

Iskalci temne snovi še vedno tavajo v temi

Erik Margan, IJS

Pred kratkim smo v Znanosti lahko prebrali prispevek o delu znanstvenice slovenskega rodu dr. **Maruše Bradač**, ki je s sodelavci na osnovi opazovanj gravitacijskega mikrolečenja svetlobe v področju trka dveh galaktičnih jat potrdila domnevo o obstoju takoimenovane 'temne snovi'. Temna snov, za razliko od običajne barionske snovi, ne reagira prek elektromagnetne interakcije, temveč le gravitacijsko, in morda le prek šibke jedrske interakcije, zato je njeno prisotnost v Vesolju mogoče zaznati le posredno, z opazovanjem gravitacijskih učinkov na običajno snov.

Žal, ne obstoja in ne narave temne snovi, navkljub vsem naporom cele vrste raziskovalnih skupin po vsem svetu, še vedno ni bilo mogoče potrditi v laboratorijih, oziroma pospeševalnikih delcev, zato je le-ta še naprej popolna skrivnost, kar številnim teoretičnim fizikom povzroča precej skrbi.

O obstoju temne snovi je prvi poročal fizik in astronom **Fritz Zwicky**, ko je leta 1933 ob preučevanju gibanja galaksij v Coma gruči ugotovil, da se le-te gibljejo veliko prehitro in bi se morale že zdavnaj med seboj oddaljiti, razen če jih skupaj drži gravitacijski privlak neke dodatne mase. Na podlagi hitrosti, izmerjenih spomočjo Dopplerjevega zamika sevalnega spektra proti rdečemu, ter mase vidnih zvezd, ocenjene s pomočjo svetilnosti zvezd, je izračunal da bi ta dodatna masa, za katero je domneval da je v obliki hladnega plina, morala biti kar 160 krat večja od mase vseh vidnih zvezd skupaj.

Prav Zwicky je leta 1937 predlagal, da bi lahko maso galaktičnih gruč bolj natančno ocenili s pomočjo gravitacijskega mikrolečenja svetlobe zvezd iz ozadja, torej na osnovi gravitacijskega ukrivljanja svetlobe, ki ga je v svoji Splošni relativnostni teoriji napovedal že **Albert Einstein**. Žal je bil učinek prešibek za zmogljivosti takratnih teleskopov, zato so ta opazovanja izvedli šele mnogo kasneje.

Zanimanje za temno snov je ponovno obudila **Vera Cooper Rubin**, ki je leta 1970 po analizi hitrosti rotacije večjega števila galaktičnih diskov ugotovila, da vrednosti hitrosti rotacije od jedra proti robu diska ne upadajo tako, kot bi to pričakovali na osnovi Newtonovega gravitacijskega zakona, temveč ostajajo skoraj konstantne, kot če bi bila celotna galaksija obkrožena z nekim mnogo večjim oblakom snovi, ki s svojo gravitacijo vpliva na vrtenje. Temu je potem sledila vrsta podobnih meritev in analiz na številnih drugih galaksijah in gručah galaksij. Na osnovi vseh teh meritev je bilo ugotovljeno, da mora biti temne snovi okoli 4 do 5 krat več kot običajne snovi.

Oba učinka, gravitacijsko mikrolečenje in hitrosti rotacije galaktičnih diskov, so napeljevale na le eno možno razlago, nakazovale so na obstoj velikih količin hladne, temne, masivne snovi. Vendar raziskave v drugih delih elektromagnetnega spektra (UV, IR, radijski valovi) niso odkrile ničesar. Zato je kmalu prevladalo mnenje da gre za nevtrine, subatomske delce, ki jih poznamo iz jedrskih reakcij in radioaktivnega razpada. Nevtrini reagirajo z običajno snovjo le prek šibke jedrske interakcije in jih je izredno težko zaznati, lahko gredo skozi celotno Zemljo, ne da bi trčili z enim samim atomskim jedrom. Toda po takratnih teoretičnih domnevah naj bi nevtrini bili brez mase. Ob koncu tisočletja pa so dognali da obstajajo trije rodovi nevtrinov, ki celo periodično prehajajo iz enega rodu v drugi, to pa je lastnost, ki nujno zahteva da imajo nevtrini majhno, od nič različno maso. Ta naj bi znašala le

majhen delček mase elektrona, zato bi morale biti nevtrinov v Vesolju zelo veliko, če naj bi povzročali opažene gravitacijske učinke. Toda kasnejše meritve pogostosti nevtrinov, ki jih izseva Sonce, ter primerjava tega števila z umetno generiranimi nevtrini v trkalnikih, so pokazale da je nevtrinov le premalo, lahko prispevajo masi galaksije kvečemu 20%, ne pa pričakovanih 400 do 500%.

Ostala pa je domneva, da bi temno snov lahko sestavljali nevtralni, a bolj masivni delci, ki jih tudi zaznamo pri jedrskem razpadu, to so različni nevtralni mezoni. Teh delcev se je prejel akronim WIMP (*weakly interacting massive particles*, šibko interagirajoči masivni delci). Žal pa so vsi taki delci, kar jih zaenkrat poznamo, kratkoživi, razpadejo že delček sekunde po nastanku. Navaden nevtron, če je prost, tudi razpade po približno 15 minutah na proton, elektron in anti-nevtrino.

Drugi predlagani kandidat za temno snov je dejansko navadna hladna barionska snov v obliki meteotritov, asteroidov in planetov, znana pod akronimom MACHO (*massive compact halo objects*). Vendar se je tudi za te objekte izkazalo da jih je premalo, prispevali naj bi le 5 do 10% mase galaksije.

Tretja domneva se nanaša na črne luknje, ostanke orjaških zvezd ki so se, potem ko so izrabile svoje zaloge energije, sesule same vase v procesu znanem kot 'nova' ali 'supernova'. Masa in posledično gravitacija črnih lukenj je tako velika da niti svetloba ne uide težnosti. A čeprav samih črnih lukenj ne vidimo, lahko dobro vidimo posledice njihove gravitacije, ki snov v svoji okolici poseša v ogromen, tornadu podoben akrecijski disk. Delce, ki padajo proti črni luknji, pospeši gravitacija skoraj do svetlobne hitrosti, zato močno sevajo, predno izginejo za mejo od koder niti svetloba ne uide več. Čeprav je zvezd, ki svojo življensko pot končajo kot črne luknje, razmeroma veliko, pa je njihovo število vseeno premajhno, zato ne more pojasniti opaženih gravitacijskih učinkov, ter nadomestiti temno snov. Večina galaksij je namreč dokaj mirnih, ne sevajo tako močno. Nekatere pa vendar izdatno sevajo (kvazarji), a te imajo v svojih središčih orjaške črne luknje, ki dobesedno požirajo zvezde v svoji okolici. Tudi za mirne galaksije se je izkazalo, da imajo v svojem središču črne luknje, katerih mase so nekaj desetisoč do nekaj milijon krat večje od mase Sonca, in so iz svoje neposredne okolice že pogoltnile vso snov, tako da njihove aktivnosti ni zaznati. A kljub vsemu njihova masa še zdaleč ne zadostuje za odpravo skrivnosti temne snovi.

Nekateri so zagovarjali obstoj velikega števila mikro črnih lukenj, vendar je **Stephen Hawking** pokazal, da zaradi naključnih kvantnih nihanj na robu počasi izgubljuje energijo oziroma maso, ter 'izhlapevajo' tem hitreje, manjša ko je njihova masa. Zato tudi njihovo število ne more biti zadosti veliko.

V obupu so nekateri fiziki bili pripravljeni celo na tako radikalne posege v teorijo, da so predlagali vrsto različnih načinov, po katerih naj bi na astronomsko velikih razdaljah Newtonov gravitacijski zakon odstopal od običajnega upadanja s kvadratom razdalje. Celo sama Vera Rubin je izjavila da bi se lažje odpevedala Newtonovemu zakonu, kot pa sprejela obstoj novih, zelo nenavadnih delcev. V prid takim teorijam govorijo tudi drobna odstopanja od začrtanih položajev nekaterih umetnih satelitov in vesoljskih plovil (Pioneer 10 in 11). Čeprav teorije spremenljive gravitacije niso povsem iz trte zvite in imajo določeno teoretično podlago, imajo tudi posledice: ne le na velikih, pač pa tudi na zelo majhnih razdaljah bi morali ugotavljati odstopanja od Newtonovega zakona, v večini teh teorij celo na milimetrskih razdaljah. Vendar precizna merjenja gravitacijskega privlaka s pomočjo

Cavendishove torzijske tehtnice ali mikro-elektro-mehanskih rezonatorjev niso pokazala nikakršnih odstopanj tudi do nekaj stotink milimetra.

Nove fizikalne teorije, ki si prizadevajo ustrezno nadgraditi nekatere pomanjkljivosti Standardnega modela fizike osnovnih delcev tako, da vključuje gravitacijo in nekatere druge popravke, predlagajo obstoj takoimenovanih supersimetričnih delcev (SUSY) in tudi prostor naj ne bi bil omejen le na tri dimenzije, ki jih lahko neposredno zaznavamo, dimenzij bi lahko bilo 10 ali 11. Svojo različico teh teorij je pred kratkim v Znanosti v prispevku z naslovom *Enotna teorija spina* predstavila prof. **Norma Mankoč Borštnik**.

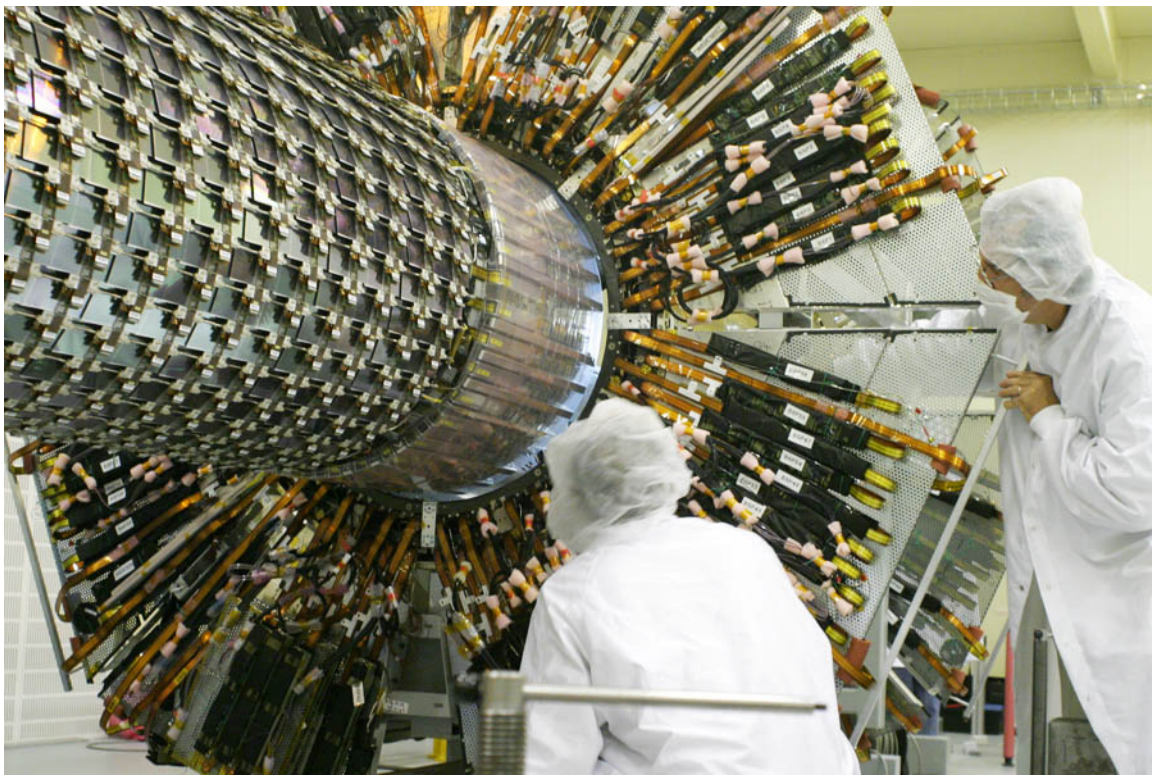
Simetrije so v teoretični fiziki vedno imele pomembno mesto, še posebej v zadnjih pol stoletja. Supersimetrični delci se razlikujejo od svojih običajnih partnerjev po spinskem kvantnem številu (za $1/2$) ter imajo mnogo večjo notranjo energijo (maso). Čeprav še nismo odkrili nobenega delca iz te skupine, obstajajo nekateri teoretični razlogi za njihov obstoj. Če to drži, potem bi naravni kandidat za temno snov lahko bil 'nevtralino', SUSY partner nevtrina in najlažji SUYS delec. Nvetralino naj bi bil dolgočasovno stabilen in imel zelo veliko maso (med 100 in 200 GeV/c^2). Njegova energija je znotraj dosega novega 'velikega hadronskega trkalnika' (*Large Hadron Collider*, LHC) evropske organizacije za jedrske raziskave CERN v Ženevi, ki je pravkar začel z obratovanjem in od katerega si obetamo veliko novih odkritij. V realizaciji eksperimenta ATLAS, ki je eden od štirih glavnih eksperimentov LHC, smo svoj delež prispevali tudi sodelavci Instituta Jožef Stefan. Če SUSY delci obstajajo in če obstajajo višje prostorske dimenzije, bi moral LHC to brez dvoma pokazati v letu ali dveh, ko se bo nabralo zadostno število zanimivejših dogodkov za relevantno statistično analizo. Ali pa bo pokazal nekaj čisto tretjega. Pustimo se presenetiti.

Toda kot hladna prha je pred kratkim prišla novica, da so meritve razdalje med Luno in Zemljo (ki jih redno izvaja ameriška vesoljska agencija NASA s pomočjo laseskih odbojev od zrcala, ki so ga na luninem površju pustili astronauti programa Apollo) pokazale, da je dinamika sistema natanko takšna, kot jo pričakujemo na podlagi Newtonovih zakonov. Če je namreč temne snovi zares 5 krat več kot običajne, in če interagira le gravitacijsko, bi morali to zaznati že pri gibanju planetov v našem osončju. Sonce in planeti bi morali pritegniti k sebi precej temne snovi in bi bili videti petkrat težji, kar pa ni zaznati. Merilne napake pri teh meritvah, ter mertivah še nekaterih umetnih satelitov (LAGOS), postavljajo zgornjo mejo vsebnosti temne snovi v sistemu Zemlja-Luna, te naj bi bilo kvečjemu za 4 milijardinke Zemeljske mase, kar je praktično zanemarljivo.

Skratka, tipanje v temni strani Vesolja se nadaljuje.

Povzemimo še nakratko lastnosti, ki bi jih morali imeti delci temne snovi, če naj ustrezajo vsem dosedanjim opažanjem:

- 1) morajo biti dolgočasovno stabilni, oziroma njihova življenska doba mora biti primerljiva s starostjo Vesolja, če naj vplivajo na razvoj strukture in dinamike galaksij;
- 2) mora biti znan učinkovit proizvodni 'mehanizem' teh delcev neposredno po nastanku Vesolja, ki mora zagotoviti zadostno količino temne snovi;
- 3) morajo se obnašati nerelativistično v galaktičnem prostoru (temna snov mora biti 'hladna');
- 4) morajo interagirati kvečjemu prek šibke jedrske sile, če naj se izognejo neposrednemu zaznavanju, kar pomeni da morajo biti tako električno kot tudi 'barvno' nevtralni (barvno v smislu kvantne kromodinamike, QCD);
- 5) gostota temne snovi mora biti zadosti velika, da ustvari svojevrsten 'pritisk', ki naj zagotavlja prostorsko izotropnost na majhnih razsežnostih, ter tako prepreči da bi se pod vplivom gravitacije nabirala v zvezdah in planetih, sicer bi njen vpliv bil viden že v Newtonovi dinamiki planetarnih orbit, ne le pri vrtenju galaksij.



Priprava osrednjega polprevodniškega sledilnika (Semiconductor Tracker, SCT) eksperimenta ATLAS, enega od štirih glavnih eksperimentov CERNovega LHC, o katerem je v prilogi Znanost pred enim tednom bil objavljen objavili zajeten članek. V načrtovanju in izdelavi elektronskih sestavnih delov smo pomemben delež prispevali tudi sodelavci Instituta Jožef Stefan. Številna tiskana vezja in fleksibilne kable (aluminij na kaptonski foliji) je izdelalo podjetje Elgoline iz Cerknice. Sledilnik vsebuje tri plasti detektorskih ploščic, na vsaki plošči pa je več sto občutljivih nizkošumnih ojačevalnikov, ki zaznavajo prehode subatomske delcev neposredno po trku. Prav sledenje in kasnejša računalniška rekonstrukcija poti delcev nudi informacijo o njihovih lastnostih (masa, hitrost, naboj), po katerih je posamezne delce mogoče identificirati in ugotoviti kaj je pri trku nastalo.