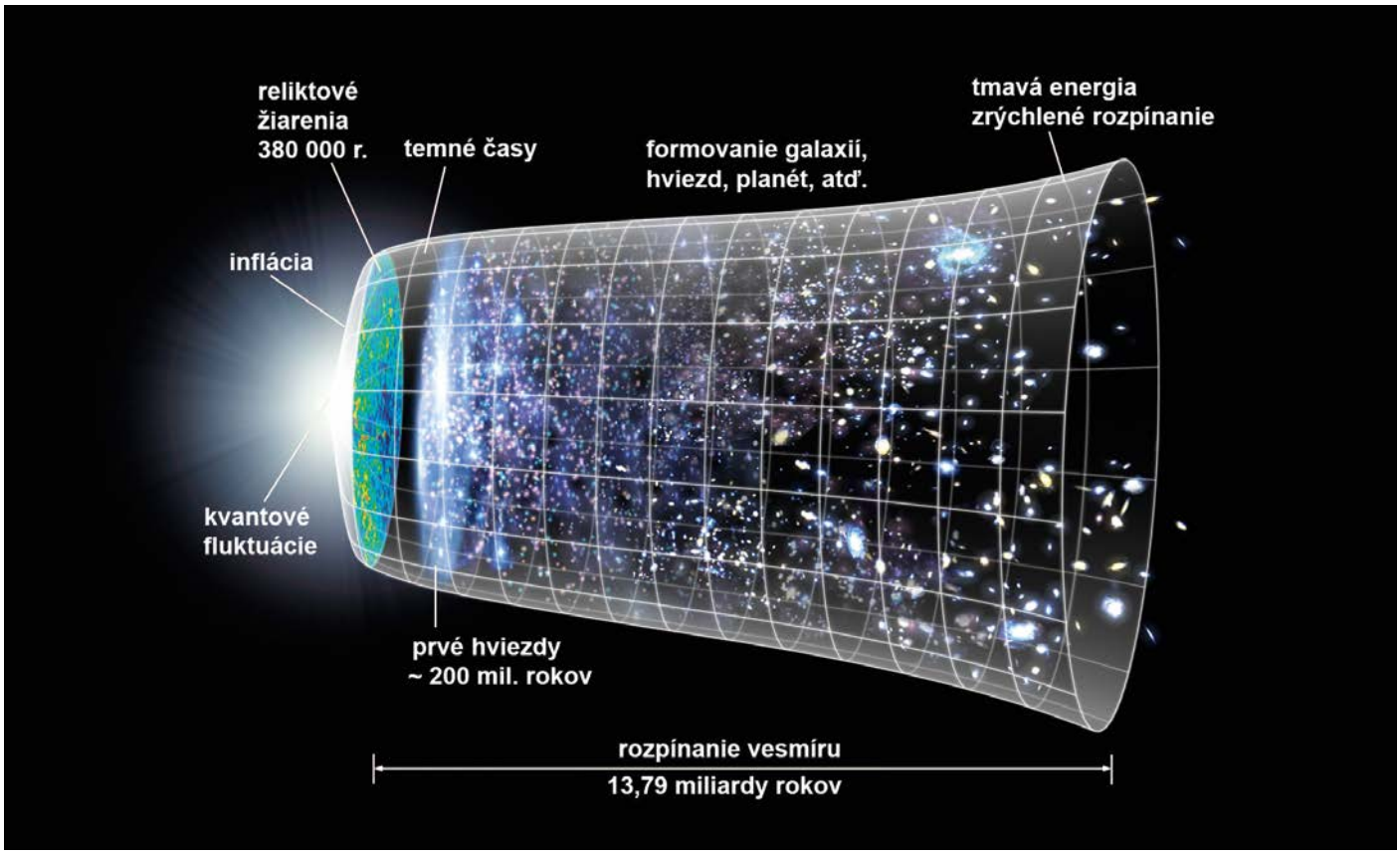


Vizualizácia časovej osi vesmíru s tmavou energiou a akceleráciou rozpínania. (Zdroj: Public domain, Wikipedia)

Extradimenzie na hlavnom javisku fyziky

Príroda pozná štyri interakcie a štyri im zodpovedajúce sily. Možno sú všetky prejavom geometrie priestoročasu. Nový medzinárodný výskum vedený Ústavom experimentálnej fyziky SAV publikovaný v časopise Nuclear Physics B je o extradimenziách, ďalších rozmeroch nášho vesmíru a vplyve ich geometrických vlastností na tento vesmír.

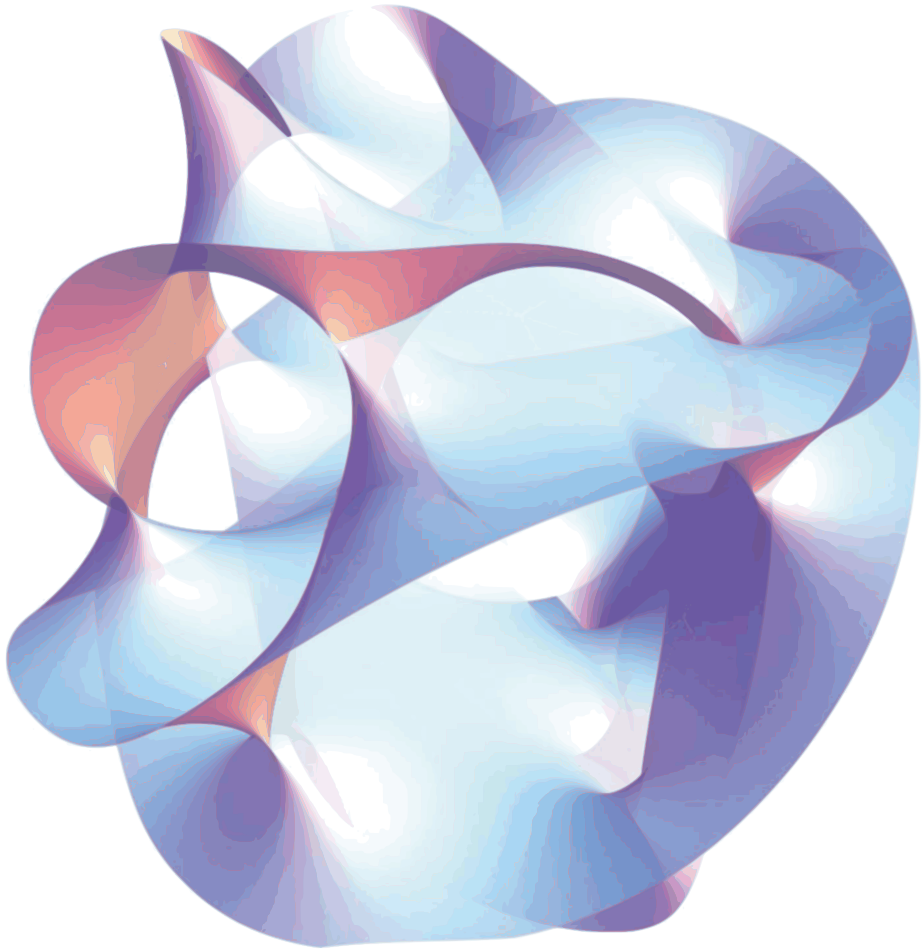
Okrem troch priestorových dimenzií a času, ktoré poznáme z každodennej skúsenosti, nám súčasná fyzika hovorí, že by mohli existovať ďalšie dimenzie. Ďalších 6 alebo 7 dimenzií zmenšených na rozmery Planckovej dĺžky. Na taký malý rozmer, že ich žiadnym spôsobom nedokážeme pozorovať. K tejto, na prvý pohľad veľmi zvláštnej, myšlienke sme dospeli v priebehu minulého storočia.

Myšlienka extradimenzií sa objavila už začiatkom 20. storočia v Kaluzovej–Kleinovej teórii, no kľúčovú úlohu získala až v teórii strún v 60. a 70. rokoch. Krátko po tom, čo Albert Einstein prišiel so všeobecnou teóriou relativity, ktorá hovorila, že gravitačná interakcia je efekt geometrie časopriestoru, začal nemecký fyzik a matematik Theodor Kaluza skúmať, ako by táto teória fungovala v päťrozmernom priestore. A prekvapivo ukázal, že pohyb častice v päťrozmernom priestore sa javí ako kombinovaný pohyb v gravitačnom a elektromagnetickom poli. Rovnice všeobecnej teórie relativity v 5D priestore mali naviac člen, ktorý bol identický s Maxwellovými rovnicami opisujúcimi elektromagnetické pole. Pohyb v jednej pridanej dimenzii v priemete do 4D priestoru vyzeral ako pohyb v klasickom časopriestore s elektromagnetickým poľom. Takáto zhoda presvedčila mnohých vtedajších fyzikov, vrátane Alberta Einsteina, že je možné zjednotiť opis gravitácie a ostatných interakcií, do jednej teórie. Tak prišli na scénu fyziky extradimenzie.

Aké tie extradimenzie teda sú? Kaluza v roku 1921 využil na zjednotenie gravitácie a elektromagnetizmu cylindrickú súradnicovú sústavu, ktorá umožňuje priamejší opis kruhových javov. Klein túto myšlienku rozvinul ďalej, nová dimenzia bola kruhová a veľmi malá. Jej rozmer vyšiel v tejto teórii na škále s dĺžkou 10^{-33} cm. Kaluzov-Kleinov opis viedol k nesprávnym predpovediam niektorých parametrov častíc, napríklad hmotnosti elektrónu, no myšlienka extradimenzií už bola vonku. Presvedčila, že môže byť užitočná a čakala na svoje ďalšie realizácie.

Neskorší zrod teórie strún a opätovný nástup extradimenzií na hlavné javisko fyziky vyplynul z poznania dôležitosti symetrií vo fyzike. Najskôr sa pozrieme na to, čo sú symetrie. Náš svet sa prejavuje niektorými vlastnosťami, ktoré sa nemenia. Hovoríme vtedy, že sa fyzikálna veličina zachováva. Príkladom môže byť energia. K tomu, že sa zachováva, viedli mnohé experimenty v 18. a 19. storočí. Keď meriame energiu v uzavretom systéme, vždy zistíme, že sa jej celkové množstvo nemení. Tak sa nemenia aj ďalšie veličiny a fyzici sa pri skúmaní nových oblastí fyziky často pokúšajú určiť, ktoré sa zachovávajú.

Hlavný prielom, ktorý spojil symetrie a zákony zachovania, prišiel s objavom Emmy Noetherovej, ktorá v roku



Nižšie rozmerná projekcia manifoldu podobného G2 manifoldu. Calabi-Yau 6 rozmerný manifold. (Zdroj: Public domain, Wikimedia)

1918 ukázala, že zákony zachovania sú priamym dôsledkom symetrií. Zákon zachovania energie priamo vyplynul zo symetrie časovej translácie. Energia v uzavretom systéme je sumou pohybovej a polohovej energie. Rozdiel medzi množstvom pohybovej a potenciálnej energie sa nazýva Lagrangián systému. Fyzikálne zákony, ktoré opisuje Lagrangián sa v čase nemenia. Tieto zákony sú nemenné, fyzici hovoria, že sú invariantné voči posunu v čase, symetrické voči časovej translácii. To potom priamo vedie k tomu, že suma pohybovej a potenciálnej energie, teda celková energia sa zachováva.

Pri tomto prielome sa ukázalo, že keď skúmame niečo nové, napríklad mikrosvet, tak ak v ňom nájdeme zachovávajúce sa veličiny, ako je napríklad elektrický náboj, tak výskyt takejto veličiny je spojený so symetriou. Určenie tejto symetrie nás vie doviesť k správnemu tvaru opisu tejto veličinya k správnemu tvaru matematiky, ktorý ju opisuje. Hľadanie zákonov zachovania, a im zodpovedajúcich symetrií, je tak receptom na „uvarenie“ matematiky fyzikálneho modelu opisujúceho daný systém.

Zaujímavým príkladom je elektrický náboj. Experimenty ukazujú, že celkový elektrický náboj v uzavretom systéme sa vždy zachováva. Podľa Noetherovej vety by teda mala existovať symetria, ktorá je za tento zákon zodpovedná. Fyzici takúto symetriu skutočne našli. Ukázalo sa, že rovnice opisujúce elektróny sa nezmenia, ak ich kvantovú vlnovú funkciu trochu „pootočíme“. Toto otočenie sa neodohráva v obyčajnom priestore, ale v matematickom priestore komplexných čísel. Z fyzikálneho hľadiska je dôležité, že takáto zmena nemení výsledky meraní. Rovnice teda majú symetriu voči takémuto „fázovému otočeniu“. Prekvapujúco, práve z požiadavky, aby táto symetria platila všade v priestore, sa objavuje elektromagnetické pole.

„Kuchárka“ zákonov zachovania a symetrií bola na svete. A keď v 60. rokoch fyzici objavovali nové častice, a medzi nimi aj jeden hadrón za druhým, tak hľadali zachovávajúce sa veličiny pri ich interakciách. Hadróny sú častice interagujúce silnou interakciou, ďalšou zo základných prírodných síl, a patria medzi ne napríklad protóny a neutróny. Ukázalo sa, že pri interakciách hadrónov sa zachováva spin. Spin je vlastnosť spojená s rotáciou a zaujímavé bolo, že priamo súvisela s hmotnosťou častíc. Presnejšie, s jej druhou mocninou – spin bol úmerný hmotnosti na druhú. To platilo pre hadróny a dostalo pomenovanie Reggeova trajektória, podľa talianskeho fyzika Tullia Regeho. Toto bol prvý náznak, že hadróny sa správajú ako rotujúce rozšírené objekty, podobne ako rotujúca struna.

Ďalšia vlastnosť hadrónov, rozptylová amplitúda bola kľúčová pre zrod teórie strún. Jej vzťah, s ktorým prišiel Gabriele Veneziano nezávisle vysvetlili Leonard Susskind spolu s Holgerom Bechom Nielsenom a Yoichirom Nambuom predstavou hadrónu ako malej vibrujúcej, do seba uzavretej jednorozmernej struny. Tak sa zrodili struny ako opis častíc mikrosveta. Napriek tomu, že pre opis hadrónov sa v nasledujúcich rokoch vytvoril takzvaný štandardný model, teória strún si neskôr našla širšie uplatnenie. Opisovala aj existenciu častice s nulovou pokojovou hmotnosťou a spinom 2. V roku 1974 Joël Scherk a John Schwarz ukázali, že táto častica sa správa presne ako gravitón, častica predpovedaná teoretickými prácami vychádzajúcimi zo všeobecnej teórie relativity v 30. až 60. rokoch minulého storočia. Hoci samotná Einsteinova klasická teória gravitón nepredpovedá, pri analýze malých zvlnení časopriestoru pomocou kvantovej teórie sa zistilo, že gravitáciu by mala prenášať nehmotná častica so spinom 2, gravitón, ktorú teória strún predpovedá automaticky.

To bol prielom, naraz sme si uvedomili, že v teórii strún máme opis sveta, ktorý zjednocuje na kvantovej úrovni gravitáciu a ostatné interakcie. To, čo je obrovským problémom v kvantovej teórii poľa, zahrnutie gravitácie, je v teórii strún prirodzene vyplývajúce z obrazu častíc ako vibrujúcich strún. A potom to už svišťalo na plné obrátky. Celá mašinéria fyziky, symetrií a zákonov zachovania sa snažila rozvíjať svet so strunami. A symetrie vhodné na opis tohto sveta sa dali napísať len ak boli prítomné extradimenzie. A to len v konkrétnych počtoch. Tak sme skončili pri 10 dimenziách. So svetom kde okrem 4 klasických dimenzií existujú ďalšie extradimenzie, šesť ďalších. Respektíve 7, ak sa vezme ešte všeobecnejší opis sveta, podľa ktorého sú rôzne strunové teórie len prejavom jednej membránovej teórie, kde sú jednotlivé 10-rozmerné opisy prejavom spoločnej teórie sídliacej v 11-rozmernom priestore.

Vráťme sa teraz k medzinárodnému výskumu vedenému tímom z Ústavu experimentálnej fyziky v Košiciach. Ten sa inšpiroval svetom opísaným v teórii strún.

Predovšetkým, používa 7 extradimenzií. Tieto sú tu omnoho väčšie ako v originálnej teórii strún, s rozmerom približne 10^{-12} cm. Stále však ide o subatomárny rozmer, no už blízko experimentálne dosiahnuteľným rozmerom. Takéto extradimenzie sa nazývajú extra veľké a práve pre svoju veľkosť sa dlhodobo aktívne študovali. V novej štúdii sú extradimenzie, podobne ako v niektorých verziách teórie strún, skrútené. Z teórie strún výskum používa aj takzvané G2-manifoldy s vnútornou torziou.

Pristavme sa na chvíľku pri manifoldoch. Manifold je priestor, ktorý lokálne vyzerá ako Euklidovský priestor. Teda priestor, s ktorým sme sa bežne stretávali v geometrii s kartézskou súradnicovou sústavou. Manifold však na veľkých škálach môže byť skrivený. Vhodným príkladom je geometria našej Zeme, voči ktorej sme malí a stojac na jej povrchu nevnímame, že jej celkový tvar je guľatý. Lokálne nám jej tvar pripadá neskrivený. Tvar manifoldu je taký, že keď sa k nemu priblížime, vidíme ho lokálne hladký. Iný príklad: vezmime si kružnicu, a ak sa k nej dostatočne priblížime, tak vyzerá ako priamka. Kružnica je jednorozmerný manifold. Ak si ale predstavíme tvar osmičky, tak pri priblížení sa k jej pretínajúcej sa časti nevidíme priamku, a tak osmička nie je manifoldom. Manifold je len taký priestor, ku ktorému, keď sa v ktoromkoľvek mieste priblížime, tak vyzerá Euklidovsky, priamky sú v ňom lokálne rovné a paralelné. G2 manifoldy sú špeciálnou verziou manifoldov, ktoré sa vyznačujú geometrickou štruktúrou, ktorá zachováva určitú symetriu, potrebnú pre stabilitu fyzikálnych zákonov. Stabilita fyzikálnych zákonov v tomto prípade znamená, že keď tieto extradimenzie skutočne existujú, naše známe fyzikálne zákony, ako zákony zachovania a interakcie častíc, sa neporušia a zostávajú konzistentné.

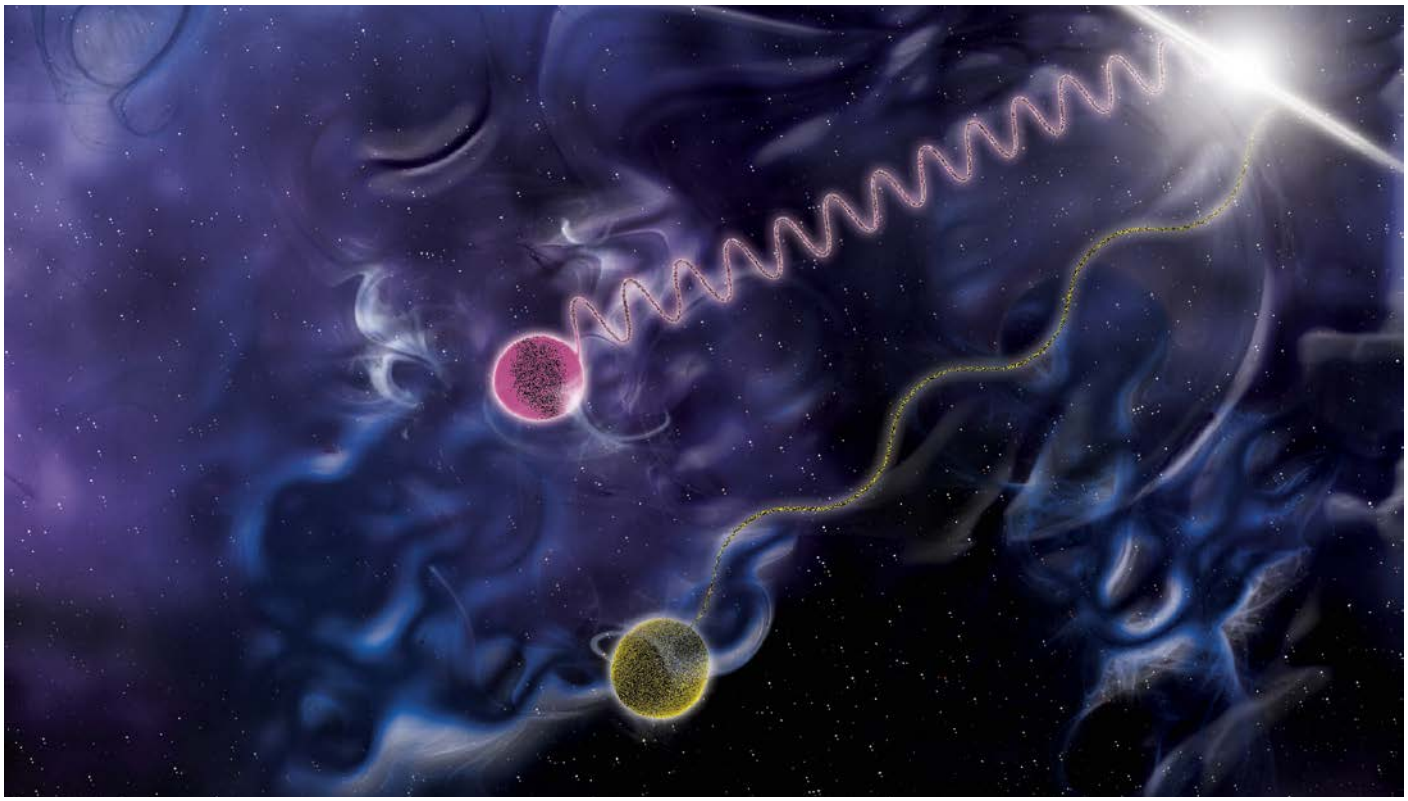
Svet siedmich extradimenzií a G2-manifoldov je svet, ktorý tvorí javisko teórie strún, a ktorý sa v alternatívnych teóriách, ako je slučková kvantová gravitácia, neobjavuje. Toto javisko nový výskum nezapĺňa strunami, ale ide ďalej novou cestou. Študuje ako sa geometria extradimenzií prejaví na vlastnostiach sveta, ktorý teória opisuje. Tradične sa takéto štruktúry, G2 manifoldy, študovali ako statické. V novom výskume sú dynamické, vyvíjajú sa v čase. A to prináša zaujímavé dôsledky.

Najskôr sa však nakrátko pristavme pri spôsobe riešenia vývoja G2 manifoldov v čase. Ich vývoj v čase sa rieši metódou nazývanou Ricciho tok. Ide o matema-

$$
\begin{aligned}
&-\tfrac{1}{2}\partial_\nu g^a_\mu \partial_\nu g^a_\mu - g_s f^{abc}\partial_\mu g^a_\nu g^b_\mu g^c_\nu - \tfrac{1}{4}g_s^2 f^{abc}f^{ade}g^b_\mu g^c_\nu g^d_\mu g^e_\nu + \\
&\tfrac{1}{2}ig_s^2(\bar{q}^\sigma_i\gamma^\mu q^\sigma_j)g^a_\mu + \bar{G}^a\partial^2 G^a + g_s f^{abc}\partial_\mu \bar{G}^a G^b g^c_\mu - \partial_\nu W^+_\mu \partial_\nu W^-_\mu - \\
&M^2 W^+_\mu W^-_\mu - \tfrac{1}{2}\partial_\nu Z^0_\mu \partial_\nu Z^0_\mu - \tfrac{1}{2c_w^2}M^2 Z^0_\mu Z^0_\mu - \tfrac{1}{2}\partial_\mu A_\nu \partial_\mu A_\nu - \\
&\tfrac{1}{2}\partial_\mu H \partial_\mu H - \tfrac{1}{2}m_h^2 H^2 - \partial_\mu \phi^+ \partial_\mu \phi^- - M^2\phi^+\phi^- - \tfrac{1}{2}\partial_\mu \phi^0 \partial_\mu \phi^0 - \\
&\tfrac{1}{2c_w^2}M\phi^0\phi^0 - \beta_h[\tfrac{2M^2}{g^2} + \tfrac{2M}{g}H + \tfrac{1}{2}(H^2 + \phi^0\phi^0 + 2\phi^+\phi^-)] + \tfrac{2M^4}{g^2}\alpha_h - \\
&igc_w[\partial_\nu Z^0_\mu (W^+_\mu W^-_\nu - W^+_\nu W^-_\mu) - Z^0_\nu(W^+_\mu \partial_\nu W^-_\mu - W^-_\mu \partial_\nu W^+_\mu) + \\
&Z^0_\mu(W^+_\nu \partial_\nu W^-_\mu - W^-_\nu \partial_\nu W^+_\mu)] - igs_w[\partial_\nu A_\mu (W^+_\mu W^-_\nu - W^+_\nu W^-_\mu) - \\
&A_\nu(W^+_\mu \partial_\nu W^-_\mu - W^-_\mu \partial_\nu W^+_\mu) + A_\mu(W^+_\nu \partial_\nu W^-_\mu - W^-_\nu \partial_\nu W^+_\mu)] - \\
&\tfrac{1}{2}g^2 W^+_\mu W^-_\mu W^+_\nu W^-_\nu + \tfrac{1}{2}g^2 W^+_\mu W^-_\nu W^+_\mu W^-_\nu + g^2 c_w^2(Z^0_\mu W^+_\mu Z^0_\nu W^-_\nu - \\
&Z^0_\mu Z^0_\mu W^+_\nu W^-_\nu) + g^2 s_w^2(A_\mu W^+_\mu A_\nu W^-_\nu - A_\mu A_\mu W^+_\nu W^-_\nu) + \\
&g^2 s_w c_w[A_\mu Z^0_\nu (W^+_\mu W^-_\nu - W^+_\nu W^-_\mu) - 2A_\mu Z^0_\mu W^+_\nu W^-_\nu] - g\alpha[H^3 + \\
&H\phi^0\phi^0 + 2H\phi^+\phi^-] - \tfrac{1}{8}g^2\alpha_h[H^4 + (\phi^0)^4 + 4(\phi^+\phi^-)^2 + \\
&4(\phi^0)^2\phi^+\phi^- + 4H^2\phi^+\phi^- + 2(\phi^0)^2H^2] - gMW^+_\mu W^-_\mu H - \\
&\tfrac{1}{2}g\tfrac{M}{c_w^2}Z^0_\mu Z^0_\mu H - \tfrac{1}{2}ig[W^+_\mu(\phi^0\partial_\mu\phi^- - \phi^-\partial_\mu\phi^0) - W^-_\mu(\phi^0\partial_\mu\phi^+ - \\
&\phi^+\partial_\mu\phi^0)] + \tfrac{1}{2}g[W^+_\mu(H\partial_\mu\phi^- - \phi^-\partial_\mu H) - W^-_\mu(H\partial_\mu\phi^+ - \\
&\phi^+\partial_\mu H)] + \tfrac{1}{2}g\tfrac{1}{c_w}(Z^0_\mu(H\partial_\mu\phi^0 - \phi^0\partial_\mu H) - ig\tfrac{s_w^2}{c_w}MZ^0_\mu(W^+_\mu\phi^- - \\
&W^-_\mu\phi^+) + igs_w MA_\mu(W^+_\mu\phi^- - W^-_\mu\phi^+) - ig\tfrac{1-2c_w^2}{2c_w}Z^0_\mu(\phi^+\partial_\mu\phi^- - \\
&\phi^-\partial_\mu\phi^+) + igs_w A_\mu(\phi^+\partial_\mu\phi^- - \phi^-\partial_\mu\phi^+) - \tfrac{1}{4}g^2 W^+_\mu W^-_\mu[H^2 + \\
&(\phi^0)^2 + 2\phi^+\phi^-] - \tfrac{1}{4}g^2\tfrac{1}{c_w^2}Z^0_\mu Z^0_\mu[H^2 + (\phi^0)^2 + 2(2s_w^2-1)^2\phi^+\phi^-] - \\
&\tfrac{1}{2}g^2\tfrac{s_w^2}{c_w}Z^0_\mu\phi^0(W^+_\mu\phi^- + W^-_\mu\phi^+) - \tfrac{1}{2}ig^2\tfrac{s_w^2}{c_w}Z^0_\mu H(W^+_\mu\phi^- - W^-_\mu\phi^+) + \\
&\tfrac{1}{2}g^2 s_w A_\mu\phi^0(W^+_\mu\phi^- + W^-_\mu\phi^+) + \tfrac{1}{2}ig^2 s_w A_\mu H(W^+_\mu\phi^- - W^-_\mu\phi^+) - \\
&g^2\tfrac{s_w}{c_w}(2c_w^2-1)Z^0_\mu A_\mu\phi^+\phi^- - g^1 s_w^2 A_\mu A_\mu\phi^+\phi^- - \bar{e}^\lambda(\gamma\partial + m^\lambda_e)e^\lambda - \\
&\bar{\nu}^\lambda\gamma\partial\nu^\lambda - \bar{u}^\lambda_j(\gamma\partial + m^\lambda_u)u^\lambda_j - \bar{d}^\lambda_j(\gamma\partial + m^\lambda_d)d^\lambda_j + \\
&igs_w A_\mu[-(\bar{e}^\lambda\gamma^\mu e^\lambda) + \tfrac{2}{3}(\bar{u}^\lambda_j\gamma^\mu u^\lambda_j) - \tfrac{1}{3}(\bar{d}^\lambda_j\gamma^\mu d^\lambda_j)] + \tfrac{ig}{4c_w}Z^0_\mu[(\bar{\nu}^\lambda\gamma^\mu(1 + \\
&\gamma^5)\nu^\lambda) + (\bar{e}^\lambda\gamma^\mu(4s_w^2 - 1 - \gamma^5)e^\lambda) + (\bar{u}^\lambda_j\gamma^\mu(\tfrac{4}{3}s_w^2 - 1 - \gamma^5)u^\lambda_j) + \\
&(\bar{d}^\lambda_j\gamma^\mu(1 - \tfrac{8}{3}s_w^2 - \gamma^5)d^\lambda_j)] + \tfrac{ig}{2\sqrt{2}}W^+_\mu[(\bar{\nu}^\lambda\gamma^\mu(1+\gamma^5)e^\lambda) + (\bar{u}^\lambda_j\gamma^\mu(1 + \\
&\gamma^5)C_{\lambda\kappa}d^\kappa_j)] + \tfrac{ig}{2\sqrt{2}}W^-_\mu[(\bar{e}^\lambda\gamma^\mu(1+\gamma^5)\nu^\lambda) + (\bar{d}^\kappa_j C^\dagger_{\lambda\kappa}\gamma^\mu(1+\gamma^5)u^\lambda_j)] + \\
&\tfrac{ig}{2\sqrt{2}}\tfrac{m^\lambda_e}{M}[-\phi^+(\bar{\nu}^\lambda(1-\gamma^5)e^\lambda) + \phi^-(\bar{e}^\lambda(1+\gamma^5)\nu^\lambda)] - \tfrac{g}{2}\tfrac{m^\lambda_e}{M}[H(\bar{e}^\lambda e^\lambda) + \\
&i\phi^0(\bar{e}^\lambda\gamma^5 e^\lambda)] + \tfrac{ig}{2M\sqrt{2}}\phi^+[-m^\kappa_d(\bar{u}^\lambda_j C_{\lambda\kappa}(1-\gamma^5)d^\kappa_j) + m^\lambda_u(\bar{u}^\lambda_j C_{\lambda\kappa}(1 + \\
&\gamma^5)d^\kappa_j] + \tfrac{ig}{2M\sqrt{2}}\phi^-[m^\lambda_d(\bar{d}^\lambda_j C^\dagger_{\lambda\kappa}(1+\gamma^5)u^\kappa_j) - m^\kappa_u(\bar{d}^\lambda_j C^\dagger_{\lambda\kappa}(1 - \\
&\gamma^5)u^\kappa_j] - \tfrac{g}{2}\tfrac{m^\lambda_u}{M}H(\bar{u}^\lambda_j u^\lambda_j) - \tfrac{g}{2}\tfrac{m^\lambda_d}{M}H(\bar{d}^\lambda_j d^\lambda_j) + \tfrac{ig}{2}\tfrac{m^\lambda_u}{M}\phi^0(\bar{u}^\lambda_j\gamma^5 u^\lambda_j) - \\
&\tfrac{ig}{2}\tfrac{m^\lambda_d}{M}\phi^0(\bar{d}^\lambda_j\gamma^5 d^\lambda_j) + \bar{X}^+(\partial^2 - M^2)X^+ + \bar{X}^-(\partial^2 - M^2)X^- + \\
&\bar{X}^0(\partial^2 - \tfrac{M^2}{c_w^2})X^0 + \bar{Y}\partial^2 Y + igc_w W^+_\mu(\partial_\mu\bar{X}^0X^- - \partial_\mu\bar{X}^+X^0) + \\
&igs_w W^+_\mu(\partial_\mu\bar{Y}X^- - \partial_\mu\bar{X}^+Y) + igc_w W^-_\mu(\partial_\mu\bar{X}^-X^0 - \partial_\mu\bar{X}^0X^+) + \\
&igs_w W^-_\mu(\partial_\mu\bar{X}^-Y - \partial_\mu\bar{Y}X^+) + igc_w Z^0_\mu(\partial_\mu\bar{X}^+X^+ - \partial_\mu\bar{X}^-X^-) + \\
&igs_w A_\mu(\partial_\mu\bar{X}^+X^+ - \partial_\mu\bar{X}^-X^-) - \tfrac{1}{2}gM[\bar{X}^+X^+H + \bar{X}^-X^-H + \\
&\tfrac{1}{c_w^2}\bar{X}^0X^0H] + \tfrac{1-2c_w^2}{2c_w}igM[\bar{X}^+X^0\phi^+ - \bar{X}^-X^0\phi^-] + \\
&\tfrac{1}{2c_w}igM[\bar{X}^0X^-\phi^+ - \bar{X}^0X^+\phi^-] + igMs_w[\bar{X}^0X^-\phi^+ - \\
&\bar{X}^0X^+\phi^-] + \tfrac{1}{2}igM[\bar{X}^+X^+\phi^0 - \bar{X}^-X^-\phi^0]
\end{aligned}
$$

Lagrangian štandardného modelu v plnerozvinutej forme

tickú metódu, ktorá sa preslávila svojou úlohou pri dôkaze Poincarého vety. Jej dôkaz bol prvým z takzvaných *Problémov tisícročia*, siedmich najväčších problémov matematiky, z ktorých bola doteraz vyriešená len Poincarého veta. V roku 2000 Clay Mathematics Institute vyhlásil Millennium Prize Problems, kde prvý riešiteľ niektorého z týchto siedmich problémov dostane milión dolárov.



Na tejto ilustrácii jeden fotón (fialový) nesie miliónkrát viac energie ako iný fotón (žltý). Niektorí teoretici predpovedajú oneskorenia príchodov fotónov s vyššou energiou, ktoré silnejšie interagujú s predpokladanou penivou povahou časopriestoru. Dáta gama záblesk z Fermi LAT teleskopu však tento efekt nepreukázali, čo vylučuje niektoré prístupy k novej teórii gravitácie.

Riešenie s Ricciho tokom ukázalo, že vývoj G2 manifoldov s torziou v čase sa stabilizoval vo forme takzvaných solitónov, lokalizovaných vlnových balíkov. G2 manifoldy si udržali zvyškovú torziu. Solitón si môžete predstaviť ako vlnový balík, ktorý si zachováva svoj tvar. Extradimenzie vesmíru v tomto prípade našli trvalú, stabilnú konfiguráciu, kde geometrické skrútenie zostáva nemenné, čo poskytuje stabilný základ pre fyzikálne zákony. A tu to začína byť veľmi zaujímavé. Takáto štruktúra extradimenzií so stabilnými solitónmi je svetom, ktorý môže dávať časticiam hmotnosť bez prítomnosti slávneho Higgsovho poľa. Solitóny vstupujú do mechanizmu známeho ako spontánne narušenie symetrie. Častice v tomto novom opise získavajú svoju hmotnosť vďaka štruktúre priestoru, zo skrútených extradimenzií. Torzia indukuje narušenie symetrie a ponúka alternatívu k Higgsovmu mechanizmu. Nastavením geometrickej torzie na špecifickú hodnotu dokázal výskumný tím autorov článku v rámci teoretického modelu odvodiť hmotnosti bozónov W a Z, ktoré zodpovedajú experimentálnym výsledkom. V tomto pohľade častice „nezískavajú“ hmotnosť, majú ju, pretože existujú v skrútenom časopriestore. Samotná geometrická torzia funguje ako Higgsovo pole. Jednou z výhod nového modelu voči štandardnému modelu tak je, že nie je potrebné zavádzať Higgsovo pole ako samostatnú entitu. Geometrická torzia plní úlohu Higgsovho poľa, čím zjednodušuje model a poskytuje prirodzenejšie geometrické vysvetlenie mechanizmu narušenia symetrie.

Článok navyše predstavuje Torstone, teoretickú časticu spojenú s geometrickým torzným poľom. Jej predpokladaná hmotnosť je približne 110 GeV. Detekcia Torstone častice v budúcich urýchľovačoch častíc by bola dôkazom, že náš vesmír je postavený na týchto skrútených extradimenziách.

Aký by bol vplyv extradimenzií s torziou na celý vesmír? Ako by súvisel so zrýchľovaním jeho expanzie vysvetľovaným zvyčajne tmavou energiou? Pozorovania supernov pred takmer 30 rokmi ukázali, že rozpínanie vesmíru sa zrýchľuje. Zvyčajným vysvetlením, ktorým sa akcelerácia vysvetľuje je tmavá energia, tvoriaca približne 68 percent energetického obsahu celého vesmíru. Jej pôvod sa vysvetľuje ako energia vákua. Zaujímavé je, že aj keď vieme experimentálne dokázať, že vákuum má nenulovú energiu, tak ak túto energiu odvodíme z kvantovej teórie poľa, tak dostaneme neuveriteľný výsledok. Podľa štandardného modelu by mala byť 10^{120}-krát väčšia než akú pozorujeme. Čo je pravdepodobne najväčší rozpor medzi meraním a predikciou, aký sme kedy vo fyzike videli.

Zaujímavým výsledkom nového výskumu je, že zakrivenie, ktoré poháňa zrýchľujúcu sa expanziu nášho vesmíru, nie je v novej teórii zavedené ručne, ale je priamo generované geometriou a torziou extra dimenzií. Ponúka tak možnú geometrickú interpretáciu vysvetlenia kladnej kozmologickej konštanty. V tejto novej teórii kladná kozmologická konštanta (a teda kladné skalárne zakrivenie zodpovedné za kozmické zrýchlenie) vyplýva z integrovaného efektu reziduálnej torzie v extradimenziách po stabilizácii G2-Ricciho toku do podoby s torzne stabilizovanými solitónmi. Táto teória tak dodáva malé kladné Λ, také ako pozorujeme, a ponúka čisto geometrické vysvetlenie tmavej energie bez ďalších skalárnych polí.

Spojením G2-Ricciho toku s časticovou fyzikou prináša nový výskum most medzi abstraktnou matematikou a pozorovateľnou realitou. Od hmotnosti subatomárnej častice až po rozpínanie celého vesmíru, všetko môže byť v konečnom dôsledku otázkou toho, ako je priestor skrútený. Pochopenie úlohy skrútenia by mohlo viesť k hlbšiemu poznaniu geometrie vesmíru, potenciálne prepojiť teóriu strún a supergravitáciu s javmi, ktoré pozorujeme každý deň. ■

RNDr. Richard Pinčák, PhD.
a RNDr. Pavol Bobik, PhD.
Ústav experimentálnej fyziky SAV, v. v. i.