju teóriu relativity. Vďaka nej vieme, že priestor a čas sú navzájom prepletené. Pre telesá s rýchlosťou blízkou rýchlosti svetla vo vákuu alebo pre okolie veľmi hmotných telies uväznených v malom objeme už nemôžeme použiť euklidovskú geometriu, ale inú, ktorá vie popísať priestorovo-časové deformácie. Priestoročas je 4-rozmerný priestor, kde štvrtú dimenziu predstavuje čas. Keď študujeme najmenšie objekty, t. j. oveľa menšie ako rozmery atomových jadier, musíme niekedy na ich popis použiť aj 10-rozmerný priestor, čo si pri našom 3 + 1 priestoročase nevieme celkom dobre predstaviť.

Geometrie popisujúce extrémne fyzikálne podmienky môžu byť naozaj veľmi komplikované. Našťastie, existujú spôsoby, 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 ako kružnicu či guľu, ktorá nie je vôbec pravidelná, no zblízka by sme mohli jej krátke útržky

aproximovať rovnou úsečkou a neboli by sme ďaleko od reality. Manifold by sme si potom mohli predstaviť ako atlas, v ktorom guľovú plochu alebo zakrivený zemský povrch aproximujeme rovinou (stranami), kde je zakrivenie nulové. Na malých mierkach to však vôbec neprekáža. Manifold je teda veľmi vďačný typ matematického topologického priestoru, ktorý sa dá využiť aj pri popise fyzikálneho sveta. Manifolds, zjednodušujúce pohľady na komplikované priestory, existujú aj pre einsteinovsky zakrivené priestory v blízkosti čiernych dier, no aj pre teóriu superstrún pri popise najmenších záchvevov priestoročasu.

ZÁPORNÉ DIMENZIE

Jedným druhom 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 autorom tohto príspevku a jeho kolegami len nedávno. Kým pri fraktáloch sme si ako-tak zvykli na predstavu neceločíselných dimenzií, záporné dimenzie sa úplne vymykajú akýmkoľvek predstavám. Naš trojdimenzionálny (3D) mozog si dokáže ľahko predstaviť 3D objekty, resp. 3D priestor (t. j. počet kladných dimenzií sa rovná 3). 2D priestor v podobe roviny alebo guľovej plochy je tiež celkom ľahko predstaviteľný a pomáha aj pri vytvorení predstavy takých objektov, ako je napr. červia diera. Jednorozmerný priestor už neposkytuje veľa priestoru fantázii (úsečka, krivka). 0D priestor je reprezentovaný bezrozmerným bodom. A kým s viac ako tromi rozmermi ešte vieme fungovať pomocou času a paralelných vesmírov, záporné dimenzie unikajú akejkolvek rozumnej predstave. Na druhej strane, fyzici si už zvykli pracovať s teóriami, kde sa

matematický aparát úplne vymyká zažitým predstavám, alebo im protirečí. Podstatné je, že výpočty súhlasia s experimentom. Typický príklad v tomto smere je kvantová teória.



PRINCÍP VYNÁRANIA SA

Príroda nemusí nutne stáť na takých základoch, ako sa nám javí. V tomto zmysle môže byť PNDP manifold použitý ako nástroj na *vynárajúci sa dimenzionálny aspekt prírody*, t. j. *vynárajúci sa priestor*. V tejto interpretácii sa náš viditeľný priestor vynára z multiverza ako dôsledok interakcie skrytých priestorov.

Negatívna dimenzia možno súvisí s matematickým opisom dimenzie. V nej je jeden typ fundamentálnych síl negatívny a vytvára negatívne pole, a preto týmto spôsobom tieto interakcie alebo sily umožňujú, aby sa rozmery *vynorili*.

Záporné dimenzie sú niečím, čo v prírode samotnej nemôžeme vidieť, pretože auto-

maticky interagujú s pozitívnymi dimenziami. Skryté dimenzie sú matematicky rigorózne definované ako okraj bodu. Z nášho výskumu vyplýva, že priestor nemusí predstavovať základnú vlastnosť rozmerov, teda dimenzií. Priestor je namiesto toho sekundárna charakteristika vytvorená inými – fundamentálnejšími – silami a v tomto zmysle by sa rozmery mohli tiež rozplynúť. Interakcie s *virtuálnymi* dimenziami umožňujú vynorenie sa našej reality.

PNDP je manifold so zaujímavými vlastnosťami, z ktorých vyplývajú ešte zaujímavejšie dôsledky pre mnoho rôznych fyzikálnych javov na prvý pohľad navzájom nesúvisiacich.

O tomto type manifoldu a jeho užitočnosti pre vysvetlenie aktuálnych problémov modernej fyziky autor publikoval článok v spolupráci s kolegami z Talianska, Dánska a Saudskej Arábie v prestížnom zahraničnom vedeckom časopise *Universe* (R. Pincak et al. *Universe* 2021 7(3), 75). V článku bolo ukázané, že realita, ako sa nám javí, môže byť objavujúcou sa alebo vynárajúcou sa časťou oveľa komplikovanejšej skrytej štruktúry. Interakcie s virtuálnymi dimenziami umožňujú vynorenie sa našej reality.



Möbiova páska, foto wikipédia/David Benbennick

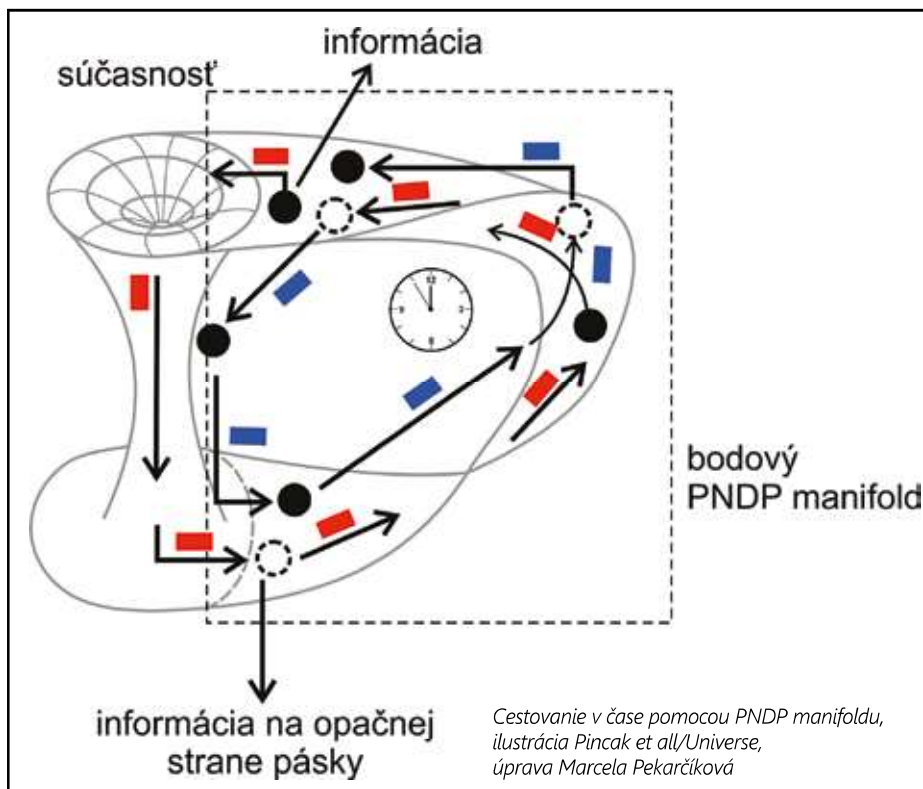


Červia díra v priestoročase

MÖBIOVA PÁSKA

Möbiova páska je špeciálny typ pásiky, ktorý má len jednu stenu a jednu hranu. Pre tých, ktorí sa s daným pojmom ešte nestretli: predstavte si, že z papiera vystrihnete úzky pásik. Keby 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 koniec pásika a prelezíte hranou pásika na druhú stranu, t. j. využijete tretí rozmer. Ten však môžete využiť aj tak, že v mieste štartu urobíte v papieri dierku, cez ktorú sa prepcháte na opačnú stranu. Gratulujem, práve ste vytvorili tzv. červiu dieru, t. j. skratku cez vyšší priestor, často využívanú vo vedecko-fantastickej literatúre.

Čo ak však nechcem alebo nemôžem využiť vyšší rozmer? V priestore popísanom euklidovskou geometriou som skončil. Ak však zmením geometriu (tzn. v našom prípade zmením vlastnosti priestoru), tak by to možno šlo. Geometriu môžem zmeniť jednoducho: vezmem jeden koniec pásika, otočím ho o 180 stupňov a priložím k druhému koncu pásika. Náš mravec teraz bez toho, aby využíval tretí rozmer, môže prejsť priamočiarym pohybom (v rámci danej plochy/geometrie) na druhú stranu plochy a keď prejde vzdialenosť rovnajúcu sa dvojnásobnej dĺžke pásika, vráti sa presne na to isté miesto, odkiaľ vyšiel. To isté platí aj pre hranu pásika (mravec je vďaka



Cestovanie v čase pomocou PNDP manifoldu, ilustrácia Pincak et al/Universe, úprava Marcela Pekarčíková

ný objekt pre 2D pokusy, lebo nemá krídla). Mimochodom, toto nie je chemický pokus, čiže doma si to pokojne vyskúšajte. Pohyb mravca skúste kresliť fixkou, aby ste sa presvedčili, že sa naozaj dostane na druhú stranu.

ČERVIA DIERA

Predstavme si teraz červiu dieru v priestoročase. Červia diera slúži vo vedecko-fantastickej literatúre ako populárny prostriedok na prekonávanie obrovských medzihviezdnych a medzigalaktických vzdialeností. Tu by som čitateľom odporučil pozrieť si film *Interstellar*, kde je táto problematika založená na tom, čo je v tejto oblasti teoreticky možné. Keďže pri červej diere ide naozaj o dieru (s dvoma koncami) nielen v priestore, ale aj v čase, môžeme si cez ňu skrátiť čas v oboch smeroch. V PNDP modeli to platí pre prípad: Ak $dim(M) = dim(B) + dim(F) = 0$, tak výsledná dimenzia PNDP, M , virtuálne vyzerá ako bodový manifold, ktorý má nulový rozmer, ako bod s rozmerom nula, z čoho vyplýva, že je *neviditeľný, bezrozmerný*. Prípad bezrozmernosti sa preto spája s *neviditeľným spojením s červou dierou*, kde PNDP manifold je virtuálne bodový, bezrozmerný, a preto nepostrehnuteľný (kvôli interakcii medzi rozmermi), ale ktorý vždy spája dva konce červej diery.

A teraz si predstavme, že konce nejakej červej diery sú spojené Möbiovou páskou. Obrázok takéhoto spojenia poukazuje symbolicky na vznik nášho pozorovaného vesmíru či reality s nami nevidenou interakciou so skrytými priestormi či dimenziami.

PARADOX STARÉHO OTCA

Cesta do minulosti cez klasickú červiu dieru nás postaví pred tzv. paradox starého otca,

ktorý vraví, že keby bola cesta do minulosti možná, potom by sme mohli zabiť svojho starého otca v jeho mladom veku a sami by sme sa potom nenarodili, čo by bol paradox, lebo potom neskôr by sme nemohli podniknúť cestu do minulosti. Ak však oba konce červej diery spojíme práve Möbiovou páskou prostredníctvom PNDP manifoldu, vyhneme sa paradoxu starého otca. Do minulosti by sme mohli prísť už len ako pozorovatelia – videli by sme odohrávajúcu 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. Ak uvažujeme o možnosti spojenia dvoch ústí červej diery s bodovým PNDP manifoldom, zisťujeme, že častica by zrekapitulovala svoju minulosť, až kým by neprišla do ústia vchodu presne v tom čase, v ktorom začala (odišla). Čiže by zrekapitulovala svoju minulosť krok za krokom, kde by videla sama seba, ako začína svoju púť vo vstupnom ústí červej diery, no už nebude schopná interagovať so žiadnym okamihom svojej minulosti, bude teda neviditeľná v priestoročase.

Hypotéza, z ktorej vychádzame, nám v skratke ukazuje, že môžeme cestovať v čase do minulosti, ale len ako pozorovatelia neschopní ovplyvňovať udalosti, čiže nebudeme môcť zmeniť našu minulosť, len ju vidieť či zrekapitulovať. Môžeme sa teda rozlúčiť s paradoxom starého otca, ten sa nebude dať uskutočniť žiadnym spôsobom. A keďže bodový PNDP manifold bol definovaný, aby nebol orientovaný (orezaná Möbiova páska), častica si zrekapituloje svo-

MATEMATICKÉ OKIENKO

PNDP manifold je súčinom base-manifoldu (B), ktorý je definovaný ako riemannovský produkt s presnými charakteristikami a kladnými dimenziami, a fiber-manifoldu (F), ktorý je odvodený a obsahuje aj virtuálne dimenzie. Výsledná dimenzia PNDP: $dim(M) = dim(B) + dim(F)$ môže byť nielen kladná, ale aj nulová alebo záporná. Napríklad pre $dim(M) < dim(B)$ to môže znamenať, že virtuálne záporné rozmery F interagovali (spojili sa) s rozmermi B , zjavujúc (cez špeciálne matematické projekcie) virtuálny M ako výsledný manifold s počtom rozmerov menším, ako má B . Fiber-manifold (F) je odvodený hladký manifold, ktorý povoľuje koncept virtuálnych dimenzií. Keď si vyberieme manifold a definujeme si na ňom algebru, PNDP manifold vzhľadom na danú algebru pripustí konkrétny rozmer, ktorý voláme virtuálny. Pretože ak nepozerať na algebru, ale len na manifold, tak hodnota jeho dimenzie môže byť rozdielna. Čiže v PNDP manifolde v závislosti od toho, čo uvažujeme, dostaneme rôzne dimenzionálne výsledky. Predpokladáme, že podobným spôsobom sa prejavuje aj príroda, a teda vesmír pri výbere svojej evolúcie, ktorú nemôžeme pozorovať.

ju minulosť pomalšie v porovnaní s hypotetickým vonkajším pozorovateľom.

TEÓRIA STRÚN

Zavedenie zápornej dimenzie, ktorá je skrytá, dokážeme vysvetliť množstvo javov a základných problémov modernej fyziky, ktoré navonok možno nesúvisia a ktoré bolo doteraz ťažké vysvetliť jediným teoretickým modelom. Teória strún hovorí, že najmenšie objekty vo vesmíre sú struny (buď s oboma koncami, teda otvorené, alebo uzavreté do seba ako kružnice), ktoré vibrujú na istej frekvencii, vďaka čomu majú špecifické vlastnosti. V teórii sa teda prešlo od jednobodových častíc k jednorozmerným strunám. Rôznorodosť častíc znamená rôznorodosť vibrácií strún, ktoré tieto častice popisujú. Aby však mohli (v modeli) struny existovať, musí sa pre ne zaviesť 10-rozmerný priestor (9 priestorových rozmerov a 1 časový rozmer), kde zvyšných 6 priestorových rozmerov je akoby pokrčených či skrútených na malých mierkach. Veľkosť strún je príliš malá na to, aby mohli byť skúmané experimentálne, preto je teória strún naďalej považovaná za hypotézu.

kajú a zanikajú. To sa dá vysvetliť aj pomocou PNDP modelu. Tam uvažujeme o skrytých červích dierach, v ktorých sú interakcie medzi pozitívnymi a virtuálnymi zápornými dimenziami vytvárajúcimi PNDP bodovú červiu dieru vnímané ako *virtuálne* fluktuujúce energetické stavy kvantového previazania (*quantum entanglement*). V momente interakcie sa táto neviditeľná štruktúra vytvorí a bude držať častice v spojení, odhliadnuc od toho, ako ďaleko od seba sú (hoc aj svetelné roky).

TMAVÁ HMOTA

Za jasnej noci vidíme na oblohe množstvo hviezd, za ktorými tušíme množstvo galaxií. O ich vlastnostiach vieme na základe fotónov, ktoré k nám od nich priletávajú (ďalší poslovia z vesmíru, vďaka ktorým ho môžeme študovať, sú neutrína a gravitačné vlny). Keby sme však zrátali hmotnosť týchto objektov, zistili by sme, že tvoria len 5 % celkovej hmotnosti vesmíru (spolu s medzihviezdny m plynom) a tým sa končí naše poznanie okolitého vesmírneho prostredia.

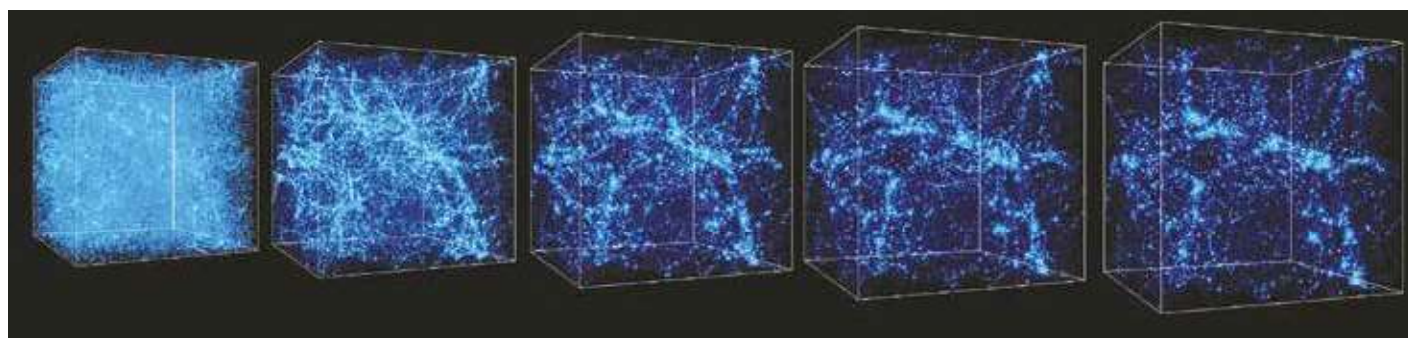
Ďalších 25 % je ukrytých v tzv. tmavej hmote, ktorá je sústredená v okolí galaxií (alebo to

Zvyšných 70 % je vo forme tzv. tmavej energie, o ktorej predpokladáme, že vzniká tlakom vákua pri vytváraní priestoru ako takého pri expanzii vesmíru. Tmavá hmota predstavuje jednu z najväčších záhad súčasnej fyziky. Predpokladá sa, že by mohla byť tvorená novým druhom častíc. Tmavá hmota hrala kľúčovú úlohu vo vývoji raného vesmíru, keď svojou hmotnosťou spomaľovala rýchlosť expanzie a umožnila tak viditeľnej hmote, aby sa na ňu gravitačne naviazala a získala dostatok času na formovanie prvých hviezd a galaxií.

V PNDP modeli môžeme priradiť tmavú hmotu k priestoru, ktorý neinteraguje. Interakcia medzi zápornou dimenziou a ostatnými dimenziami má za následok vynorenie sa nášho priestoru, t. j. viditeľného vesmíru (hmoty), neinteragujúca časť PNDP manifoldu by mohla byť spojená s tmavou hmotou.

VÝHODY PNDP

Spojením nového PNDP prístupu k tmavej hmote dostaneme neočakávaný scenár. Vesmír, v ktorom žijeme, by sa vynoril ako bod Calabiho-Yauovho manifoldu, čo by indikovalo, že extra dimenzie by boli mimo

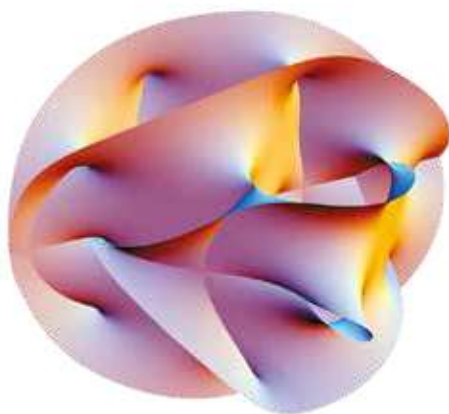


Tmavá hmota hrala nezastupiteľnú úlohu aj pri vývoji vesmíru – gravitačná kostra pre formovanie hviezd a galaxií. Na obrázku je vývoj vesmíru v simulácii od veľkého tresku (vľavo) až po súčasnosť, vizualizácia Andrey Kravtsov, The University of Chicago.

Objekt v tvare vibrujúcej struny vznikne v PNDP modeli jednoducho pri interakcii zápornej dimenzie a dvoch kladných dimenzií. Rozdiel v tomto prístupe je ten, že v PNDP priblížení bude vibrovať samotný jednorozmerný vynárajúci sa priestor (struna). Struna v tomto modeli tak nebude objektom v priestore, ako to je v klasickej teórii, ale bude to samotný jednorozmerný priestor. Vznikajúci manifold sa vynorí ako jednorozmerný vibrujúci manifold topologicky ekvivalentný so strunou. Táto interakcia tiež vnáša nový koncept skrytej dimenzie, keďže v skutočnosti podľa tohto priblíženia struny nemôžu vibrovať v týchto *interagujúcich* dimenziách, a preto v istom zmysle ostávajú *neviditeľné*. Interakcia preto môže byť interpretovaná ako bodový manifold, na ktorom sa vynorí neinteragujúci priestor (vynárajúci sa priestor).

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 vzni-

skôr vyzerá, akoby boli galaxie v nej utopené). O jej existencii vieme iba na základe jej gravitačného pôsobenia napr. na hviezdy v galaxii, pretože tmavá hmota fotóny neprodukuje.



Vesmír, v ktorom žijeme, sa vynorá ako bod Calabiho-Yauovho manifoldu, grafická interpretácia wikipédia/Lunch.

nášho vesmíru a boli by veľké. Vzniká tak scenár, v ktorom by sa objavila možnosť existencie ďalších vesmírov, dokonca paralelných s naším. Všetko by bolo súčasťou tohto nesmierneho supermanifoldu. V tomto prípade struny vibrujú mimo našich troch rozmerov, ktoré vnímame. Niektoré častice ako gravitón (uzavretá struna) by mohli uniknúť z trojrozmerného sveta a skončiť v extra dimenziách a tak gravitačne pôsobiť na iné objekty v pozorovanom vesmíre, či dokonca na iné nami nepozorované paralelné vesmíry.

Prednosťou PNDP manifoldu je jeho veľká všestrannosť a aplikovateľnosť na mnohé kľúčové problémy modernej fyziky. Vo všeobecnosti sa topologický prístup osvedčil ako veľmi všestranný. Je to myšlienka, ktorá berie do úvahy nové energie a interakcie a ktorá by mohla predstavovať aj nový uhol pohľadu pri štúdiu nejasných fenoménov.

RNDr. Richard Pinčák, PhD.

Ústav experimentálnej fyziky SAV v Košiciach

Oddelenie teoretickej fyziky

Ilustrácie Pixabay