

V kakšen konec hitimo

Sirjenje vesolja Začelo se je z velikim pokom

– Kako se bo končalo, še ugotavljajo

Skrajno poenostavljeno lahko nastanek in kasnejšo zgodovino vesolja predstavimo z dvema osnovnima zamislima. Bodi si ima vesolje svoj začetek, kar pa ne pomeni, da mora imeti tudi konec, bodisi je vesolje vedno obstajalo.

MATEJ HUŠ

Večnega obstoja tudi ne gre zamenjevati z nespremenljivostjo. Statično vesolje je le ena od možnosti, danes empirično zavržena. Neskončno zaporedje ciklov rojevanja in umiranja bi prav tako pospravili v teorijo večnega vesolja. A zadnje stoletje se zdi, kakor da dvoma praktično ni več. Gotovo je, da je vesolje nastalo z velikim pokom pred 13,8 milijarde leti in odtlej se širi proti precej manj gotovi prihodnosti.

Večnost

Čeprav se je razumevanje vesolja skozi zgodovino bistveno spremenjalo, je do 20. stoletja malokdo dvomil o njegovi statičnosti. Stari Grki so v središču videli Zemljo, okoli katere krožijo nebesna telesa. Med zvezdami, planeti in sateliti niso razlikovali; kar se sveti na nebesnem svodu, je nebesno telo. Šele Nikolaj Kopernik je v 16. stoletju razvil heliocentrični model, ki je v središče postavil Sonce, okrog katerega plešejo planeti. Galileo Galilei je stoletje pozneje z opazovanji s teleskopom pridobil več podatkov, a sta šele Johannes Kepler in Isaac Newton v 18. in 19. stoletju gibanje nebesnih teles opisala z rigoroznimi matematičnimi zvezami.

Vesolje tistega časa je bilo mirno, predvidljivo, statično in večno. Še ob predstavitvi znamenite splošne teorije relativnosti leta 1915 je Albert Einstein verjel v nespremenljivo vesolje. Relativnostna teorija je zaslovela s pravilnim opisom gibanja Merkurja, česar klasična newtonska mehanika ne zna, in kmalu je postalo jasno, da bo v kozmologiji igrala pomembno vlogo. Ko je Einstein enačbe svoje teorije relativnosti uporabil na celotnem vesolju, ga je rezultat osupnil. Vesolje ni moglo biti stabilno, kar je v začetku 20. stoletja znanstvenike begalo podobno, kot če bi 300 let prej opisovali črne

labode. Einstein je trdno verjel v statično vesolje, zato si je izmislil – korektnjšega izraza ni – kozmološko konstanto, ki je nasprotovala gravitaciji. Enačbe so se izšle v statično vesolje.

Kozmološka konstanta je bila kratkega veka, saj je že leta 1922 ruski fizik Aleksander Fridman pokazal, da je Einsteinovo statično vesolje matematično nestabilno. Že majhna motnja bi zadostovala, da nepovratno pade iz ravnovesja in se začne napihovati. Einstein je ugotovitev sprva zavrnil, a je leto pozneje zmoto priznal. Podobno je ugotovil tudi belgijski fizik Georges Lemaitre, a je v tistem času tudi njegovo delo ostalo razmeroma malo znano.

To so bila leta, ko je bila galaksija vse znano vesolje. Četudi sta primat središča vesolja izgubila Zemlja in Sonce, je bila vsaj naša lokalna galaksija središče, ker je bila pač edina. Leta 1926 pa je Edwin Hubble, po katerem se imenuje znameniti teleskop, prvi v zgodovini uzrl zvezde od drugod. Opazoval je kefeide, ki utripajo s predvidljivo frekvenco in izsevom, zato je lahko izračunal njihovo oddaljenost. Bile so daleč, res daleč. Bile so onkraj galaksije. Galaksija ni več edina.

Needinstvenost naše galaksije je bila resda udarec za napuh, a Hubble je leta 1929 potrdil tudi, da sta razdalja do zvezd in hitrost oddaljevanja sorazmerni. Bolj oddaljene zvezde od nas bežijo hitreje, kar vsiljuje heretični zaključek: vesolje se širi. Neizpodbitnim eksperimentalnim dokazom je moral prikimati tudi Einstein, s čimer je bila kozmološka konstanta pokopana. Einstein je pozneje o njej govoril kot o svoji največji oslariji (nemško Eselei).

Vesolje, ki se širi

Že Lemaitre je leta 1927 sklepal, da širjenje vesolja pokonča njegovo statičnost. Nekoč se je moralo začeti v neskončno majhnem kvantu in se odtlej napihovati. To sicer ni edina razlaga, ki bi pojasnila širjenje, in res je do leta 1964 tekmovala s teorijo stacionarnega stanja. Če bi sproti nastajala nova materija, da bi gostota snovi ostajala enaka, bi se vesolje prav lahko širilo v neskončnost,

a hkrati ves čas ostajalo enako. Teorija se zdi kot bergla za najstrastnejše zagovornike, ki širjenju vesolja navkljub vztrajajo pri njegovi statičnosti, zato nikoli ni imela veliko zagovornikov. Dokončno sta jo pokopala Arno Penzias in Robert Wilson, ki sta z mikrovalovno anteno skušala ujeti šibek signal s satelitov Echo. Kljub izrednemu trudu, da bi odstranila vse motnje, vključno s hlajenjem na –269 stopinj Celzija in čiščenjem golobjih iztrebkov, je ostajal enakomeren šum, ki ni bil odvisen od smeri neba. Prihajal ni niti z Zemlje niti iz naše galaksije. Odkrila sta kozmično mikrovalovno sevanje ozadja ali odzven velikega poka, za kar sta leta 1978 prejela Nobelovo nagrado.

Sevanje ozadja ima temperaturo –270 stopinj Celzija, je enakomerno razmazano po celotnem vesolju in omogoča pogled v preteklost, ko je bilo vesolje staro približno 300.000 let. Začelo se je zelo vroče in v eni točki, tedaj pa se je dovolj ohladilo, da so se elektroni vezali v atome. Gosta juha prostih delcev se je z nastankom atomov zbistrila, vesolje je prvič postalo prosojno za svetlobo in to je skrajna meja, do katere lahko vesolje opazujemo z umejnimi očmi. Šlo bi tudi dlje, saj so gravitacijski valovi pronicali skozi prostor že pred tem, a jih zaradi šibkosti danes še ne moremo zelo natančno merit.

Odkritji širjenja vesolja in kasneje kozmičnega sevanja ozadja sta dva izmed najpomembnejših dokazov, da se je veliki pok moral zgoditi. To zastavlja na prvi pogled banalno, na drugi pa zelo poučno vprašanje, kako sploh lahko od znotraj opazimo, da se vesolje širi. Kozmos nima središčne točke, ki bi mirovala, medtem ko bi okolica bežala proč, temveč se enakomerno širi povsod. Izrabljena, a še vedno koristna prisposoba je balon, na katerega narišemo točke in ga napihujemo. Zaradi razpenjanja balona točke bežijo vsaksebi, ne da bi imele središče. Toda alegorija ima pomembno past. Ko se razteguje opna, so na njej narisane točke čedalje večje.

Potemtakem bi pričakovali, da se skupaj z vesoljem širi vse.

Galaksija, Zemlja, metrski etalon, celice in razdalje med atomi. Isto vprašanje lahko zastavimo bolj neposredno. Če se vesolje širi, zakaj se mi ne širimo z njim? Razlog so fundamentalne sile, ki vladajo vesolju: močna, šibka, elektromagnetna in gravitacijska. Zvezde in planete skupaj drži gravitacija, atome povezujejo elektromagnetne interakcije, njihove sestavne dele protone in nevtrone močna sila itd. Razen gravitacije so vse te sile izjemno močne, a že ta je zadosti, da premaga razpihovanje prostora. Vezani predmeti ohranijo svojo obliko in velikost, četudi se platno razteguje. Kljub širjenju vesolja so atomi še vedno enako veliki.

Zapletov še ni konec. Če danes gledamo v vesolje, je kljub obstoju zvezd in galaksij izotropno. Širjenje bi moralo že minimalne neenakosti iz mladosti do danes potencilirati v neverjetne razlike. A vesolje, tudi deli, ki so tako daleč vsaksebi, da sploh še niso mogli komunicirati, so si neverjetno podobni. Paradoks razložimo s teorijo inflacije ali napihnjenja. Zelo mlado vesolje, od 10⁻³⁵ do 10⁻³² sekunde, se je širilo eksponentno z nadsvetlobno hitrostjo. Po inflatorni fazi, ki je homogenizirala in sploščila vesolje, se je širjenje upočasnilo.

Kdo je stopil na plin

Med silami v vesolju vlada asimetrija, iz katere kot grdi raček molí gravitacija. Resda je z naskokom najšibkejša, vendar ima poleg elektromagnetne edina neskončni doseg. Elektromagnetna sila deluje med električno nabitimi delci, a je pozitivnih in negativnih v naravi enako mnogo, razporejeni pa so tudi zelo enakomerno, zato se na velikih razdaljah izniči. Obnašanje vesolja na velikih razdaljah je potemtakem odvisno izključno od gravitacije, ki nediskriminatorno deluje med vsemi delci. Zaradi gravitacije se snov privlači. Vesoljski drobci se je zato zgostil v planete in zvezde, v osoncja, galaksije, jate in nadjate.

Zdravorazumski premislek, ki se ga moramo sicer v moderni fiziki vedno malce bati, postreže s tremi rezultati, ki so variacija istega vzorca. Vesolje se širi, a ker je polno privlačne snovi, se mora širjenje upočasnevati. Ocenimo nekoliko zapleta dejstvo, da vidimo le šestino snovi. Da preostanek, čeprav temen, ker ne interagira z elektromagnetnim valovanjem, torej tudi svetlobo, mora obstati,

vemo, sicer se galaksije ne bi oblikovale in gibale, kot so se. Kaj, kje, zakaj in od kod je temna snov, ostaja uganka. A princip ostaja trden. Od razmerja med gostoto snovi in hitrostjo širjenja je odvisno, ali se bo v neskončnost širilo čedalje počasneje ali pa bo masa prevladala in bodo galaksije naposled začele drveti druga proti drugi. Tretja možnost obstaja na noževi konici med opisanimi. Z drugimi besedami: ali je vesolje ravno, sferično ali hiperbolično.

Ta razmislek je bil tako gotov kot dejstvo, da jabolko z drevesa pade proti tlu in ne odrči v zrak. Odkritje dveh raziskovalnih skupin leta 1998 pa je svet postavilo na glavo in ni šokiralo le svetovne javnosti, temveč tudi same odkritelje. To ni bilo odkritje, v katerega bi na celem svetu verjel le trmast raziskovalec in ga mukoma v velikem triumfu dokazal, temveč prvovrstno presenečenje za vse udeležence.

Skupini Supernova Cosmology Project, ki jo je vodil Saul Perlmutter, in High-z Supernova Search Team, ki jo je vodil Brian Schmidt, sta tekmovali. Želeli sta izdelati čim natančnejši zemljevid vesolja, kar vključuje tudi karseda oddaljene supernove (izjemno svetilne eksplozije zvezd v smrtnem krču). Če bi vedeli, kako hitro se posamezna supernova oddaljuje, obenem pa poznali še razdaljo do nje, bi lahko ocenili, ali bomo končali v ledu ali ognju – ali se bo vesolje večno širilo ali se začelo spet krčiti.

A v vesolje zgolj gledamo. Svetle pike na nebu so bodisi zelo blizu bodisi močno sijejo – kako bi to ločili? Za inventuro so zato posebej pripravni standardni svetilniki, kakor imenujemo telesa, ki imajo značilen in znan izsev. Primer so supernove tipa Ia, ki jih opazimo v dvozzvezdijh, kjer je ena zvezda bela pritlikavka. Ta izsesava drugo zvezdo, in ko njena masa doseže 1,44 Sončeve mase, jo predvidljivo razžene. Ker vse supernove tipa Ia eksplodirajo enako, lahko iz svetlosti na nebu dobro ocenimo oddaljenost. To se sliši precej redka kombinacija, a vesolje je tako ogromno, da je teh supernov vsako minuto kakšnih deset. Le najti in videti jih je treba, kar ni preprosto.

Obe skupini sta skupno našteali več kot 50 zelo oddaljenih supernov, katerih meritve so dale neizpodbiten zaključek. Galaksije bežijo druga od druge čedalje hitreje. Vesolje se širi pospešeno. Za

odkritje so raziskovalci leta 2011 dobili tudi Nobelovo nagrado. Toda kos fizike, ki se ni spremenil že od Newtona, še vedno terja, da ugotovimo, zakaj se galaksije oddaljujejo pospešeno.

Einsteinova vrnitev

Manj kot sto let zatem, ko je Einstein kozmološko konstanto označil za oslarijo, je ta nazaj. Da bi se iste enačbe izšle v pospešeno širjenje vesolja, si moramo – ponovno – izmisliti odbojno silo. Fiziki so ji to pot nadeli poetično ime temna energija ali energija vakuuma. Poznamo zgolj njen učinek, to je odboj, ki nad gravitacijo prevlada na razdalji 5 milijard svetlobnih let, in zelo malo o njeni provenienci in lastnostih. Prav nasprotno, ko so energijo vakuuma izračunali iz kvantne mehanike – vakuum ni nikoli povsem prazen – so dobili za 10¹²⁰-krat previsok rezultat. Ta najslabša napoved v zgodovini fizike se imenuje vakuumska katastrofa. Kako temna energija nasprotuje gravitaciji in vleče snov narazen, ne vemo.

Čeprav teorija velikega poka elegantno pojasni številna opažanja, je v trenutnem razumevanju še precej razpok. Poleg omenjenih temne snovi in temne energije ne vemo, zakaj je v vesolju izključno materija in skoraj nič antimaterije, ali se kje skrivajo magnetni monopoli ter zakaj je razmerje med snovjo in energijo tolikšno, da je vesolje ravno. Pričakovali smo, da bodo nove meritve ponujale odgovore, a porajajo nova in nova vprašanja. Meritve Hubblove konstante, ki meri hitrost širjenja vesolja, se med različnimi metodami precej razlikujejo, s čimer si fiziki belijo glavo zadnje mesece. Vse te nejasnosti preprečujejo, da bi zagotovo vedeli, kako se bo vesolje končalo. Nerešena vprašanja vesolja in možnosti njegove usode pa sta že temi naslednjih del pričujoče trilogije.

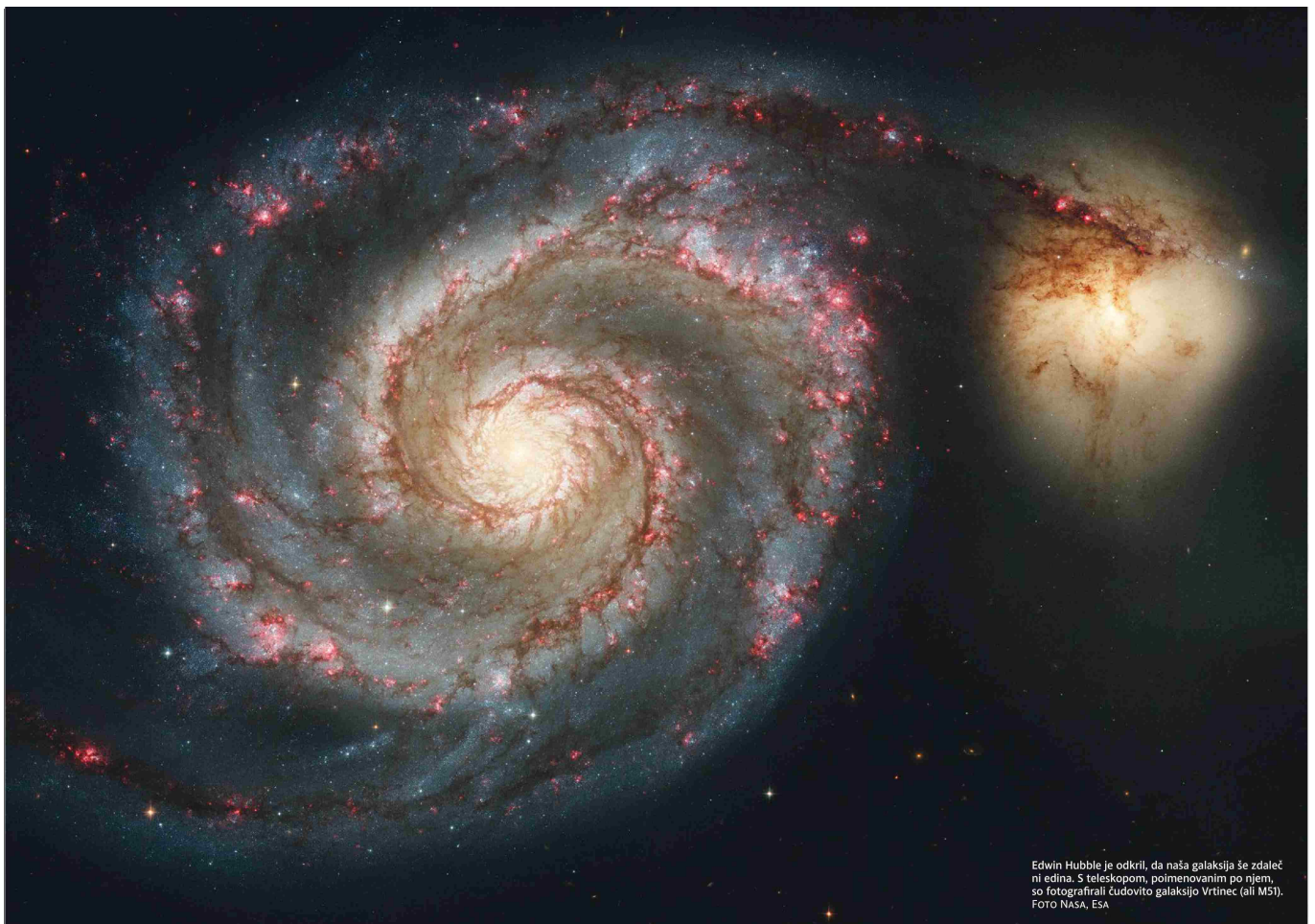
Dr. Matej Huš je znanstveni sodelavec na **Kemijskem inštitutu**.

13,8
milijarde let je staro vesolje

46
milijard svetlobnih let meri polmer vidnega vesolja

Vesolje se širi čedalje

*hitreje, zato nas čaka
hladna in temna
prihodnost.*



Edwin Hubble je odkril, da naša galaksija še zdaleč ni edina. S teleskopom, poimenovanim po njem, so fotografirali čudovito galaksijo Vrtinec (ali M51).
Foto NASA, ESA