

Ali obstaja življenje na eksoplanetu Maja?¹



GORAZD PLANINŠIČ IN RICK MARSHALL

→ **Astronomija in astrofizika sta zelo priljubljeni pri učencih; eksperimentalno delo, ki ga lahko učenci izvedejo v šoli, pa je žal precej omejeno. Iskanje življenja drugje v vesolju (eksobiologija) je po hitro naraščajočem številu odkritih planetov – eksoplanetov, ki krožijo okoli drugih zvezd v naši Galaksiji, v polnem zagonu. Nedavno (marca 2012) so astronomi izoblikovali tehniko za iskanje znakov življenja na eksoplanetih. Kljub temu, da eksoplaneti sami niso ločljivi kot samostojni objekti, tehnika izkorišča polarizacijske lastnosti svetlobe, ki jo seva matična zvezda in se odbija od eksoplaneta. Članek opisuje način, kako lahko dokaj enostavno to tehniko preizkusimo tudi v šolskem laboratoriju.**

Ali obstajajo planeti podobni Zemlji drugje v vesolju? Če obstajajo, potem na njih mogoče obstaja tudi življenje. Leta 1995 so poročali o odkritju prvega eksoplaneta. Do danes jih je odkritih okoli 1000. Eden od ciljev takih raziskav je najti tudi eksoplanet, na katerem obstaja življenje. Ena od metod odkrivanja planetov ponuja možnost za določanje narave snovi na planetu in s tem njegovo morebitno primernost za obstoj življenja. Lastnosti svetlobe, ki se odbije od eksoplaneta, so namreč odvisne od narave njegove površine.

Ko eksoplanet pride med zvezdo in teleskop, s katerim se izvaja opazovanje (temu pojavu pravimo

prehod planeta pred zvezdo), je mogoče zaznati majhen padec v siju matične zvezde. Ko eksoplanet ni pred zvezdo, se bo nekaj svetlobe zvezde, ki osvetljuje eksoplanet, odbilo v smeri teleskopa. Seveda s teleskopi ni mogoče neposredno razločiti eksoplaneta od zvezde. Ne samo, da je preblizu matični zvezdi, ampak se skromni sij planeta izgubi v mnogo večjem siju zvezde. Vendar pa obstaja način, kako lahko planetni sij ločimo od zvezdnega sija. Svetloba, ki se odbije od eksoplaneta, je delno polarizirana, medtem ko je svetloba zvezde nepolarizirana.

Intenziteta odbite svetlobe od različnih vrst površin se spreminja glede na vpadni kot ter je delno polarizirana. Odbita intenziteta je najmanjša pri pravokotnem vpadu na površino (vpadni kot je enak 0°). Z večanjem vpadnega kota se povečuje tudi odbita intenziteta, dokler se pri majhnih kotih ne odbije vsa svetloba (vpadni kot je enak 90°). Tako bodo različne površine na eksoplanetu, ki so usmerjene različno glede na smer svetlobe z zvezde, povzročile različno stopnjo polarizacije v odbitem planetnem siju. Ločimo npr. lahko različne kombinacije tekoče vode, kamnin in vegetacije. Metoda, o kateri bo govora v nadaljevanju, omogoča odkrivanje takšnega »biološkega prstnega odtisa« v odbiti svetlobi. Planet, na katerem je življenje mogoče, bo verjetno imel kamnito površje, delno pokrito s tekočo vodo. Metoda sloni na meritvah ločenih spektrov svetlobe, ki niha v izbranih smereh (tj. ima določeno polarizacijo). Ker gre za metodo, ki združuje meritve spektrov in meritve polarizacije svetlobe, so jo poimenovali spektropolarimetrija.

Preprosta demonstracija

Odkrivanje planetov s potencialnimi pogoji za življenje s spektropolarimetrično metodo lahko demonstriramo tudi v šoli. Glede na to, da metoda vključuje abstraktne koncepte, kot so spekter in polarizacija, je pomembno začeti s preprostimi pojavi, ki

¹Prevod članka: Gorazd Planinšič, Rick Marshall, *Is there life on exoplanet Maja? A demonstration for schools*, Physics Education 47 (2012), 584, prevedla Anja Lautar. Založnik IOP Publishing Ltd. ne odgovarja za pravilnost prevoda. ©IOP Publishing. Natisnjeno z dovoljenjem. Vse pravice pridržane.

jih dijaki in študentje lahko neposredno opazujejo. Preproste pojave nato postopoma združujemo v bolj kompleksne zamisli, ki so potrebne za razumevanje astronomskih opazovalnih tehnik. Predlog, kako to storiti, je opisan v nadaljevanju.

Vzemite motno žarnico (npr. 60 W klasično žarnico s premerom 8 cm) kot model za zvezdo ter žogo (npr. žogico iz stiropora, prebarvano na zeleno, s premerom 6 cm) kot model za planet. Vsi planeti imajo ime; mi smo naš model planeta poimenovali Maja. Modela postavite na mizo in prilagodite njuni višini tako, da sta njuni središči približno v isti ravnini (slika 2). Dijakom dajte polarizacijske filtre ter jih razporedite okrog mize. Zatamnite prostor, prižgite žarnico in prosite dijake naj pazljivo opazujejo »zvezdo« in »planet«, medtem ko vrtijo polarizacijski filter.

Opozorite jih, naj iščejo spremembe v svetlosti planeta. Opazovalci, ki stojijo približno v rdečem območju (slika 1), bodo lahko opazili spremembe v intenziteti svetlobe, ki se odbija od planeta, medtem ko drugi sprememb ne bodo opazili. Kot je prikazano na sliki 2, sprememba ni zelo velika, je pa jasno vidna. Posnetki na sliki 2 so bili narejeni s polarizacijskim filtrom, obrnjenim navpično (a) in vodoravno (b).



SLIKA 1.

Dijaki, ki stojijo približno v rdečem območju (pogled od zgoraj), bodo lahko opazili spremembe v intenziteti svetlobe, ki se odbija od zelene žoge (planeta), ko jo opazujejo skozi polarizacijski filter.

V našem primeru se je intenziteta odbite svetlobe najbolj zmanjšala, ko je bil polarizator obrnjen vodoravno (slika 2 b). V tem primeru je bil eksoplanet še vedno viden, kar kaže na to, da je svetloba, ki se odbija od njega, le delno polarizirana. Majhne razlike v intenziteti so bolj izrazite, če obe sliki med seboj odštejemo (slika 2 c). Za dobre meritve morata biti sliki zajeti z natanko istega položaja. V ta namen smo uporabili fotografsko stojalo ter samosprožilec na fotoaparatu, s čemer smo se izognili morebitnim tresljajem. Odštevanje slik se lahko naredi v skoraj vsakem programu za urejanje slik (uporabili smo brezplačni program IMAGEJ). Uporabili smo postopek imenovan »difference« (razlika). Ta postopek odšteje intenziteto vsake slikovne točke na eni sliki od iste slikovne točke na drugi sliki in rezultat poda v absolutni vrednosti razlik. Slika razlik, ki nastane kot rezultat razlike barvnih slik, ima nenavadne barve. Da se izognemo temu motečemu učinku, smo pretvorili sliko razlik v črno belo sliko, na kateri so vidne le razlike v intenziteti. Intenziteta končne slike je največja tam, kjer je oddana svetloba linearno polarizirana v navpični ali vodoravni smeri. V našem primeru je to del eksoplaneta, od katerega se je odbila svetloba. Vse površine, ki oddajajo nepolarizirano svetlobo (tako kot sredina žarnice) ali oddajajo svetlobo, polarizirano pod kotom 45° glede na navpičnico, se kažejo kot črne, ker sta na teh mestih intenziteti na obeh slikah enaki (bralec naj sam razmisli, zakaj je tako pri kotu 45° ; namig: za kot 45° velja, da je $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ$). Svetloba, razpršena na stekleni površini žarnice, je tudi delno polarizirana v smeri pravokotni na steklo. To je razlog za svetli halo okoli robov slike žarnice. Temni madeži na približno 45° so v skladu z razmislekom, ki smo ga prepustili bralcem.

Bolj realistični model za življenje primerne planeta

Dijaki bi se lahko pritožili, da so planeti kamniti in ne iz stiropora. Prav tako lahko rečejo, da nas najbolj zanimajo planeti, na katerih je voda ter mogoče celo nekaj rastlin. Ni težko narediti model takega planeta in s pomočjo zgoraj opisane metode raziskati svetlobo, ki se odbija od njegovega površja. Naš planet smo spremenili v kamniti planet tako, da smo na kroglico iz stiropora nanесли lepilo in jo posuli z drobnim peskom. Ko se je lepilo posušilo, smo na



→ kroglico pritrdili regratov list, ki predstavlja vegetacijo, ter majhen kos toaletnega papirja, prepojenega z vodo, ki predstavlja oceane, jezera in reke (slika 3 a). Planet smo posneli iz treh različnih kotov, približno 30° narazen. Iz vsakega položaja smo posneli dve fotografiji s pomočjo polarizacijskega filtra, eno z navpično in eno z vodoravno usmeritvijo polarizatorja. Slike 3 b–d prikazujejo slike razlik med pari posnetkov, narejenih iz treh različnih kotov. Slike 3 b–d so bile narejene z zmanjševanjem kota med fotoaparatom, planetom in zvezdo od približno 90° do 30°.

Opazimo, da je pesek videti približno enako temen na vseh slikah, kar kaže na to, da odboj od pe-skaste površine komajda vpliva na polarizacijo svetlobe (nepolarizirana svetloba ostane taka tudi po odboju). Regratov list predstavlja najsvetlejšo območje na vseh slikah in kaže na to, da je stopnja polarizacije svetlobe, ki se odbije od njega, precej visoka. Moker toaletni papir je svetel na sliki b, vendar bledi z zmanjševanjem kota med fotoaparatom, planetom in zvezdo. Iz tega lahko sklepamo, da je stopnja polarizacije svetlobe, ki se odbija od različnih površin, odvisna ne le od materiala ampak tudi od kota opazovanja.

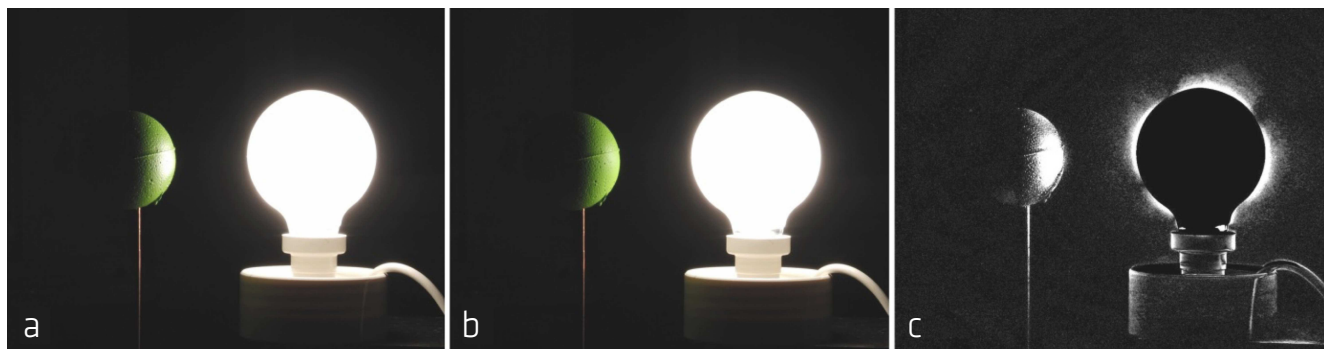
Spektropolarimetrija

Čeprav je odštevanje slik koristno astronomsko orodje, ga ni mogoče uporabiti, kot je pojasnjeno v uvodu, v raziskovanju oddaljenih planetov. Zvezde

in eksoplaneti, ki krožijo okoli njih, so od nas preveč oddaljeni, da bi jih lahko ločili kot samostojne objekte. Toda čeprav ne moremo razločiti njihovih podob, lahko še vedno analiziramo sestavo svetlobe s pomočjo njenega spektra. Zamisel, ki so jo predlagali avtorji članka, objavljenega v reviji Nature (Stersik M F et al 2012 Nature 483 64–6), združuje spektrometrijo z analizo polarizacije svetlobe. Temelji na predpostavki, da je odbita svetloba delno polarizirana, svetloba, ki prihaja neposredno od zvezde, pa sploh ni polarizirana. Posnamemo lahko dva spektra, enega z vodoravno in enega z navpično usmerjenim polarizatorjem ter ju odštejemo. Če vpadna svetloba vsebuje polarizirane komponente, bi se v spektru razlik morala pojaviti neničelna vrednost. Le-ta kaže na prisotnost planeta, od katerega se je svetloba odbila. Neničelna vrednost spektra razlik načeloma vsebuje informacije o lastnostih snovi, ki se nahajajo na površju planeta.

Spektropolarimetrija v šolskem laboratoriju

Poglejmo, kako to lahko naredimo s šolsko opremo. Spektrometri za analizo svetlobe v vidni svetlobi so dostopni po razumnih cenah pri več proizvajalcih šolske opreme (mi smo uporabili Vernierjeve naprave). Običajno se za vodenje svetlobe do spektrometra uporablja optično vlakno, ki ima prečni prerez manjši od polovice kvadratnega milimetra. Izostritev slike žarnice (zvezde) in žoge (eksoplaneta) na tako majhno površino bi v učilnici bilo težko doseči. Tudi



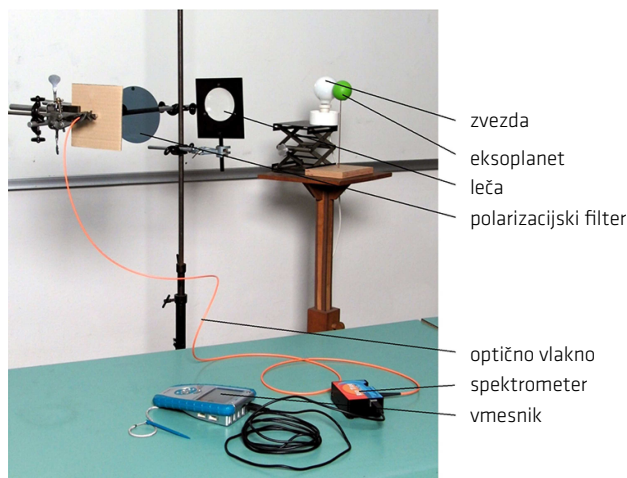
SLIKA 2.

Posnetek žarnice (zvezda) in žoge (planet) z uporabo dveh usmeritev polarizacijskega filtra: (a) navpična in (b) vodoravna usmeritev. Slika (c) je rezultat razlike med slikama (a) in (b). Zaradi jasnosti je pretvorjena v črno belo sliko.

če bi nam uspelo, bi takšno fokusiranje bilo podvrženo več napakam med merjenjem. Zato je bolje poskus izvesti na preprostejši način, ki še vedno vodi do istega končnega rezultata.

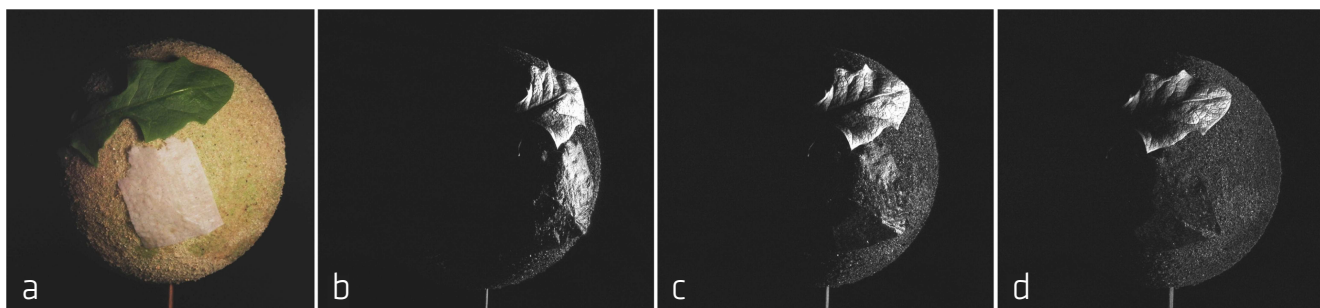
Žarnico (zvezda) in žogo iz stiropora (eksoplanet) lahko projiciramo na zaslon s pomočjo zbiralnih leč (npr. z lečo z goriščno razdaljo 27 cm). Postopek je sledeč. Iz belega kartona izrežite zaslon in v njem naredite majhno luknjo. Nato skozi luknjo porinite optično vlakno in ga pritrдите s pomočjo prižeme. S pomočjo druge prižeme pritrдите polarizacijski filter med optično vlakno in lečo. Vse tri elemente pritrдите na stojalo, kot je prikazano na sliki 4. S premikanjem stojala ali posameznega elementa bi morali na zaslonu, na mestu kjer je optično vlakno, dobiti sliko žarnice ali sliko žoge. Z zasukom polarizacijskega filtra za 90° lahko ločeno posnamemo spekter svetlobe, ki jo oddaja žarnica, in spekter svetlobe, ki se odbije od žoge za obe usmeritvi polarizatorja. Rezultati so prikazani na slikah 5 a in b.

Meritve kažejo, da svetloba iz središča žarnice ni polarizirana, da je svetloba odbita od žogice delno polarizirana in da ima svetloba odbita od žogice največjo intenziteto v območju zelene barve. Seveda takih spektrov ne moremo dobiti z opazovanjem dejanskih eksoplanetov, saj njihove podobe ne moremo ločiti. Vendar pa z analizo teh spektrov lahko dobimo informacijo, kakšen spekter pričakujemo pri opazovanju eksoplanetov. Vse, kar moramo narediti, je sešteti spekter žarnice in spekter svetlobe odbite od žoge, za vsako usmeritev polarizatorja posebej (slika 6 a).



SLIKA 4.
Preprosta postavitev šolske spektropolarimetrije.

Spekter, ki ustreza primeru zvezde brez planeta, je spekter same žarnice, prikazan na sliki 5 a. Kakršnakoli razlika med spektroma na slikah 5 a in 6 a je rezultat prisotnosti svetlobe, odbite od modela eksoplaneta. Razlike postanejo veliko bolj izrazite, če isto vrsto spektrov, ki ustrezajo dvema različnima polarizacijama, med seboj odštejemo (slika 6 b). Spekter razlike svetlobe same žarnice predstavlja bela krivulja. Če bi svetloba žarnice bila popolnoma nepolarizirana in če bi oprema bila brezhibna, bi ta spekter moral imeti ničelno vrednost pri vseh valovnih dolžinah. Zelena krivulja prikazuje spekter razlike, pri katerem je svetloba žarnice kombinirana



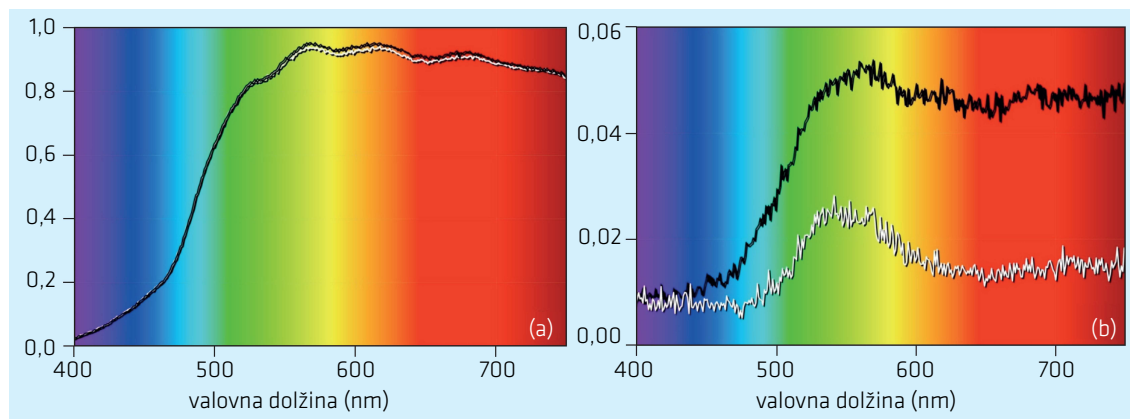
SLIKA 3.
(a) Planet Maja s kamnitim površjem (drobni pesek), vegetacijo (regratov list) in oceani (kos mokrega toaletnega papirja); (b)–(d) Slike razlik, narejene pri treh različnih kotih.



→ s svetlobo, odbito od žoge. Neničelna komponenta tega spektra je jasno vidna in kaže na prisotnost polarizirane svetlobe. Intenziteta določene valovne dolžine v takem spektru je odvisna od stopnje polarizacije, smeri polarizacije in intenzitete svetlobe pri tej valovni dolžini. Zato je interpretacija takega spektra zapletena naloga.

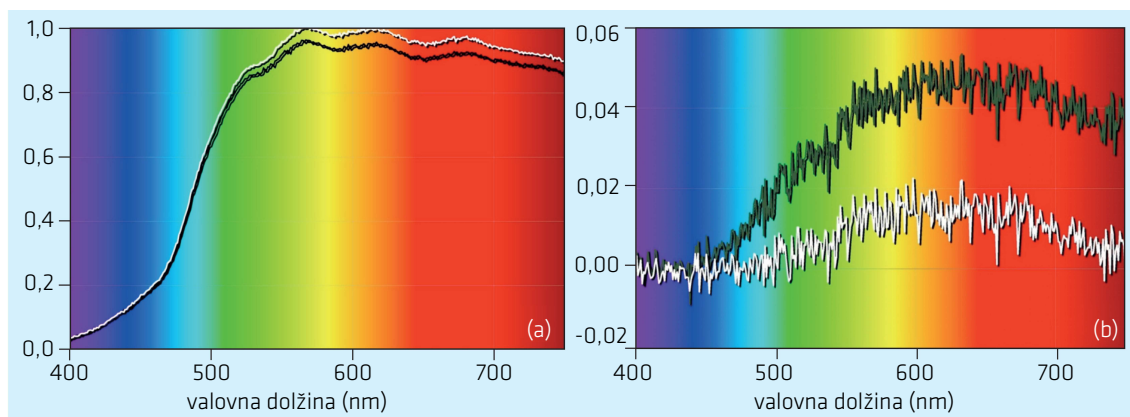
Kaj smo se iz teh poskusov naučili? Da je spektropolarimetrija uporabna pri odkrivanju sledi od-

bite svetlobe znotraj močne svetlobe, ki jo oddaja oddaljen izvor in da lahko z analizo takšne svetlobe izvemo nekaj o naravi predmetov od katerih se svetloba odbija. Metodo so astronomi preizkusili z opazovanjem svetlobe, ki se najprej odbije od Zemlje, nato pa od Lune in spet pride nazaj na Zemljo. Metoda se je pokazala kot dober način za opazovanje planetov zunaj Osončja, ki je morda primerna tudi za odkrivanje življenja na eksoplanetih.



SLIKA 5.

Spektra dveh delov slike: (a) spekter žarnice in (b) spekter svetlobe, odbite od žoge iz stiropora. Spektra, ki ustrezata navpično in vodoravno usmerjenemu polarizatorju, sta prikazana z belo in črno krivuljo.



SLIKA 6.

(a) Kombinirani spekter svetlobe žarnice in svetlobe, odbite od žoge iz stiropora (spektra, ki ustrezata navpično in vodoravno usmerjenem polarizatorju, sta prikazana z belo in črno krivuljo). (b) Razlika med spektroma iste svetlobe, pridobljenima s pomočjo pravokotno usmerjenima polarizacijskima filtroma: zelena krivulja prikazuje razliko med spektroma na sliki 5(a), bela krivulja med spektroma na sliki 5(b).

× × ×