



Najnatančnejši vesoljski meter

Kje so naše ladje

Evropska vesoljska agencija prižgala zeleno luč za merjenje gravitacijskih valov v vesolju

Načeloma za natančnejše meritve potrebujemo boljše instrumente, ki so kompleksnejši in obsežnejši, nemalokrat tudi preprosto večji. Observatorij Ligo, ki meri gravitacijske valove, sestavlja interferometra v zveznih državah Washington in Louisiana, v katerih sta pravokotna štiri kilometre dolga kraka. Lokaciji sta 3000 kilometrov narazen, torej zaznata gravitacijske valove, ki se širijo s svetlobno hitrostjo, z razliko kvečjemu stotinko sekunde. To je zadoščalo za potrditev njihovega obstoja pred osmimi leti, a želeli bi si boljše ločljivost, ki bo omogočila opazovanje več vesoljskih dogodkov. Želeli bi gledati z več metodami.

MATEJ HUŠ

Gravitacijski valovi namreč nastajajo, ko masivni predmeti v vesolju pospešujejo. Zaradi omejitve detektorjev smo doslej zaznavali le največje tovrstne dogodke, ki so povezani s trki okostij zelo masivnih zvezd. Običajno so bili to trki črnih lukenj, redkeje pa nevtronskih zvezd ali njihove kombinacije. Čeprav je vidno vesolje z 10^{22} do 10^{24} zvezdami ogromno, trkov črnih lukenj ali nevtronskih zvezd vendarle ni tako zelo veliko. Doslej so v observatorijih Ligo, evropskem Virgo in japonskem Kagra zaznali približno sto dogodkov, ki so bili vsi podobnega tipa. Gre za hitre, masivne, energetske dogodke, nekakšne kozmične prometne nesreče.

Lani pa so raziskovalci iz Severnoameriškega nanoherčnega observatorija (Nanograv) odkrili še gravitacijske valove nizkih frekvenc, kar so poetično poimenovali mrmranje vesolja. Te povzročajo črne luknje ali nevtronske zvezde, ko dve krožita druga okoli druge, še preden trčita in se zlijeja. Ko se približujeta, se frekvenca gravitacijskih valov povečuje, nato pa ob trku zaznamo že prej odkrite visokofrekvenčne gravitacijske valove. Teh kroženj bomo opazili več preprosto zato, ker trajajo milijone let, preden se zgodi hiter trk.

Mrmranje pa je prešibko, da bi ga Ligo, Virgo ali Kagra lahko za-

znali. Zato Nanograv deluje povsem drugače, saj je njegov detektor celotna galaksija. S teleskopi Green Bank v Zahodni Virginiji, Very Large Array v Novi Mehiki in Arecibo v Portoriku so opazovali 68 pulzarjev, kakor imenujemo hitro vrteče se nevtronske zvezde, ki v predvidljivem ritmu oddajo svetlobne pulze. Ti so lahko zelo hitri, tudi več kot stokrat na sekundo. To utripanje, ki ga lahko vidimo z Zemlje, gravitacijski valovi nekoliko popačijo, kar opazimo. Nanograv torej kot detektorje uporablja ostanke zvezde, ki so posejani po celotni galaksiji. Platno nenadoma niso več kontinentalne ZDA, temveč Rimska cesta. Podobno delujejo tudi avstralski, evropski in indijski projekti, ki vsi skupaj tvorijo mednarodni projekt IPTA (International Pulsar Timing Array).

Med Zemljo in galaksijo

Včasih je Ligo premajhen, Nanograv pa prevelik. Srednjo pot bo predstavljal projekt Lisa (Laser Interferometer Space Antenna), katerega izvedbo je Evropska vesoljska agencija (Esa) nedavno dokončno potrdila. Gradnja se bo začela januarja prihodnje leto, konzorcij pa sestavljajo Esa, Nasa in posamezne evropske nacionalne vesoljske agencije. Konceptualno gre za enak način merjenja gravitacijskih valov kakor pri Ligu ali Virgu, vendar v precej večjem merilu, saj bo Lisa v vesolju. To pa prinaša svojevrstne prednosti, a tudi inženirske izzive.

Interferometri v zemeljskih detektorjih so veliki nekaj kilometrov in so nekaj tisoč kilometrov narazen, kar omogoča zaznavanje gravitacijskih valov s frekvencami od nekaj deset do nekaj sto hercev. Lisa bo proučevala spekter valov s frekvencami nekaj milihercov. Detektorji bodo namreč dovolj oddaljeni, da bodo gravitacijski valovi med njimi potovali približno osem sekund.

Lisa bodo sestavljali trije sateliti, ki bodo v trikotniški postavitvi medsebojno oddaljeni 2,5 milijona kilometrov, od Zemlje pa približno 50 milijonov kilometrov. Vsak satelit vsebuje dva teleskopa, dva laserja in dve referenčni masi

(dva kilograma težki kocki iz zlata in paladija s stranico 4,6 centimetra), ki so paroma usmerjeni proti drugim satelitoma. Sateliti so oblikovani tako, da so komponente v notranjosti zaščitene pred vplivi okolice in sledijo le gravitacijskemu privlaku.

Posamezni satelit bo krožil okrog Sonca po svoji Keplerjevi orbiti, tako da bodo obdržali medsebojno konfiguracijo za 60 stopinj nagnjenega trikotnika glede na ekvator. To seveda ne pomeni, da bodo ves čas vzdrževali popolnoma enako razdaljo med zlatimi kockami, saj bo ta nihala za več tisoč kilometrov, a predvidljivo. Same meritve absolutne razdalje bodo natančne na nekaj centimetrov, nihanja v posamezni uri pa na pikometre (bilijoninka metra), kar bo zadoščalo za zaznavanje motenj v sicer pravilnem spreminjanju razdalje. Te bodo lahko posledica gravitacijskih valov in tako jih bomo zaznali.

Kdaj torej Lisa

Čeprav je Lisa potrjena in se bo gradnja začela prihodnje leto, ko bo na javnem razpisu izbran izvajalec, pa bomo morali do meritev še precej počakati. Esa pričakuje, da bodo vse tri satelite na raketah ariane 6 izstrelili leta 2035. To je sicer dve leti prej, kot so predvidevali predlani. Sateliti bodo nato nekaj mesecev potovali do končnih položajev, sledila pa bosta še utirjanje in vzpostavljanje končne konfiguracije. In če bo šlo vse po načrtih, bomo na prelomu naslednjega desetletja, v letih 2039 in 2040, že imeli resne izsledke meritev. Prve simulacije kažejo, da bo Lisa zaznavala gravitacijske valove iz več milijonov neodvisnih virov, izmed katerih jih bodo lahko identificirali več deset tisoč, ki bodo izvirali iz naše galaksije.

Lisa bo podatke na Zemljo pošiljala osem ur na dan s hitrostjo 150 kilobitov na sekundo, kar je bila hitrost domačih internetnih povezav pred dvema desetletjema. Vseeno se bo na dan nabralo približno 4 gigabajtov podatkov, ki jih bodo obdelali na Zemlji.

Nekega dne bo Lisa tudi zasp-

la. Vesoljske agencije so znane po skrajno konservativnih ocenah življenjske dobe misij. Lisa bo zmogla štiri leta z možnostjo podaljšanja do šestih let, ocenjuje Esa. Kasnejše delovanje je negotovo, ker se instrumenti obrabijo, ker zmanjka goriva za minimalne popravke orbite in ker se lahko pojavijo težave v komunikaciji z Zemljo. V nekaj letih bo torej Lisa skušala odgovoriti na vprašanja, ki so bila za Ligo pretežka – denimo, kako so v središčih galaksij nastale črne luknje in kako se v naši galaksiji zvezde rojevajo in umirajo.

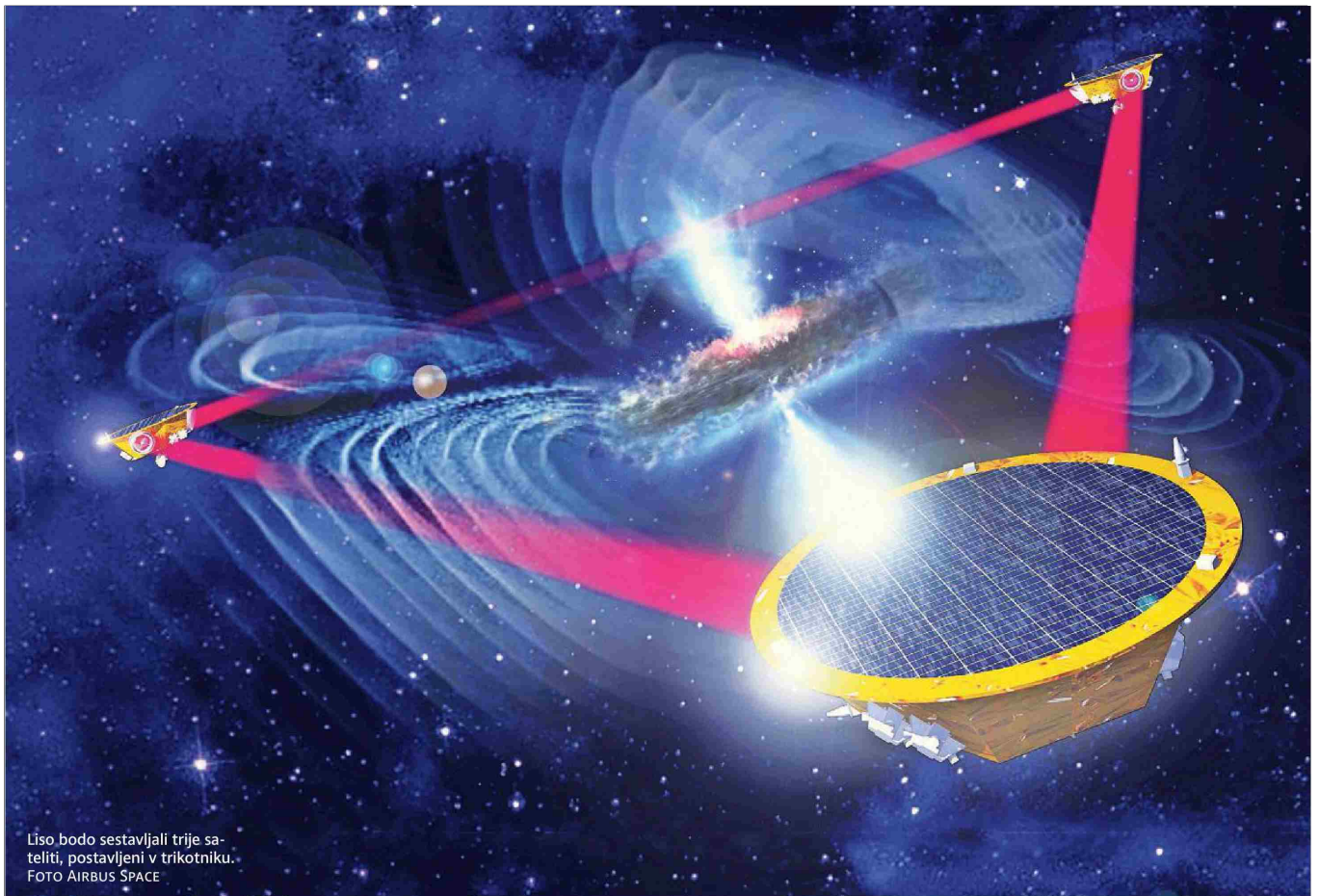
*Dr. Matej Huš je višji znanstveni sodelavec na **Kemijskem inštitutu** in Zavodu za varstvo kulturne dediščine Slovenije.*

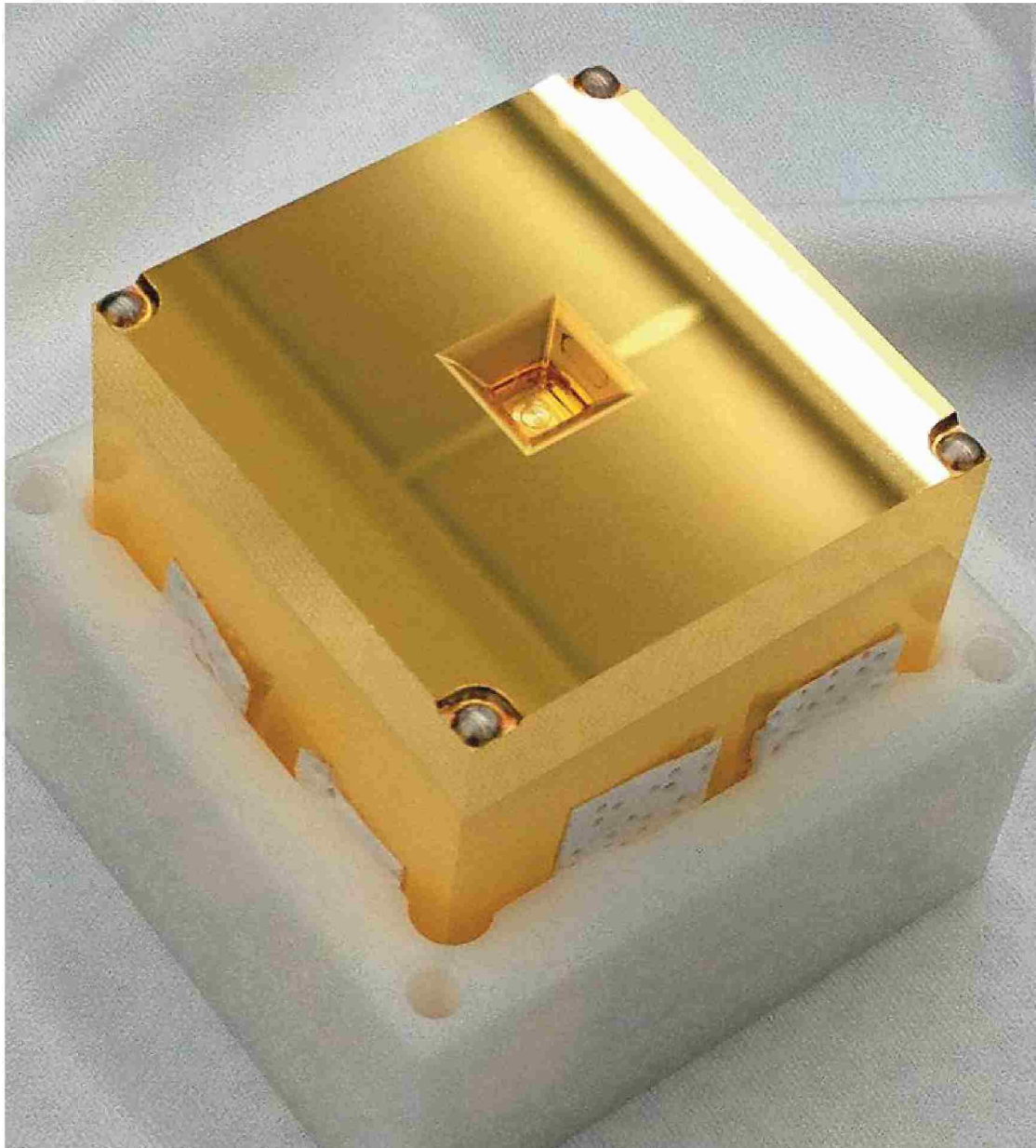
TEHNOLOGIJA DELUJE

Natančno merjenje razdalj z interferometri ni dodobra preizkušeno le na Zemlji, temveč tudi v vesolju. Esa je leta 2015 izstrelila misijo Lisa Pathfinder, ki je od marca 2016 do julija 2017 preverjala izvedljivost. Rezultati so bili navdušujoči, saj so bile meritve skoraj stokrat natančnejše od potreb za misijo Lisa. Lisa Pathfinder je v orbito ponesla dve referenčni masi, ki sta bili v prostem padu daleč od Zemlje, nato pa so z interferometri izmerili razdaljo med njima z natančnostjo 0,01 nanometra. Misija je bila pomanjšana verzija prave misije, tako da je bila razdalja interferometra namesto 2,5 milijona kilometrov le 40 centimetrov.

KAJ JE INTERFEROMETER

Za zelo natančno merjenje razdalj uporabljamo optične interferometre, ki delujejo na istem principu kot Michelsonov interferometer s konca 19. stoletja. Svetlobni snop razcepijo na dva kraka, ju pošljejo vsakega v svojo smer, nato pa se odbijeta od zrcal in vrneta do detektorja na izhodišču. Če je razdalja, ki jo prepotujeta, stabilna in vnaprej določena, se bosta na izhodišču ravno izničila. Ker se srečata vrh in dolina, pravimo, da destruktivno interferirata. Če pa gravitacijski val katero izmed razdalj raztegne ali skrči, žarka ne bosta več priletela v fazi, da bi se izničila. Lisa tehnologijo nadgrajuje s TDI (časovno zakasnjena interferometrija), ki je bila razvita konec minulega tisočletja in omogoča delovanje tudi s krakoma, ki nista enako dolga, saj vsako razdaljo z laserji meri posamič in sproti primerja. Zaradi razdalje 2,5 milijona kilometrov klasično merjenje odbitega snopa ni možno, saj se toliko razprši, da se komaj kaj odbite svetlobe vrne do detektorja. Od 1 W bi se vrnila manj kot milijardinka (720 pW), kar pomeni en foton vsake tri dni. Meritve so zato bolj podobne radarskemu sledenju plovila.





To je kocka iz zlitine zlata in platine, ki predstavlja referenčno maso. Stranice kocke so dolge 4,6 centimetra, njena masa pa je 1,96 kilograma. Gravitacijske valove bo mogoče odkriti, ko se bodo spreminjale razdalje med kockami v različnih vesoljskih plovilih. FOTO ESA