

Nobelova nagrada za fiziko za leto 2019

Tomaž Zwitter

Ko mi je na drugi oktobrski terek novinarka povedala, da so nagrado podelili Peeblesu, Mayorju in Quelozu, je bil moj takojšnji odziv: končno! Nagrajenci so bili v astrofizikalni srenji pričakovani in za mnoge le vprašanje časa. Nagrada je šla v prave roke, kot je zapisal Nobelov odbor, so prispevali k razumevanju razvoja vesolja in Zemljinega mesta v njem.

Prvo polovico nagrade je za odkritja v teoretični kozmologiji dobil James Peebles, rojen v Kanadi, ki že vso kariero uči na univerzi Princeton v Združenih državah Amerike. Ko na spletnem naslovu *ui.adsabs.harvard.edu* preletite njegovo bibliografijo, vas obide dvom: gledate dosežke izjemno širokega znanstvenika ali skupek del različnih oseb? Pravilni odgovor je prvi: tako je Jim v letih od 1962 do 1964 kot prvi in pogosto edini avtor objavil članke o temperaturah meteoritov, o Eötvösovem eksperimentu in o strukturi Jupitra in Saturna. Od leta 1965 so sledili uvidi, ki so mu prinesli Nobelovo nagrado. S svojim doktorskim mentorjem Robertom Dickom je pojasnil mikrovalovno sevanje ozadja, ki sta ga tega leta odkrila Penzias in Wilson, z Nobelovo nagrado nagrajena leta 1978. Avtorja sta sevanje ozadja povezala s svetlobo, ki je šla na pot, ko je vesolje 300 tisoč let po velikem poku prvič postalo prozorno. Že v naslednjem članku je Peebles spoznal vlogo te svetlobe pri preprečevanju zgoščevanja prvih galaksij in nastanku prvih zvezd v mladem vesolju. Naslednje leto je utemeljil naravo mikrovalovnega sevanja ozadja kot ostanka ognjene krogle v mladem vesolju ter preračunal količino nastalega helija, tritija in deuterija v

tej vroči fazi. Pomemben zaključek je bil, da bi moral biti masni delež helija, nastalega s spajanjem vodika v zgodnjem vesolju, med 26 in 28 odstotkov. Sledila je raziskava, ki je pokazala, da v vesolju ni dovolj običajne snovi, da bi ta ustavila njegovo širjenje. V letu 1968 je nato pokazal, da galaksije nastanejo iz drobnih neenakosti gostote v zgodnjem vesolju. Naslednje leto je razpravljal o lastnostih vodika v prostoru med galaksijami. Desetletje kasneje je stanje področja povzel v danes klasični knjigi *Splošna zgradba vesolja*, skoraj hkrati pa je objavil tudi članek, ki razpravlja o takratnem odkritju temne snovi v naši in drugih spiralnih in eliptičnih galaksijah.

Kot pojasnjuje nagrajenec, preboj ni prišel v enem skoku, ampak so bili to zamahi na valu novih meritev. Prav Peeblesove teoretične interpretacije teh eksperimentalnih rezultatov so kozmologijo, vedo o nastanku in razvoju vesolja, iz območja domnev nadgradile v resno znanstveno vedo. Danes marsikatero od enačb, ki so jih uvedli omenjeni članki, uporabljamo že v drugem letniku diplomskega študija fizike, ko pri predmetu Astronomija 2 spoznavamo osnovne obrise razvoja vesolja.

Zanimivo je pogledati tudi nagrajenčevo spletno stran (phy.princeton.edu/people/p-james-peebles). Kot pravi, ga zanimajo problemi, ki večine ne privlačijo. Denimo, zakaj je neka majhna galaksija, ki leži na sredini ene od galaktičnih praznin, videti tako razburkana, kot bi ravnokar trčila s sosedo, če pa nikjer okoli ni videti ničesar? Taki, na prvi pogled drobni eksperimentalni problemi lahko z uvidom teoretika včasih pripeljejo do temeljnih spoznanj, denimo o zrnatosti



James Peebles (1935–).



Michel Mayor (1942–).

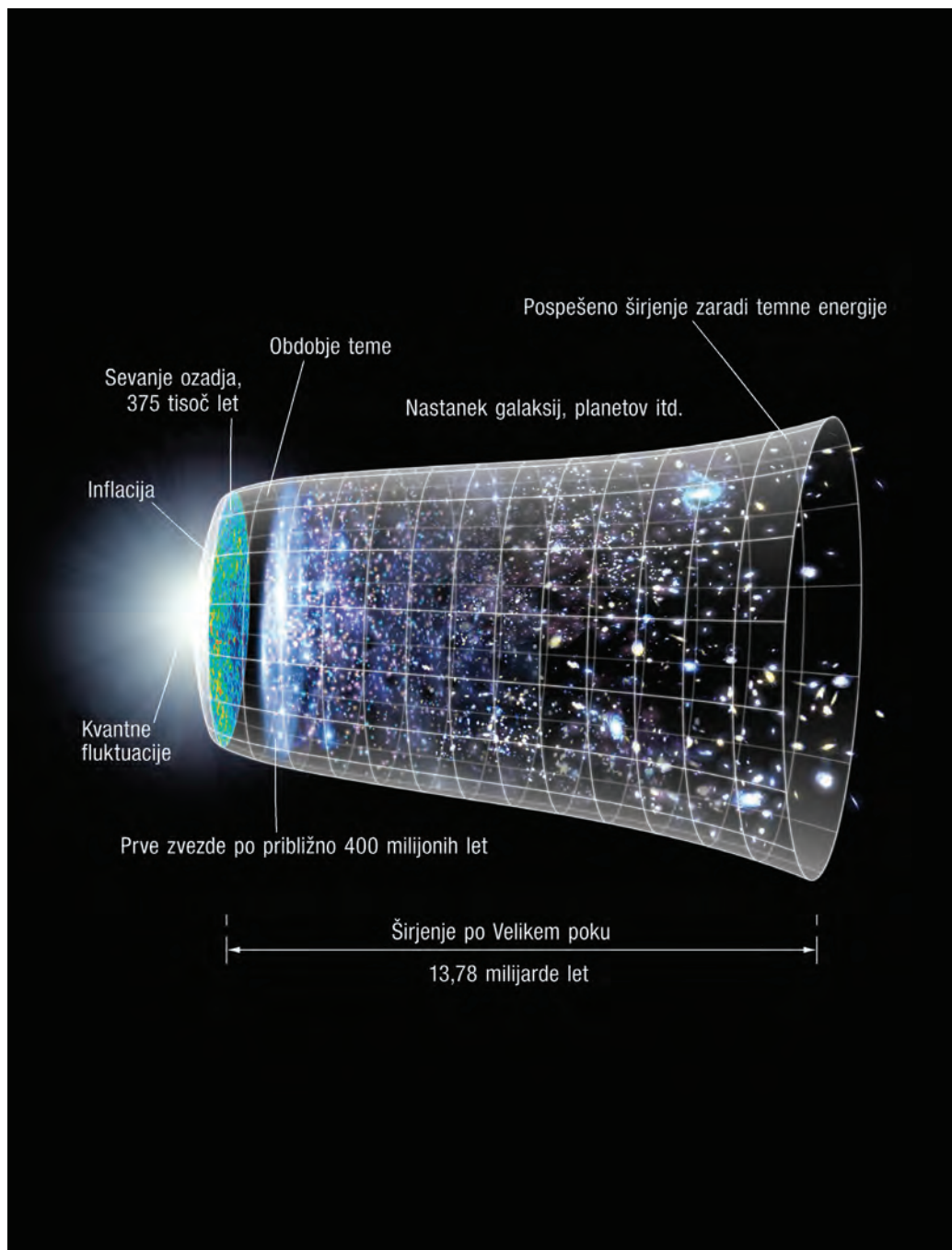
temne snovi v vesolju. Pomembna je tudi Jimova opomba, da sebe vidi kot teoretični privesek eksperimentalnih študij. To kaže na skromnost nagrajenca, po drugi strani pa na tesno povezanost teoretičnih raziskav z opazovanji, ki jo vidim na vsaki znanstveni konferenci in ki kaže, da teoretiki danes večinoma ne delajo sami, ampak v tesnem prepletu in interakciji z eksperimentalnimi skupinami.

Kot smo omenili, je Peebles nagrado dobil za paleto odkritij o zgodnjem vesolju. Posredno so s tem člani Nobelovega odbora povedali, da je razmeroma nedavno odkritje temne energije leta 1998 že trinajst let kasneje pripeljalo do Nobelove časti za Perlmutterja, Schmidta in Riessa, medtem ko pri inflacijski teoriji ali odkritju temne snovi še čakajo na podrobnejšo fizikalno razlago. Pri prvi je med »čakajočimi« gotovo Alan Guth, med odkritelji temne snovi pa sta kandidata Ken Freeman, ki je prvi predpostavil obstoj temne snovi v naši Galaksiji, in Albert Bosma, ki jo je dokončno utemeljil z radijskimi opazovanji drugih spiralnih galaksij.



Didier Queloz (1966–).

*Vir slik vseh treh Nobelovih nagrajencev:
<https://www.quantamagazine.org/nobel-prize-in-physics-to-james-peebles-michel-mayor-and-didier-queloz-20191008/>.*



Skica časovnega razvoja vesolja,
 h kateri je prispeval tudi nagrajenec James Peebles.
 Vir: [https://en.wikipedia.org/wiki/Universe#/media/
 File:CMB_Timeline300_no_WMAP.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Universe#/media/File:CMB_Timeline300_no_WMAP.jpg)

Druga polovica nagrade je bila podeljena za odkritje prvega planeta okoli Soncu podobne zvezde. Ob tem sem slišal komentar, da kozmologija in odkrivanje planetov nimata veliko skupnega in je zato nenavadno, da si delita Nobelovo nagrado. Vsekakor pomagata razumeti naše mesto v vesolju, prvo področje z globalnega vidika, drugo pa odgovarja na vprašanja o pogostosti svetov, kot je naš domači planet. Tako spajanje področij je v odločitvah Nobelovega odbora pogosto. Odkritelja mikrovalovnega sevanja ozadja Penzias in Wilson sta si denimo delila nagrado s Kapico, ki je bil nagrajen za preboje v fiziki nizkih temperatur.

Drugo polovico nagrade sta dobila švicarska opazovalca, Michel Mayor in Didier Queloz z Univerze v Ženevi (slednji tudi z Univerze v angleškem Cambridgeu). Ideja, ki sta ji sledila, je že stara in so se jo trudili uresničiti že pred več kot sto leti. Pa ni šlo, saj je manjkala potrebna tehnologija, ki sta jo razvila in prva uspešno uporabila nagrajenca. Zanimalo ju je, ali imajo nekatere Soncu podobne zvezde spremljevalca, ki je zvezdni objekt majhne mase ali celo masivni planet. Ključ do odkritja je bilo pričakovano majhno gibanje zvezde, ki se skupaj s spremljevalcem giblje okoli skupnega težišča. To je podobno, kot če se starš in otrok držita za roke in vrtita: v glavnem se giba otrok, po majhnih krogih pa se kljub precej večji masi vrti tudi starš. Planet ali zvezdni objekt majhne mase sta zelo temna in ju ne moremo opazovati, zato pa lahko preko Dopplerjevega premika opazujemo, ali radialna hitrost masivnejše Soncu podobne zvezde periodično rahlo niha. To nihanje radialne hitrosti zaradi spremljevalcev majhne mase dosega le zelo majhne odmike, ki niso dosti večji od trideset metrov v sekundi. To je mnogo manj od svetlobne hitrosti, ki je 10-milijonkrat večja. Zato so že sto let uspešno merili nihanje radialnih hitrosti dvojnih zvezd s primerljivimi masami, primer, ko je spremljevalec planet z mnogo manjšo maso, pa je bil onkraj zmožnosti

obstojećih spektroskopov. Do dela nagrajencev, ki sta ga s sodelavci opravila v Ženevi, v sodelovanju s francoskim Observatoire de Haute-Provence.

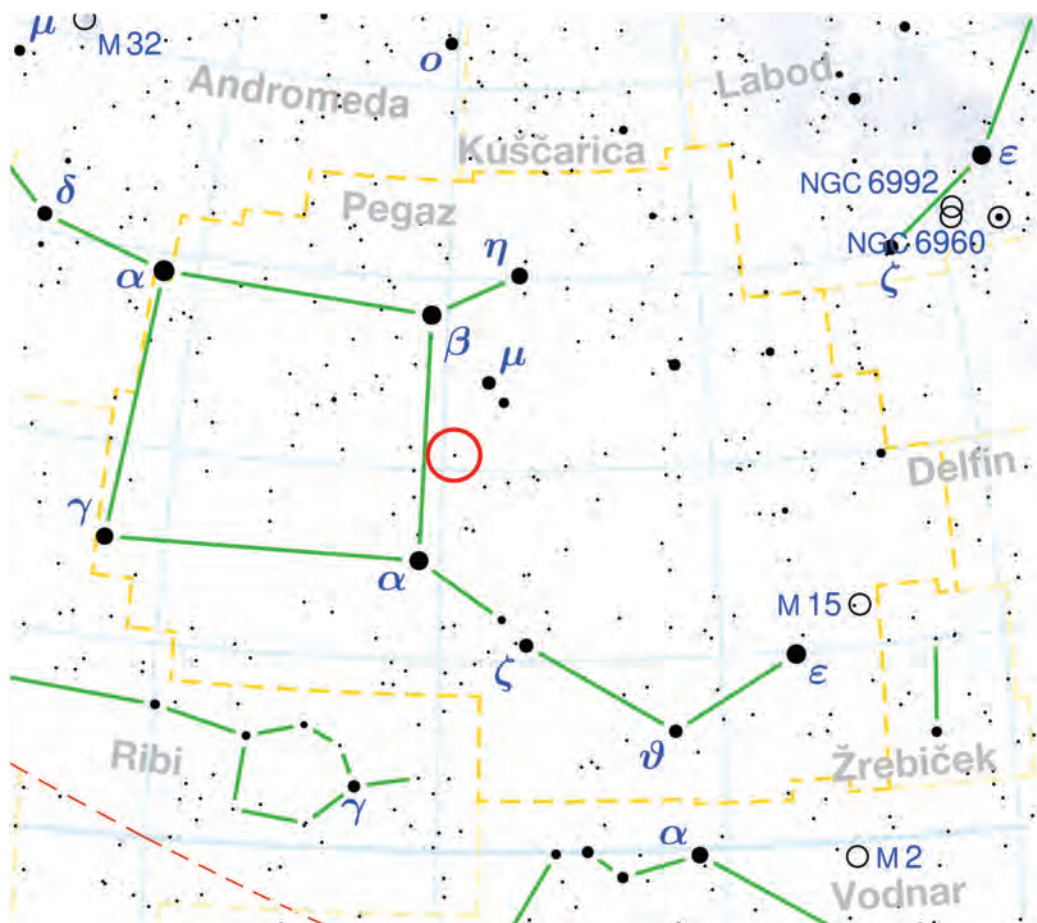
Z razvojem stabilnejših inštrumentov in izboljševanjem tehnik obdelave zajetih podatkov so sčasoma dosegli natančnost, ki je potrebna za odkrivanje planetov okoli drugih zvezd. Kot prvo so svetlobo s teleskopa v spektrograf speljali z optičnim vlaknom, ki se lahko brez škode zvija, medtem ko teleskop sledi vrtenju neba. Tako so lahko zagotovili boljšo mehansko in toplotno stabilnost spektrografa, saj je bil lahko nameščen na optični mizi v ločenem prostoru in mu ni bilo treba viseti pod teleskopom. Tak način danes rutinsko uporabljamo, primer je spektrograf, ki ga uporabljajo študentje Fakultete za matematiko in fiziko na Observatoriju na Golovcu. Kot drugo so uporabili spektrograf, ki omogoča visoko natančnost meritev radialne hitrosti. Za razliko od preprostih instrumentov, ki svetlobo razklonijo z eno samo uklonsko mrežico in tako dobijo eno samo sled svetlobe zvezde, razporejene po valovnih dolžinah svetlobe, so uporabili stopničasti spektrograf (angleško *echelle*). Ta svetlobo razkloni dvakrat: prvič z gosto mrežico, ki deluje v visokem interferenčnem redu. Tak spektrograf še ni uporaben, saj se različni interferenčni redi prekrivajo med seboj. Zato uporabimo še drugo, redkejšo mrežico, postavljeno v pravokotni smeri, ki interferenčne rede loči med seboj. Rezultat je serija nekaj deset sledi, kjer vsaka sled v visoki ločljivosti zabeleži droben interval valovnih dolžin, vse sledi skupaj pa vsebujejo podrobno informacijo o porazdelitvi svetlobe v celotni paleti vidnih in pogosto tudi bližnjih infrardečih valovnih dolžin. Tak spekter ima skupno dolžino več deset tisoč točk in zajema po več sto spektralnih črt ter tako omogoča natančno meritev njihovega Dopplerjevega premika in s tem hitrosti približevanja ali oddaljevanja zvezde.

Seveda pa moramo najprej poznati umeritev, ki položaje črt preslika v valovno dolžino

svetlobe. Pri tem koraku gredo zasluge zlasti Quelozu, ki se je kot doktorski študent lotil optimalne obdelave spektra umeritvene torij-argonove lučke. Nato je bilo treba določiti premik spektra opazovane zvezde glede na referenčnega. Mayor je že leta 1977 vodil razvoj spektroskopa CORAVEL, ki je kot prvi uporabil korelacijsko analizo, tedaj še z uporabo kovinske plošče z režami, ki so uokvirjale položaje pričakovanih zvezdnih spektralnih črt. Dosežena natančnost 300 metrov na sekundo je bila najboljša dotlej, vendar preslaba za odkrivanje planetov. Tako sta nagrajenca okrog leta 1993 zgradila naslednika, spektroskop ELODIE, ki je iz Francije lahko dosegel zvezde severnega neba. Inštrument je ohranil prvotni koncept,

ki pa sta ga nadgradila v treh točkah: kot prvo sta uporabila optična vlakna, kot drugo sta namesto s fotopomnoževalko, ki je ob premikanju kovinske plošče merila korelacijsko funkcijo, spekter zabeležila z digitalnim detektorjem CCD. Končno sta tudi samo

Z rdečim krogom označena zvezda 51 v ozvezdju Pegaza je podobna Soncu. Na razdalji 50 let potovanja svetlobe je v jesenskih večerih na meji vidnosti s prostim očesom. Leta 1995 sta Mayor in Queloz ugotovila, da okoli nje kroži planet.



korelacijo izvedla z računalniško analizo. Natančnost je bila bistveno boljša, tako da je bila napaka radialne hitrosti približevanja oziroma oddaljevanja zvezde le še 13 metrov na sekundo.

Trud se je poplačal leta 1995. Tedaj je Queloz še kot doktorski študent obdeloval opazovanja zvezde s številko 51 v ozvezdju Pegaza. Presenečen je opazil, da niz opazovanj kaže na nihanje radialne hitrosti te Soncu podobne zvezde s periodo 4,22 dneva in amplitudo 59 metrov na sekundo. Rezultate je pokazal svojemu doktorskemu mentorju Mayorju, ki je razumel pomen odkritja in 23. novembra leta 1995 sta v reviji *Nature* objavila pismo s trditvijo, da sta ob zvezdi 51 v ozvezdju Pegaza odkrila planet, ki ima vsaj pol mase našega Jupitra in ki je od zvezde oddaljen vsega 8 milijonov kilometrov. Da lahko obstajajo razmeroma masivni planeti na razdaljah od zvezde, ki so manjše od oddaljenosti našega Merkurja od Sonca, ni pričakoval nihče. Odkritje je sprožilo živahno dopisovanje, ko smo vsak teden brali revijo *Nature* in prerekanja, ali gre za odkritje planeta ali pa le za nihanja zvezde same. Po nekaj izmenjavah argumentov in protargumentov je znanstvena srenja prišla do soglasja. Planet ob zvezdi 51 v ozvezdju Pegaza je bil prvi odkriti planet druge Soncu podobne zvezde. Sedaj je za ta mejnik prišla tudi nagrada Nobelovega odbora.

Kot je to pogosto, imajo odkritja svojo predzgodovino in epilog. Že leta 1989 je David Latham, ki ga poznam s poletne šole Vatikanskega observatorija, domneval, da je odkril podoben planet, vendar je bila natančnost za dokončno potrditev preslaba (kasneje se je pokazalo, da je planet zares tam). Nato sta leta 1992 Wolszczan in Frail odkrila dva planeta Zemljine velikosti, ki pa krožita okoli radijsko aktivnega pulzarja, to je izjemno goste nevtronske zvezde, in zato nista nič kaj podobna planetom našega Osončja. Pomen odkritja, nagrajenega z Nobelovo nagrado, je, da je sprožil plaz. Nagrajenca sta botrovala še natančnejšim inštrumentom,

kot sta CORALIE in HARPS, slednji dosega natančnost, boljšo od enega metra na sekundo, in tako omogoča odkrivanje planetov, ki imajo maso mnogo manjšo od Jupitra in bolj podobno Zemlji. Do danes so s tehniko meritev radialnih hitrosti odkrili že 862 planetov, med avtorji odkritij sta zelo pogosto tudi nagrajenca. Sedaj tudi vemo, da ima vsaka druga ali tretja zvezda ob sebi planet Zemljine velikosti. Skupaj poznamo 4.122 planetov okoli drugih zvezd. Večino jih je odkril Nasin satelit *Kepler*, ki je opazoval skromno periodično potemnitev opazovane zvezde, kadar se planet znajde pred njo. Seznam planetov drugih zvezd, ki ga najdemo na spletnem naslovu *exoplanet.eu*, se stalno daljša. In karavana gre dalje, čez dve leti lahko pričakujemo objavo odkritja več kot tisoč planetov, ki jih preko pentljestega gibanja zvezd na nebu odkriva satelit *Gaia* Evropske vesoljske agencije. V vesolju trenutno planete odkriva tudi *Keplerjev* naslednik, satelit *TESS*. Čez pet let bo začel z delom ogromni 39-metrski teleskop ELT v Čilu, ki bo omogočal rutinsko preučevanje sestave ozračja odkritih planetov.

Zemlja torej postaja vedno bolj običajen svet, kljub vsemu pa je za nas edinstven, saj je do prvega primerljivega preprosto predaleč. Torej se ob množici planetov in vedno boljšemu razumevanju nastanka in razvoja vesolja tudi vse bolj zavedamo, kako nujno se je takoj lotiti reševanja podnebne krize, ki jo povzročamo na naši in za nas edini Zemlji.