

Potruga za egzoplanetima uz Nobelovu nagradu za fiziku u 2019. godini

Vibor Jelić¹

Nobelova nagrada za fiziku u 2019. godini je dodijeljena za “doprinos našem razumijevanju evolucije svemira i razumijevanju položaja Zemlje u svemiru”. Dobitnici Nobelove nagrade su James Peebles, kozmolog sa Sveučilišta Princeton, te Michel Mayor i Didier Queloz, astrofizičari sa Sveučilišta u Ženevi. U prošlom broju MFL-a predstavljena je prva polovina nagrade vezana za teorijska otkrića Jamesa Peeblesa u fizikalnoj kozmologiji, dok ćemo se u ovom broju posvetiti drugoj polovini nagrade vezane za prvo otkriće egzoplaneta u orbiti oko zvijezde slične Suncu te potrazi za životom u svemiru.

Otkriće prvih egzoplaneta

Procjenjuje se da u našoj galaksiji, Mliječnoj stazi, ima oko 100–400 milijardi zvijezda te oko 100 milijardi planeta, koje nazivamo egzoplanetima jer nisu sastavni dio Sunčevog sustava, već kruže oko drugih zvijezda u našoj galaksiji. Astrofizičari su ih do sada otkrili tek oko 4100. Iako je broj do sada otkrivenih egzoplaneta zanemarivo mali u odnosu na ukupan broj, radi se o velikom postignuću današnje znanosti. Naime, egzoplanete je jako teško otkriti jer ih rijetko kada možemo direktno promatrati. Većinom ih otkrivamo indirektno, mjereći promjene vezane za matičnu zvijezdu uzrokovane kruženjem planeta.

Prva dva egzoplaneta su otkrivena 1992. godine nakon što su astrofizičari Aleksander Wolszczan i Dale Frail shvatili da su nepravilnosti u pulsaciji radiozračenja pulsara PSR 1257+ 12, udaljenog 2300 svjetlosnih godina od nas, uzrokovane kruženjem barem dva planeta oko pulsara. Naime, pulsari su brzo rotirajuće neutronske zvijezde², s masama nešto većim od Sunca i polumjerima oko deset kilometara. Zbog kompaktnosti, pulsare okružuje jako magnetsko polje koje se vrti zajedno s pulsarom te stvara električno polje koje zatim ubrzava nabijene čestice na površini pulsara. Ubrzani protoni i elektroni gibaju se duž silnica magnetskog polja te zrače elektromagnetsko zračenje od radiovalova do gama zraka. Snop emitiranog zračenja dolazi iz smjera magnetskih polova pulsara, a vidljiv je samo kada je okrenut prema Zemlji. Kako se pulsari izuzetno brzo vrtu, s periodima vrtnje između tisućinke sekunde i desetak sekundi, snop zračenja se isto vrti te mi detektiramo vrlo kratke pulseve zračenja, slično kao svjetionik promatran s velike udaljenosti. Zbog relativno stabilne vrtnje samog pulsara i relativno stabilnog položaja magnetskih polova u odnosu na os rotacije pulsara, promatrani pulsevi su većinom pravilni. Ipak, rotacija pulsara može postati nestabilna u slučaju promjena unutar samog pulsara ili gravitacijskog međudjelovanja pulsara s tijelima u njegovoj blizini, na primjer, kruženje jednog ili više planeta kao u slučaju pulsara PSR 1257+ 12.

Za promatranje pulsara, već spomenuti poljski astrofizičar Wolszczan, koristio je radioteleskop Arecibo u Portoriku, radioteleskop s tada najvećim reflektorom sferičnog

¹ Vibor Jelić je voditelj Laboratorija za astročestičnu fiziku i astrofiziku na Institutu Ruđera Boškovića u Zagrebu; e-pošta: vibor@irb.hr

² https://en.wikipedia.org/wiki/Neutron_star

oblika i promjera 305 metara (slika 1). Da bi se izgradio ovako veliki reflektor iskorištena je lokalna konfiguracija terena oblika zdjele u gorskom području Portorika. U fokus sferičnog reflektora postavljeni su radioprijemnici, tj. radioantene osjetljive na zračenje valnih duljina između 3 cm i 1 m, što odgovara radiovalovima frekvencija od 10 GHz pa do 300 MHz. Pulsirajući radiovalovi s milisekundnog pulsara PSR 1257+ 12 promatrani su kroz 486 dana na 430 MHz i 1.4 GHz. Analizom mjerenja je ustanovljeno da postoje kvaziperiodične nepravilnosti u pulsaciji od 66.6 i 98.2 dana, povezane s periodima rotacije egzoplaneta masa 4.3 i 3.9 mase Zemlje oko pulsara. Daljnja mjerenja su pokazala da ipak postoji i treći egzoplanet, koji kruži još bliže pulsaru od prethodna dva te ima masu nešto manju od dvije mase zemljinog Mjeseca.



Slika 1. Radioteleskop Arecibo u Portoriku.

Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Arecibo_Observatory

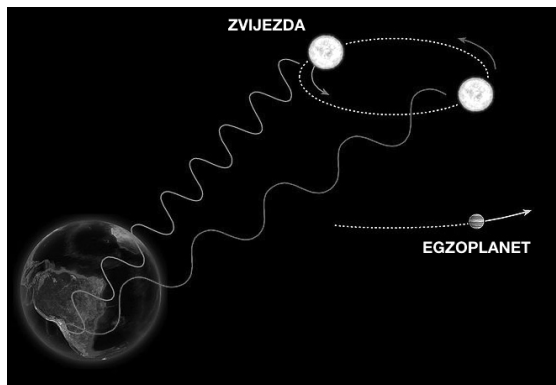
Po objavi ovih otkrića u 90-tim godinama prošlog stoljeća većina astrofizičara je bila skeptična. Nisu očekivali postojanje planeta oko pulsara već oko “standardnih zvijezda”, tzv. zvijezda glavnoga niza na Hertzsprung-Russellovom dijagramu³. Danas znamo da su planetarni sustavi oko pulsara jako rijetki te uz pulsar PSR 1257+ 12 znamo još samo tri pulsara koji imaju planete. Razlog je taj što je za nastanak planetarnih sustava oko pulsara najvjerojatnije potreban početni dvojni sustav bijelih patuljka koji spiralno padaju jedan prema drugome i u konačnici stvore pulsar s diskom materijala oko njega iz kojeg se mogu razviti planeti. S obzirom na to da takvih sustava ima zanemarivo malo u odnosu na broj zvijezda glavnoga niza, potraga za egzoplanetima se ipak nastavila u drugome smjeru.

Otkriće prvog egzoplaneta oko zvijezde slične Suncu

U isto vrijeme kada su otkriveni prvi planeti oko pulsara bilo je nekoliko promatračkih kampanja čiji je cilj bio otkriti prvi egzoplanet koji se giba oko zvijezde glavnog niza. Pri tome su željeli koristiti metodu radijalnih brzina. Ova metoda se bazira na međusobnom gravitacijskom međudjelovanju zvijezde i planeta, koji zajedno kruže oko zajedničkog centra mase. Drugim riječima, i sama zvijezda će se pomalo gibati te će njezin spektar, zračenje zvijezde razloženo na različite valne duljine, promatran sa Zemlje biti pomaknut ili prema crvenom ili prema plavom dijelu elektromagnetskog spektra (tzv. Dopplerov pomak) ovisno o tome giba li se zvijezda u danom trenutku od nas ili prema nama (tj. ima li radijalnu brzinu usmjerenu od nas ili prema nama, slika 2). Izazov ove metode je taj da je potrebno izmjeriti relativno male spektralne pomake koji ovise o masi planeta i

³ <http://eskola.zvezdarnica.hr/osnove-astronomije/zvijezde-i-zvezdani-sustavi/temeljne-osobitosti-zvijezda/h-r-dijagram-i-temeljne-osobitosti-zvijezda/>

zvijezde, blizini putanje planeta u odnosu na zvijezdu te nagibu same ravnine gibanja u odnosu na promatrača. Na primjer, Jupiter uzrokuje radijalnu brzinu Sunca od 12 m/s, dok Zemlja uzrokuje radijalnu brzinu Sunca od samo 0.09 m/s. Iz tog razloga potrebno je naći planetarni sustav s relativno velikim planetima, npr. veličine Jupitera, koji imaju putanje čim bliže matičnoj zvijezdi.



Slika 2. Metoda radijalnih brzina.

Izvor: *European Southern Observatory (ESO)*

https://en.wikipedia.org/wiki/Doppler_spectroscopy

Švicarski astrofizičari Michel Mayor i Didier Queloz dali su se u 90-tima u ovakvu potragu koristeći 1.93 metarski optički teleskop u sklopu Zvezdarnice de Haute-Provence u jugoistočnom dijelu Francuske (slika 3).



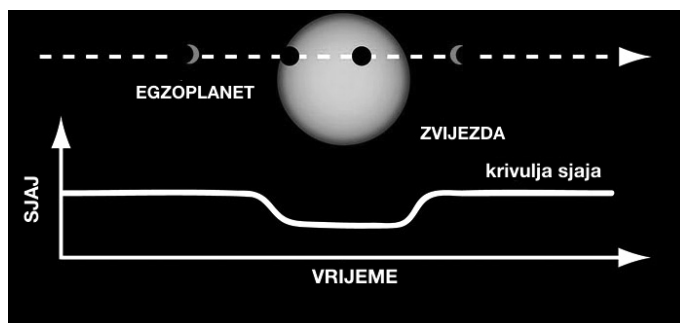
Slika 3. Zvezdarnica Haute-Provence.

Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Haute-Provence_Observatory

Uz teleskop koristili su i spektrograf ELOID s echelle rešetkom, instrument koji su sami razvili da bi mogli što bolje razlučiti spektre što većeg broja promatranih zvijezda i mjeriti njihove radijalne brzine s preciznošću od 13 m/s. Program je trebao obuhvatiti 142 zvijezde. U jesen 1994. godine uspjeli su izmjeriti prve promjene radijalne brzine. Radilo se o zvijezdi 51 Pegasi, zvijezdi sličnoj Suncu u zvijezdu Pegaza, na udaljenosti od 50 svjetlosnih godina od nas, koja pokazuje promjene radijalne brzine od 59 m/s s periodom od samo četiri dana. Ovaj je rezultat kao i u slučaju prvih egzoplaneta oko pulsara iznenadio astrofizičare. Ukazivao je na planet mase nešto manje od pola mase Jupitera koji se giba oko matične zvijezde na udaljenosti od samo 0.05 udaljenosti između Zemlje i Sunca, tj. na jednoj stotini udaljenosti između Jupitera i Sunca. Ipak, ovo otkriće je uskoro bilo potvrđeno promatranjima s drugim teleskopima te su uskoro otkriveni i egzoplaneti oko drugih zvijezda. S obzirom na to da je egzoplanet oko zvijezde 51 Pegasi bio prvi egzoplanet otkriven oko zvijezde slične Suncu, 2019. godine, Michel Mayor i Didier Queloz su dobili Nobelovu nagradu iz fizike.

Revolucija u broju otkrivenih egzoplaneta

U daljnjim godinama potraga za egzoplanetima se nastavila. Cilj je bio otkriti planete koji su po svojoj masi i veličini sličniji Zemlji. Ipak, metoda radijalnih brzina nije bila najbolja metoda za to jer su se tom metodom većinom otkrivali veći planeti. Astrofizičari su stoga primijenili metodu tranzita u potrazi za egzoplanetima. Sama metoda se bazira na vrlo jednostavnom principu, mjerenju promjene sjaja zvijezde. Ako se sjaj zvijezde periodički mijenja može se zaključiti da ispred zvijezde prolazi planet, koji zaklanja dio diska zvijezde i uzrokuje prividno smanjenje njezinog sjaja (slika 4). Iz promatrane svjetlosne krivulje može se odrediti udaljenost planeta od zvijezde i sama veličina planeta. Na primjer, što je planet veći to će zakloniti veći dio diska zvijezde dok prolazi ispred nje i izazvat će veće smanjenje sjaja zvijezde, a što je udaljeniji od zvijezde to će smanjenje sjaja biti duže. Nedostatak ove metode je taj što ravnina u kojoj planet kruži oko zvijezde mora biti paralelna sa smjerom promatranja, tj. moguće je otkriti samo planete koji prividno prolaze ispred zvijezde gledano sa Zemlje. Također, zvijezda može pokazivati promjene sjaja zbog unutarnjih procesa u samoj zvijezdi, pa otkrivanje planeta u tom slučaju može biti teže.



Slika 4. Metoda tranzita.

Izvor: NASA Ames

<https://exoplanets.nasa.gov/resources/280/light-curve-of-a-planet-transiting-its-star/>

Jedan od poznatijih planetarnih sustava otkriven metodom tranzita je sustav Trappist, otkriven u veljači 2017. godine. Radi se o planetarnom sustavu od sedam planeta koji kruže oko relativno hladne i patuljaste zvijezde koja ima samo 8 % mase Sunca čiji je radijus oko 10 puta manji od Sunčevog i udaljena je oko 40 svjetlosnih godina od nas. Čak pet planeta je slične veličine kao Zemlja, dok su preostala dva planeta nešto veća od Marsa, a manja od Zemlje. Svih sedam planeta kruži u neposrednoj blizini matične zvijezde. U usporedbi sa Sunčevim sustavom, svi planeti su puno bliže zvijezdi nego što je putanja Merkura od Sunca. Čak tri planeta se nalaze u tzv. zoni razvoja života, tj. nisu niti preblizu niti predaleko od zvijezde te bi na njima mogli postojati slični uvjeti kao na Zemlji, pogodni za razvoj života.

Pravu revoluciju u broju otkrivenih planeta metodom tranzita je napravio teleskop-satelit Kepler⁴. Radi se o teleskopu promjera gotovo 1 metar koji je lansiran u ožujku 2009. godine te je prikupljao podatke sve do studenog 2018. godine. Kroz višegodišnju misiju promatrano je oko 150 000 zvijezda glavnog niza unutar 115 kvadratnih stupnjeva neba u neposrednoj blizini zvijezda Labuda i Lire. Za usporedbu, kutni promjer punog Mjeseca na nebu je 0.5 stupnjeva, odnosno puni Mjesec zauzima oko 0.2 kvadratna stupnja na nebu. U ovom relativno malom djeliću neba promatrane su zvijezde koje su do 3000 svjetlosnih godina udaljene od nas. Za usporedbu, procjenjuje se da je promjer naše galaksije između 150 000 i 200 000 svjetlosnih godina.

Kepler je ukupno otkrio oko 2300 potvrđenih egzoplaneta, a još oko 2400 čeka dodatnu potvrdu. Većinom se radi o planetima veličine Zemlje ili nešto većim, kao planet Neptun koji je oko četiri puta veći od Zemlje. Većina ih ima kraće orbitalne periode od Zemlje, tj. orbitalni periodi su im od par dana do 200 dana. Oko 360 otkrivenih planeta se nalazi u zoni mogućeg razvoja života.

Budućnost istraživanja i potraga za životom u svemiru

Nedugo pred završetak misije Kepler, u travnju 2018. godine, lansiran je novi teleskop-satelit TESS⁵ (engl. Transiting Exoplanet Survey Satellite). Misija TESS ima za cilj, kroz dvije godine, promatrati svjetlosne krivulje svih sjajnih zvijezda u našoj neposrednoj blizini. Obuhvatit će ukupno 85 % neba te se očekuje otkriće preko 20 000 tranzitnih egzoplaneta. Iako se neće moći detektirati planeti oko udaljenijih zvijezda kao za vrijeme misije Kepler, misija TESS će otkriti veći broj (između 500 i 1000) manjih stjenovitih planeta po veličini sličnih Zemlji i po mogućnosti u zoni razvoja života. Zbog njihove relativne blizine, između 30 i 300 svjetlosnih godina od nas, moći će se napraviti dodatna detaljnija istraživanja s ciljem potrage za životom. Ipak, u međuvremenu će biti potreban zajednički rad znanstvenika iz različitih područja (npr. astrofizičara, kemičara, biologa, geologa i sl.) koji trebaju otkriti kakav točno "potpis" treba imati promatrani egzoplanet da budemo relativno sigurni da na njemu postoji određeni oblik života.

⁴ https://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/main/index.html

⁵ <https://tess.mit.edu>