

# Od teorije strun do mikroskopskega opisa črnih lukenj

Mariborčanka dr. Mirjam Cvetič je teoretična fizičarka in je zaposlena na University of Pennsylvania v Philadelphii, ki je ena od osmih zasebnih, najstarejših univerz v ZDA

## MARJAN LOGAR

Na nedavnem fizikalnem minisimpoziju, ki ga je organiziral Center za uporabno matematiko in teoretično fiziko Univerze v Mariboru (CAMTP), je predavala tudi uspešna teoretična fizičarka prof. Mirjam Cvetič z University of Pennsylvania v Philadelphii v ZDA, sicer pa tudi zunanja članica in sodelavka CAMTP. Njeno raziskovalno delo obsega teoretično fiziko visokih energij, ukvarja pa se s teorijo superstrun, z raziskovanjem črnih lukenj in njihove mikrostrukture ter s poenotenjem osnovnih sil v naravi.

Čeprav že vrsto let živi v tujini, ji Maribor predstavlja dom, kjer je preživela otroštvo in srednješolska leta. "Že kot dijakinjo na II. gimnaziji v Mariboru sta me zelo zanimali matematika in fizika," začne svojo pripoved prof. Cvetičeva, ki je po diplomu in magisteriju iz fizike na Univerzi v Ljubljani v začetku 80-ih let odšla v ZDA. Leta 1984 je doktorirala na University of Maryland, podoktorski študij opravila na univerzi Stanford in se 1987. zaposlila na University of Pennsylvania, ki je ena od osmih zasebnih, najstarejših univerz v ZDA.

V naravi obstajajo štiri vrste sil ali interakcij: poleg gravitacijske še šibka, elektromagnetna in jedrska, imenovana tudi močna. Z njimi je mogoče pojasniti dogajanje v vsem vesolju. Fiziki si prizadevajo, da bi vse te sile opisali z eno samo teorijo, da bi jih poenotili. V začetku se je prof. Cvetičeva ukvarjala s poenotenjem sil pod mentorstvom prof. Jogesha Patija, ki je sodeloval z v Trstu delujočim Abdusom Salamom, dobitnikom Nobelove nagrade leta 1979 za prispevke k poenotenju šibke in elektromagnetne sile. "Po tem sem se na univerzi Stanford ukvarjala s teorijo strun, ki je postala pomembna za področje visokih energij, saj je kot edina kvantna teorija imela možnost konsistentnega poenotenja ne le močne, šibke in elektromagnetne sile, temveč - prvič - tudi gravitacije, in jih tako združiti v enotno sliko. Ta teorija daje največ upanja, da realiziramo Einsteinovo vizijo: poenote-

nje vseh sil narave na kvantnem nivoju, z eno samo kvantno teorijo. Te sile opišemo kot izmenjave virtualnih delcev, kar jih veže v materijo, snov. Gravitacijska sila, denimo, se ustvarja z izmenjavo virtualnih delcev gravitacijske sile, t. i. gravitonov. Podobno je z močno silo, ki veže kvarke, tj. sestavne delce protonov in nevtronov v atomskih jedrih, ki jih prav tako opišemo z izmenjavo virtualnih delcev. Ta kvantni princip naj bi razložil vse štiri sile kot konsistentno kvantno teorijo. Zato teorija strun kot teorija poenotenja vseh teh sil zahteva drug način in povsem drugačen koncept. Predpostavlja, da najmanjši nedeljivi delci snovi niso kot točke majhni delci, temveč nihajoče strune. Tako kot strune glasbenih instrumentov lahko dajejo različne tone glede na njihov način nihanja, se te mikroskopske strune lahko pojavljajo kot različni delci, npr. elektroni ali fotoni (to so delci elektromagnetnega sevanja, svetlobe), pač glede na njihov način nihanja.

Tako lahko to kvantno teorijo opišemo konsistentno, po drugi strani pa dobimo z njo tudi gravitone in tako pravi kvantni opis gravitacije, ter kvarke in gluone, ki so delci močne sile. Vsi ti delci, ki jih vidimo v naravi, so delci, ki izhajajo iz nihanja teh strun. Vse prihaja iz enega poenotenega bistva, entitete, strukture, ki je sedaj struna," razloži prof. Cvetičeva.

## Imena črnih lukenj

A zgodba se tu ne konča. S tem modelom pa ne opišemo le delcev, ki so v naravi, temveč dobimo tudi težje delce, ki jih v naravi ne vidimo, vendar ti delci naredijo teorijo skladno, konsistentno. Teorija strun je konceptualno zelo pomembna tudi pri opisu objektov z zelo močno gravitacijo, kot so črne luknje. To so vesoljska telesa s tako močno gravitacijo, da z nje ne more nič pobegniti, tudi svetloba ne. Na njihov obstoj in prisotnost sklepamo iz gibanja drugih objektov, npr. zvezd v njihovi okolici.

Teorija strun opisuje strukturo črnih lukenj na kvantnem nivoju. "Po mojem prihodu iz Stanforda na Penn sem kot



Dr. Mirjam Cvetič (Janko Rath)

docentka razvila povezavo med gravitacijo in teorijo strun za določene črne luknje, za katere lahko napovemo nekatere mikroskopske lastnosti," povzame prof. Cvetičeva. Zato se določene črne luknje imenujejo po njej in njenem doktorskem študentu Donamu Youmu, ker sta našla prve rešitve iz teorije strun, ki so postale pomembne za študij mikroskopske strukture črnih lukenj. Postale so prototipi črnih lukenj. Z nadaljnjim raziskovalnim delom o črnih luknjah v teoriji strun je postala vodilni ekspert v svetu na tem področju, ki se razvija naprej z novimi teorijami strun, kot so večdimenzijske membrane. Te ob prehodu v štiri dimenzije postanejo točke, ki so v enem od opisov teh membran gravitacijski objekti in so videti kot črne luknje. S to dualnostjo je teorija strun naredila pomembno konceptualno razumevanje gravitacijskih objektov, posebnih črnih lukenj, ki nosijo električni in magnetni naboj. So bolj posplošene, kot jih vidimo v naravi. Ta nova interpretacija mikroskopske strukture črnih lukenj je povezana tudi s t. i. supersimetrijo. Kadar jo imamo, lahko gremo v opisu ali gledanju od enega ekstrema: ekscitacije strun na večdimenzijskih membranah, v drugi ekstrem: gravitacijski objekt - črna luknja.

## Testiranja v CERN-u

Supersimetrija prinaša v opis delcev poleg že poznanih, kot so kvark, elektron, foton in drugi, še niz novih, do



Dr. Cvetičeva upa, da bodo lahko teorijo strun kot razlago osnovnih interakcij testirali v velikem pospeševalniku LHC v CERN-u. (Reuters)

zdaž še neodkritih delcev, imenovanih skvark, selektron, fotino itd. Na ta način dobimo naravne kandidate za t. i. temno snov v vesolju. Ta predstavlja veliko večino vse mase, ki je pa ne vidimo, ker ne seva, njene sestave pa za zdaj ne znamo pojasniti.

"Druga možnost teorije strun pa je seveda tudi razlaga osnovnih interakcij. Upamo, da bomo to lahko testirali v velikem pospeševalniku LHC v CERN-u, saj hočemo dobiti tudi detajle teh interakcij in njihove lastnosti. Po ponovnem zagonu tega velikega pospeševalnika - trkalnika, ki so ga po prvem zagonu jeseni 2008 zaradi napak ustavili, zdaj pa postopoma povečuje energijo delcev in pogostost njihovih trkov, upamo, da bomo odkrili tudi te supersimetrijske delce. Njihovo odkritje bo zelo pomembna indikacija, da smo na pravi poti pri poenotenju vseh teh sil. To še ne bo dokaz za pravilnost teorije strun, ampak namig in močna podpora, da je supersimetrija zelo pomemben princip, na katerem gradimo poenotenje sil," doda prof. Cvetičeva.

Na vprašanje, kdaj lahko pričakujemo morebitno potrditev teh pred-

postavk, prof. Cvetičeva opozori na posebno previdnost pri povečevanju maksimalnih energij trkov in njihovega števila. Oboje bodo v naslednjih dveh letih počasi povečevali, ko naj bi dosegli energijski nivo, kjer bi se to lahko testiralo. "Optimistično upamo v naslednjih dveh letih na indikacijo za supersimetrijo in tako tudi indirektno indikacijo za teorijo superstrun."

Vendar delo prof. Cvetičeve ne obsega le raziskovalne dejavnosti, temveč sega tudi na druga področja, ki so povezana z raziskovanjem in univerzitetnim šolstvom. Na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani ima status stalne gostujoče profesorice, kjer ima pogosto predavanja. Često je gostja in sodelavka v eminentnih institucijah, kot so CERN v Švici, v Angliji Imperial College v Londonu ter Cambridge University, v Nemčiji Münchenska univerza Ludwiga Maximiliana ter Institut Maxa Plancka, pa na Japonskem, v Južni Koreji in drugod po svetu. Pri tem sodeluje s skupinami in posamezniki, med katerimi so tudi nobelovci. Že nekaj let je glavna urednica revije Physics Letters B (North-Holland, Amsterdam), ki je vodilna revija za jedrsko fiziko in fiziko delcev.

## Naslednji vrhunski afriški hominid

Hominidna vrsta, ki je zaslovela s fosilom ženske Lucy, odkritim v Etiopiji, je znala hoditi tako kot današnje manekenke po modni brvi, je mogoče sklepati na podlagi njenega delnega okostja izpred 3,58 milijona let, poimenovanega Veliki človek. To okostje je zagotovilo dolgo pričakovani argument o dvonožnosti Australopithecusa afarensisa, izumrlega sorodnika današnjih ljudi, navajajo avtorji sestavka, ki je izšel v publikaciji Proceedings of the National Academy of Sciences.

Ko je okostje Lucy, prvo sploh najdeno okostje A. afarensisa, sredi 70. letih prejšnjega stoletja zagledalo luč sveta, so zanj domnevali, da je staro rekordnih 3,2 milijona let. Lucyjino delno okostje je sprožilo burno razpravo med antropologi o stopnji sposobnosti A. afarensisa, da hodi pokončno. Novo okostje izvira iz doline Rift v osrednji Etiopiji, kakih 330 kilometrov severovzhodno od njene prestolnice Adis Abebe. Leta 2005 ga je Alemayehu Asfaw odkril blizu reke Mille, kak dan hoje proti severu od kraja Hadar, kjer so odkrili Lucy. Raziskovalci so okostje poimenovali Kadanuumuu ali Veliki človek, saj naj bi bilo visoko skoraj dva metra. Lucy je v višino merila samo nekaj nad en meter. Paleontolog Owen Lovejoy z ameriške državne univerze Kent (zvezna država Ohio) pravi, da to novo okostje razkriva dvonožca, ki je znal dovršeno hoditi in teči. Vodilni avtor omenjenega sestavka **Yohannes Haile-Selassie** iz Clevelandskega muzeja naravne zgodovine pa dodaja, da se medenica novega okostja ujema s tisto pri modernih ljudeh.

Lucyjnega majhnost je povzročila nekaj nesoglasja s prejšnjimi razlagami dvonožnosti, priznava Lovejoy, velikost in odraslost Velikega človeka pa



Okostje ženske Lucy (Reuters)

dovoljujeta jasnejše primerjave z drugimi hominidi. Novo odkritje podpira lanske sklepe o celo zgodnejši dvonožnosti nekega drugega etiopskega hominida, namreč Ardipithecusa ramidusa, ki je z minimalno starostjo 4,4 milijona let najstarejši doslej najdeni hominid. Vendar pa A. ramidus ni bil povsem moderen: ohranil je roke in noge, podobne opičjim, takšnih pa Veliki človek in Lucy nimata. Novo okostje hkrati ne odgovori na vsa vprašanja o tem, kdaj so začeli hominidi hoditi vzravnano.

**William Jungers** z newyorške univerze Stony Brook je prepričan, da so bili hominidi vrste A. afarensisa, kakršna sta Lucy in Veliki človek, spretni in angažirani dvonožci, četudi ne istovetni in biomehansko enakovredni ljudem. Jungers je leta 1982 zapisal, da "Lucy ni nezdružljiva s kako vrsto dvoonožnega gibanja", da pa "se pri njej zdi skrajno neverjetna dvonožna hoja modernih ljudi".

Carol Ward z missourijske univerze soglaša, da se bo razprava o tem, kako

natanko je hodil A. afarensis, verjetno še nadaljevala, hkrati pa priznava, da Veliki človek dodaja pomembne podatke o razvoju gornjega dela telesa hominidov. Njegova lopatica je najstarejša doslej najdena hominidna lopatica, in to od odraslega hominida, kar dovoljuje prave primerjave z drugimi vrstami. Lovejoy dodaja, da je njegova lopatica, pritrjevalka ramenskih mišic, zelo podobna lopatici modernih ljudi, s čimer hoče reči, da je bilo zanj življenje na drevesih, značilno za njegove opičje prednike, že davna preteklost.

Golenica Velikega človeka je presenetljivo dolga, ugotavlja Lovejoy in dodaja, da ta značilnost odslavlja predlog nekaterih raziskovalcev, da so poznejši hominidi razvili daljše noge kot prilagoditev, ki naj bi jim omogočila učinkovit lov na večje razdalje.

Odkritje okostja Velikega človeka je bilo že tretje odkritje hominidov v letu dni, vsa skupaj pa osvetljujejo razvoj hominidov v obdobju izpred 4,4 do 1,9 milijona let. (nature.com)

## Ekocement zmanjšuje emisije CO2

Nemci položili temeljni kamen za pilotski obrat za proizvodnjo novega gradbenega materiala

Proizvodnja cementa po svetu je vzrok kar petih do sedmih odstotkov vseh emisij ogljikovega dioksida (CO2). Znanstveniki s Karlsruhejskega inštituta za tehnologijo (KIT) so s ciljem, da bi se emisije zmanjšale, razvili novo vezivo celitement (R). Pri proizvodnji tega cementa so lahko v primerjavi z običajnim cementom emisije CO2 zmanjšali do polovice. Nemško ministrstvo za šolstvo in raziskovanje (BMBF) s projektom Celitement 0 - razvoj sonaravnega cementa podpira nadaljnji razvoj tega gradbenega materiala s 3,4 milijona evrov.

Pred nedavnim so na območju KIT položili temeljni kamen za pilotski obrat, v katerem naj bi proizvedli sto kilogramov tega veziva na dan. S tem bodo raziskovalci ta proces iz laboratorijev prenesli v industrijsko okolje. Hkrati jim obrat zagotavlja razvoj tega gradbenega materiala za različne namene.

Celitementi delujejo enako kot doslej znani cementi: vežejo gramoz, pesek in druge dodatke, denimo kon-

denzatorje ali tvorce por, z betonom visoke kakovosti. Vendar naj bi celitement dobil široko pahljačo značilnosti, da bi bilo za beton potrebnih manj dodatnih snovi za posebne namene. Bistvena prednost celitementa je v tem, da ga je mogoče izredno energetsko varčno in do virov prizanesljivo proizvajati, potrebne so le razmeroma nizke postopkovne temperature in manj apnenca. Betoni in malte imajo zaradi nizkoapnenčastih celitementov nizko vrednost pH. Zato je denimo mogoče drago surovino jeklo, doslej pogosto potrebno za stabilizacijo betona, vsaj deloma nadomestiti z obnovljivimi surovinami, denimo s celuloznimi vlakni. Projekt Celitement je eden izmed 21 projektov, ki jih omenjeno ministrstvo podpira v okviru programa Inovativne tehnologije za surovinsko intenzivne proizvodne procese, in sicer s 35 milijoni evrov. S tem daje svoj prispevek k nadrejenim ciljem: prizanašanje virom, sonaravno varstvo podnebja in energetska učinkovitost v okviru svojega okvirnega programa Raziskovanje za sonaravne razvoje. Ta projekt ponazarja, kako je mogoče na podlagi sodelovanja temeljnih raziskovalcev in industrije spodbujati inovacije, ki prizanašajo virom, in s tem konec koncev zagotavljati tudi delovna mesta. (znr)