



Pandorina skrinjica novih vprašanj

Skrivnosti vesolja *Gravitacija,*

temna energija, temna snov, antimaterija ali česa (še) ne vemo

William Thomsona, bolje znana kot lorda Kelvina, moderna zgodovina po krivem obtožuje, da je leta 1900 razvoj fizike razglasil domala za mrtvega. Vedeli naj bi bili že vse, manjkale so le čedalje natančnejše meritve osnovnih fizikalnih konstant. Resnica je ravno nasprotna.

MATEJ HUŠ

Kelvin je v slavnem govoru pred britansko Kraljevo družbo opozoril na dva črna oblaka, ki sta se po njegovem mnenju zgrinjala nad tedanje razumevanje. Slutil je težave pri razlagi, zakaj se zdi hitrost svetlobe neodvisna od smeri gibanja, in pri veljavnosti klasične statistične teorije o porazdelitvi hitrosti delcev. Še v istem desetletju so fiziki v iskanju odgovorov na ti vprašanji razvili teorijo relativnosti in kvantno mehaniko.

Čeprav očitek ni bil utemeljen, je zgodovinski spodrslijaz razumljiv, saj je v širši fizikalni skupnosti konec 19. stoletja res vladalo prešerno razpoloženje. Za seboj je imela izjemno stoletje razvoja, v katerem so obvladali električno, termodinamično, optiko, statiko in kinematiko. Kazalo je, da je fizika sposobna zlahka razložiti tudi najbolj zapletene sisteme. Razmišljanje, da so bistveni naravni zakoni znani, redka odstopanja pa bodo pojasnili manjši popravki in izboljšave za posebne primere, predvsem pa natančnejše meritve, ni bilo osamljeno. Konca fizike resda niso napovedovali, a nadaljnji razvoj bi bil temeljno drugačen. Manj revolucije, več evolucije in rafiniranja.

Kar napak pripisujejo Kelvinu, je s podobnimi besedami šest let pred tem dejansko izrekel Albert Michelson. Bistveno bolj znan je sicer po znamenitem eksperimentu, ki ga je izvedel skupaj z Edwardom Morleyjem. Dokazati sta hotela obstoj etra kot snovi, po kateri se giblje svetloba, zato sta iskala odstopanja v hitrosti svetlobe v različnih smereh, ostala pa praznih rok. Danes vemo, da etra ni, saj svetloba potuje kot elektromagnetno valovanje skozi vakuum. Vseeno je najbolj znan spodleteli eksperiment v zgodovini fizike odigral ključno vlogo pri iskanju alternativ, ki jih je Albert Einstein leta 1905 elegantno formuliral v obliki posebne teorije relativnosti.

Namesto konca fizike je sledilo 20. stoletje, v katerem smo dobili odgovore na celo vrsto vprašanj, ki v klasični fiziki niso imela odgovora. Bolj kot kdaj prej pa je vsako odkritje odprlo Pandorino skrinjico novih vprašanj. Zdelo se je, da kakor se vesolje širi čedalje hitreje, se tudi skrivnosti kozmologije z vsakim odkritjem le še pomnožijo.

Gravitacija

Dosežek človeške civilizacije pri razumevanju vesolja je osupljiv. Omejeni na malo modro frnikolo smo dojeli stroj vesolja, velikost in razdalje v vidnem delu ter precej dobro tudi njegovo zgodovino. Primerljiv uspeh bi dosegla ameba, ki bi razvozlala velikost Atlantika in njegovo geološko preteklost. A prav v zadnjih desetletjih se je nabralo precej neodgovorjenih vprašanj.

Ključna sila za makrostrukturo vesolja je gravitacija, ki nediskriminatorsno privlači vso snov, ki jo vidimo. Einsteinova splošna teorija relativnosti zelo dobro opiše gravitacijo kot ukrivljenost prostora-časa in daje preverljivo pravilne rezultate. Odlično deluje pri velikih masah na velikih razdaljah, odpove pa v mikroskopskem svetu, kjer deluje kvantna fizika. Pri vsakdanjem življenju nas to ne ovira, saj ponavadi zadostuje že klasična fizika, sicer pa uporabimo bodisi kvantno mehaniko bodisi splošno relativnost, odvisno od velikosti problema. A v vesolju se pojavijo primeri, ko bi potrebovali obe hkrati, denimo pri črnih luknjah.

Gravitacija je tudi v obliki splošne relativnosti še vedno klasična teorija polja, podobno kot Maxwellov elektromagnetizem, medtem ko preostale tri osnovne interakcije opišemo s kvantnimi teorijami polja. To razliko pogosto zapišemo kot neobstoje nosilca gravitacije. Medtem ko so nosilci močne, šibke in elektromagnetne interakcije gluoni, bozoni in fotoni, gravitonov še nismo odkrili. Po drugi strani splošna teorija relativnosti izkorišča ukrivljenost prostora-časa, medtem ko kvantne teorije polja delujejo v ravnem prostoru. V kvantnih teorijah polja so bili sprva velik problem členi, ki so pri izračunih eksplodirali v neskonč-

nost, a jih znamo z današnjimi postopki renormalizacije obvladati. Spremenljivost prizorišča, kot jo vnaša gravitacija, je prevelika ovira za renormalizacijo. Poenotene teorije, nekakšne kvantne gravitacije kot kvantne teorije polja, ki bi na primer upoštevala ukrivitev prostora zaradi kvantnih efektov in bi zmogla opisati dogajanje za horizontom črne luknje, kljub poskusom in skromnemu napredku zato še ni.

Temna snov

Četudi je ne moremo uskladiti z drugimi teorijami, splošna teorija relativnosti odlično opravlja svoje delo. Tako zelo smo prepričani o njeni pravilnosti, da kozmologi na glas govorijo o manjkajoči snovi. Oddaljene galaksije, zvezde in planeti se gibljejo drugače, kot bi bilo mogoče sklepati iz snovi, ki jo vidimo. Kljub nekaterim zgodnejšim tovrstnim razmislekom za prelomno velja delo Vere Rubin in Kenta Forda, ki sta v 70. letih nedvomno pokazala na odstopanje med napovedmi in opaženo hitrostjo gibanja zvezd in galaksij. Morda gravitacija na velikih razdaljah deluje drugače, a vse od 80. let se je izoblikoval znanstveni konsenz, da je razlog šestkrat več snovi v galaksijah, kot je vidimo. Ta neopažena temna snov ne interagira z elektromagnetnim valovanjem, kar je tudi svetloba, zato je nevidna. Opazimo le njene gravitacijske učinke.

Vodilni kandidati za temno snov so za zdaj še hipotetični delci aksioni, ki bi mimogrede rešili še zagato iz fizike osnovnih delcev (zakaj za močno interakcijo velja simetrija CP). Na tem mestu pa nas zanima, ali lahko z njimi opišemo temno snov. Lastnosti bi imeli prave: so lahki in neobčutljivi za običajno snov. Milijonkrat lažji aksioni od elektronov bi nastajali v nevtronskih zvezdah, jim zaradi majhne mase pobegnili in se potem ob srečanju z močnim magnetnim poljem nevtronske zvezde pretvorili v običajne fotone v rentgenskem delu spektra. Ker nevtronske zvezde že same po sebi oddajajo veliko rentgenskega sevanja, je skoraj nemogoče opaziti prispevek aksionov, ne pa povsem. ADMX (Axion dark matter experiment) je velika kolaboracija, ki

skuša v fotone v močnem magnetnem polju v instrumentu zaznati spremembo aksionov, ki bi leteli skozi Zemljo. CAST (Cern axion solar telescope) pa poskuša na podoben način zaznati aksione, ki bi prihajali iz središča Sonca. Čeprav doslej še nihče ni zaznal aksionov, so neuspešni eksperimenti v resnici povedali veliko, in sicer kakšni aksioni gotovo niso. V prihodnosti prihajata stokrat občutljivejši BabyIXAO (Baby International axion observatory) in še stokrat občutljivejši IXAO.

Temna energija

Spokojna slika čedalje počasneje razširjajočega se vesolja, v katerem je vidna šestina snovi, se je leta 1998 razletela z odkritjem pospešenega širjenja. S privlačno gravitacijo tega ni mogoče razložiti, torej mora obstajati močnejša odbojna sila. V odsotnosti kakšne prepričljiveje zamisli kozmologi predpostavljajo, da vesolje prežema neznan vrsta energije, ki pokaže zobe šele na največjih razdaljah. Temna energija po najnatančnejših ocenah predstavlja 68 odstotkov snovi in energije v vesolju, temna snov 26 odstotkov in približno šest odstotkov običajna, vidna, vsakodnevna snov. Žal je temna snov tako nizke gostote, da je v laboratorijih ni možno zaznati, njen ogromni vpliv pa izvira iz ogromnosti praznih delov vesolja, saj je enakomerno razmazana povsod. Raziskujejo več teorij, s katerimi bi pojasnili opaženo pospešeno širjenje vesolja, od razlag temne energije, prek modifikacij splošne teorije relativnosti, do napak v interpretaciji meritev, a končni odgovor je zavit v meglo.

Pred tem je treba rešiti še nekoliko bolj praktičen problem, kako hitro se vesolje sploh širi. Ker bolj oddaljene galaksije bežijo hitreje, je univerzalno merilo razmerje med trenutno oddaljenostjo in hitrostjo oddaljevanja, kar opiše Hubblova konstanta. Izmerimo jo lahko na več načinov, trenutno

pa kozmologe bega statistično pomembna razlika med dvema vrstama meritev. Iz analize prasevanja, ki je ostanek velikega poka in so ga s Planckovim teleskopom natančno izmerili, so izračunali Hubblovo konstanto kot 67. To pomeni, da se na vsak parsek (dolžinska enota, ki ustreza 30,9 milijona kilometrom) hitrost širjenja poveča za 67 kilometrov na sekundo.

Nasproti tem meritvam mladega vesolja stojijo meritve starega (trenutnega) vesolja, ki temeljijo na opazovanju dejanskega odmikanja zelo svetlih oddaljenih zvezd. Ta znaša 74. Razlika med 74 in 67 se z več novimi raziskavami ni skrčila, temveč je kljub večji natančnosti ostala in zdaj že predstavlja statistično pomembno odstopanje. Vodilna teorija opisava vesolja Lambda CDM z vrednostjo 67 povsem opiše dogajanje, zato je vrednost 74 težava. Očitno smo nekaj zgrešili. Možnih razlag je seveda več, od napak pri meritvah od igranja z lastnostmi temne snovi, ki morda razpada, ali temne energije, ki morda ni tako konstantna, kot bi si želeli.

Antimaterija

Za konec se vprašajmo še, zakaj smo tu. Vsak osnovni delec ima pripadajoč antidelec, ki se razlikuje le v električnem naboju. Proton ima antiproton, elektron ima pozitron itd. Materija in antimaterija imata nerodno lastnost, da se ob dotiku burno spremenita v čisto energijo, kar s pridom izkoriščajo pisci znanstvenofantastičnih romanov.

Če bi v velikem poku nastali enako veliki količini materije in antimaterije, bi se hitro izničili. V vesolju bi ostal blisk svetlobe, ki bi se s čedalje »hladnejšimi« (daljše valovne dolžine) fotoni v neskončnost širila skupaj s prostorom. Vesolje pa se zdi v celoti sestavljeno iz materije, tako naša galaksija kot oddaljena prostranstva, torej je je moralo nastati več. Antimaterijo pridobivamo le v pospeševalnikih delcev, pri čemer nastane enaka

količina materije. Odtlej so odkrili nekaj asimetrije med antimaterijo in materijo, a še vedno ni jasno, zakaj je v velikem poku nastalo nekoliko več druge.

Vprašanje, zakaj smo tu, ni priklenjeno le na antimaterijo. Tudi svet iz normalne snovi lahko v trenutni obliki obstaja le, ker so fizikalne konstante natančno ustrezne. Če bi jih samo minimalno spremenili, bi bile posledice usodne: atomi ne bi bili stabilni, zvezde ne bi nastale in podobno. Antropično načelo, da nas v drugačnih vesoljih, četudi so ali bodo obstajala, pač ne bo, da bi se to lahko spraševali, nas ne pripelje bližje k odgovoru na vprašanje zakaj.

Kam naprej

V fiziki, ne le kozmologiji, je še več drugih vprašanj brez odgovora ali s pomanjkljivimi razlagami. Segajo od matematičnih podrobnosti, kot je rešljivost enačb za opis turbulence (glej okvir), do malodane filozofskih vprašanj, kako veliko je vesolje onstran meje opazovanja. Med njimi ima posebno mesto vprašanje, kakšna bo končna usoda vesolja.

Dr. Matej Huš je znanstveni sodelavec na Kemijskem inštitutu.

Omejeni na malo modro frnikolo smo dojeli ustroj vesolja, velikost in razdalje v vidnem delu ter precej dobro tudi njegovo zgodovino. Primerljiv uspeh bi dosegla ameba, ki bi razvozlala velikost Atlantika in njegovo geološko preteklost.

MILENIJSKI PROBLEMI

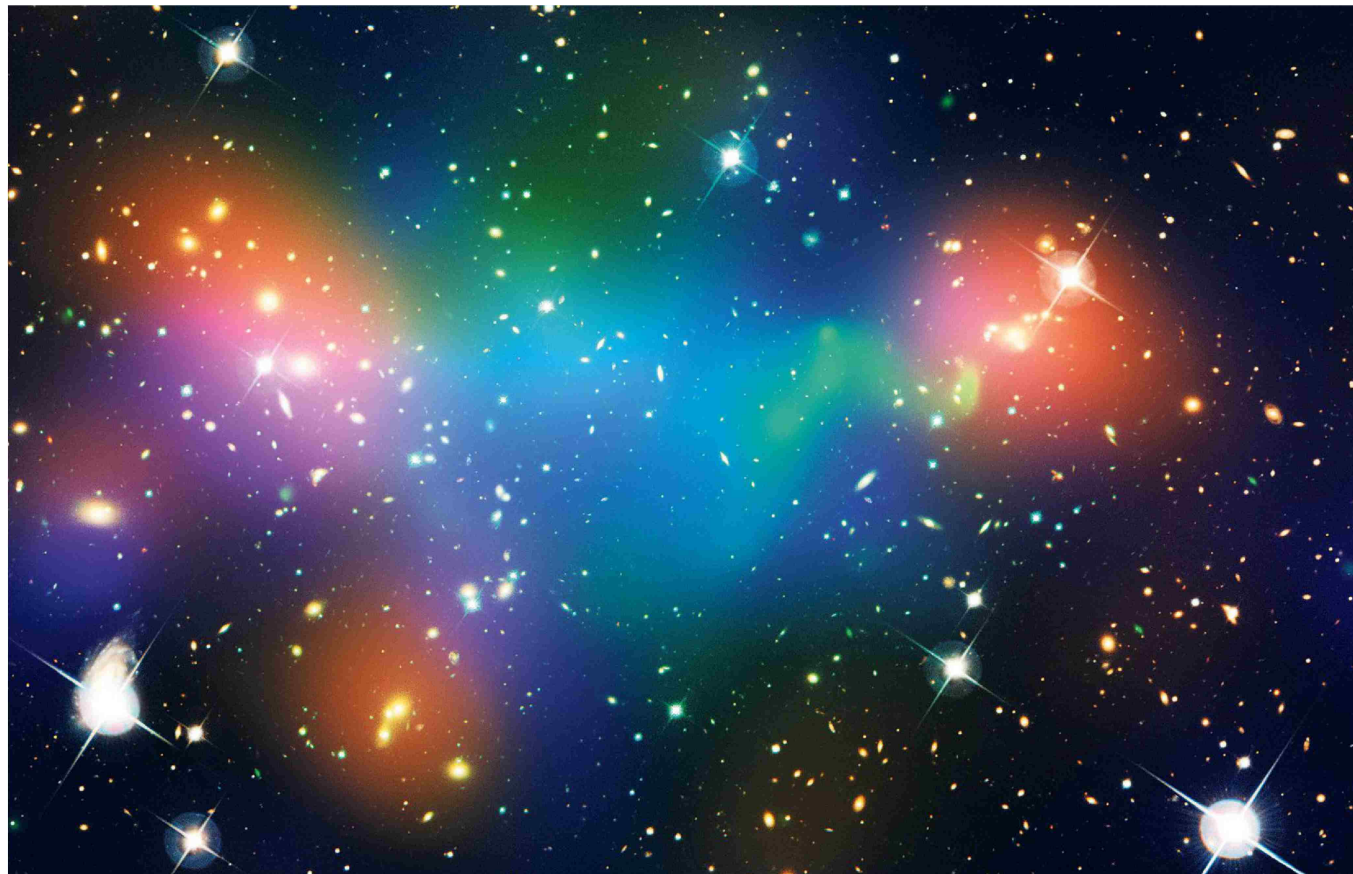
Clayev matematični inštitut (CMI) je razpisal milijonsko nagrado za rešitev kateregakoli izmed sedmih matematičnih vprašanj, ki so jih poimenovali milenijski problemi. Do danes je rešeno le eno od teh vprašanj, čeprav so se z njimi ukvarjali eminentni matematiki. Grigorij Perelman je leta 2002 dokazal Poincaréjevo domnevo, a je slovesnost in finančno nagrado odklonil.

Med sedmerico sta dva izziva, ki sta bliže fiziki kakor matematiki. To sta vprašanje gladkih rešitev Navier-Stokesovih enačb, ki so že poldrugo stoletje osnova za opis toka tekočin in med najbolj uporabnimi dosežki matematične fizike. Kljub temu teoretično razumevanje rešitev šepa. Nimamo dokaza, da vedno obstajajo gladke rešitve.

Drugi fizikalni izziv je povezan z osnovnimi delci in interakcijami med njimi, ki so jih fiziki že zelo dobro izmerili in jih standardni model odlično opiše, le pika na i v matematični doslednosti še manjka. Yang-Millsova teorija je zelo obetaven kandidat za opis močne interakcije med njimi, za milijon dolarjev pa je treba razviti to teorijo v štirih razsežnostih in pokazati, da rešuje problem masne vrzeli. Išče se torej matematično ustrezna teorija za standardni model.

VELIKE REŠITVE

V preteklosti so rešitve nepojasnjenih fenomenov pogosto vodile do povsem novih vrst fizike. Orbite Merkurja okrog Sonca klasična Newtonova mehanika ni mogla natančno opisati. Težave niso bile v natančnosti meritev, temveč je moral Einstein izumiti povsem novo vejo fizike – splošno teorijo relativnosti. Toplotno sevanje črnega telesa je bil drugi veliki problem. Klasične teorije so napovedovale neskončen izsev, kar je seveda prvovrstna neumnost. Rešitev je prinesla šele kvantna mehanika, še ena povsem nova veja fizike. Današnja moderna fizika je razlog, da imamo delujoč globalni navigacijski sistem, elektronske naprave in druge bombončke 20. in 21. stoletja.



V jatah galaksij je nevidna temna snov, širjenje vesolja pa poganja še bolj skrivnostna temna energija. Na fotografiji je jata galaksij Abell 520, ki je od nas oddaljena 2,4 milijarde svetlobnih let. FOTO NASA, ESA