

polic (terasi) pod Hleviškimi planinami in Slaniškim grebenom (ki se pnete med Idrijco in Nikovo) nad samim robom Krajskega parka Zgornja Idrijca na nadmorski višini od 640 do 900 metrov. Večina hiš je razloženih ob glavni cesti, ki jih povezuje z Idrijo. Število prebivalcev (144) nekoliko narašča. Včasih so se ukvarjali s kmetijstvom in gozdarstvom ter hodili na delo v rudnik živega srebra, zdaj komaj še kdo živi od zemlje in gozda, vozijo se na delo, večinoma v Idrijo. Nad vasjo se od leta 2000 na slikovitem pomolu beli cerkva Svetogorske Marije. Tod mimo je včasih peljala romarska pot na Sveto goro.

Očitno so tukajšnja osončena pobočja odprta submediteranskim vplivom iz Vipavske doline in podobno kot v pod njimi ležečem Strugu nad dolino Idrijce na njih lahko uspevajo tudi nekatere bolj toploljubne rastline.

Literatura:

Dolinar, B., 2015: *Kukavičevke v Sloveniji. Podsmreka: Pipinova knjiga*. 183 str.

Gantar, T., 2013: *Kjer se nebo odpre – Čekovnik. Idrijske novice*, 5. 7. 2013.

Pintar, L., Wraber, T., 1990: *Rože na Slovenskem*.

Ljubljana: DZS. 176 str.

Terpin, R., 2005: *Kukavičevke na Idrijskem. Idrijski razgledi*, 50 (1): 132–147.

Interferometri

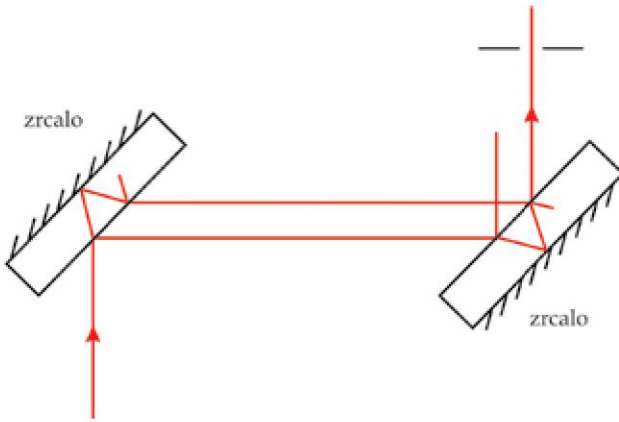
Janez Strnad

V Mednarodnem letu svetlobe obudimo spomin na to, kako so fiziki uvajali nove merilne načine s svetlobo. Po *Interferenci in uklonu* je smiselno obdelati *interferometre*, ki izkoriščajo interferenco in jih na široko uporabljajo. Opis nadaljuje *Malo zgodovino svetlobe*.

Interferometri so naprave, v katerih elektromagnetno valovanje (ali zvok) razstavijo na delna valovanja, ki jih vodijo po različnih poteh, in nato sestavijo. Iz interferenčne slike, ki jo dobijo, izluščijo merski rezultat. Nekateri rezultati so zelo natančni. Interferometre uporabljajo v različnih vejah fizike, od oceanografije, seizmologije, raziskovanja površin, napetosti v trdninah in snovnih tokov v tekočinah in plinih do merjenja valovnih dolžin in hitrosti ter v astronomiji in tudi v industriji. Poznamo veliko različnih vrst interferometrov v različnih izvedbah. Opišimo osnove delovanja nekaterih značilnih primerov. Pri tem poskušamo slediti razvoju.

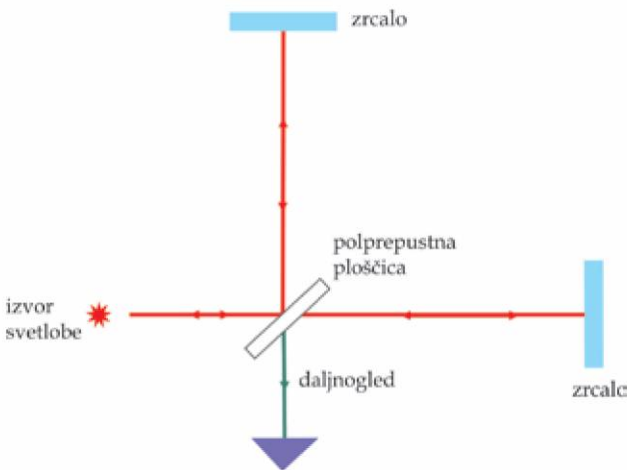
Že leta 1816 je Augustin Fresnel s sodelavcem izmeril razliko lomnega količnika suhega in vlažnega zraka. S svetlobo iz izvira sta osvetlila majhno odprtino v zaslonu v goriščni ravnini zbiralne leče. Dobila sta širši curek, ki sta ga del vodila skozi celico s suhim zrakom, drugi del pa skozi enako celico z vlažnim zrakom. Z drugo lečo sta zbrala delna curka v njeni goriščni ravnini in opazovala interferenčno sliko. Po njej sta ugotovila razliko lomnih količnikov. (Ime interferometer so uvedli precej pozneje.)

Hippolyte Fizeau je veliko prispeval k razvoju optike. Leta 1851 je z interferometrom izmeril hitrost svetlobe v gibajoči se vodi. Vodo je speljal skozi vzporedni cevi v nasprotnih smereh. V prvi cevi je delni curek potoval v smeri toka, v drugi pa drugi delni curek v nasprotni smeri. Ko je večal hitrost vode, se je premaknila interferenčna slika. Z merjenjem je podprl Fresnelovo napoved, da je hitrost svetlobe v snovi, ki se giblje s hitrostjo u , enaka hitrosti v mirujoči



Poenostavljena risba Jaminovega interferometra.

Vse slike so posnete po Wikipedii.



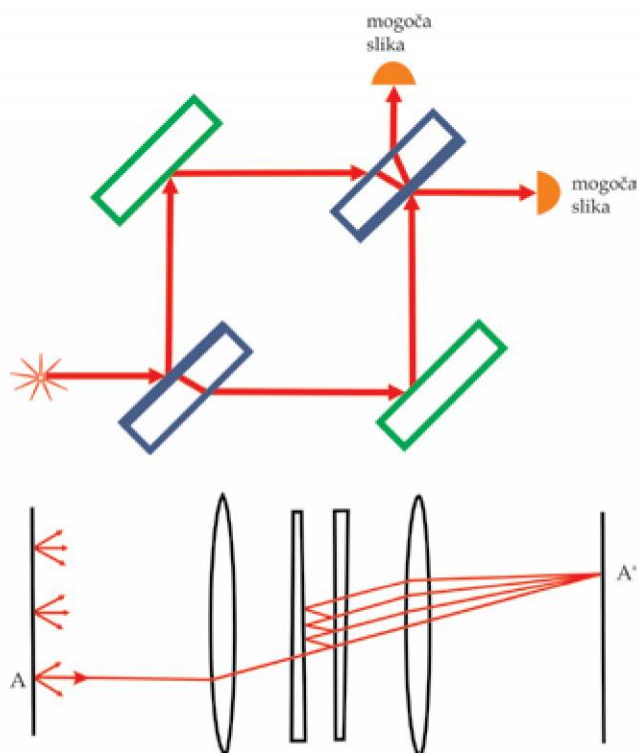
Poenostavljena risba Michelsonovega interferometra.

snovi z dodatkom člena $(1-1/n^2)v$, v katerem je n lomni količnik.

Leta 1856 je Jules Celestin Jamin sestavil *Jaminov interferometer* iz dveh debelih steklenih plošč, ki sta bili na eni strani posrebreni. Z odbojem svetlobe na eni in drugi meji prve plošče sta nastala vzporedna delna curka, ki sta se po odboju na drugi vzporedni plošči sestavila. Delna curka sta bila tem bolj razmaknjena, čim debelejši sta bili plošči. Z Jaminovim interferometrom so izmerili lomni količnik plinov ter njegovo odvisnost od valovne dolžine in od tlaka.

Najbrž je najbolj znan *Michelsonov interferometer*. Z njim je Albert Abraham Michelson meril hitrost svetlobe v etru. Eter so imeli za zelo rahlo snov z nemerljivo majhno gostoto, ki prenaša svetlobo, kot zrak prenaša

zvok. Ker Zemlja v vesolju ni odlikovana, so privzeli, da se v etru giblje. Michelson si je nabral izkušnje pri merjenju hitrosti svetlobe. Iz Amerike je leta 1879 pripotoval v Evropo in v Parizu spoznal delo francoskih fizikov z interferometri. Leta 1881 je z interferometrom, ki so ga izdelali po njegovem načrtu, meril v Berlinu. Curek svetlobe *polprepustna ploščica* razdeli na delna curka, ki sta pravokotna drug na drugega. Polprepustna ploščica je iz stekla in je na eni strani prevlečena s tanko kovinsko prevleko tako, da pol svetlobe odbije, pol pa prepusti. Delna curka v pravokotnih krakih potujeta vsak do svojega zrcala in se na njem odbije. Vrneta se do polprepustne ploščice, ki en curek prepusti, drugi pa se na njej odbije. Nastane interferenčna slika, ki jo opazujejo



Poenostavljena risba Mach-Zehnderjevega interferometra. V tem primeru in v prejšnjih dveh v delni valovanji v dveh krakih lahko postavijo merilni celici.

Poenostavljena risba Fabry-Perotovega interferometra.

z daljnogledom.

Denimo, da v enem od vodoravnih enako dolgih krakov svetloba potuje v smeri gibanja Zemlje v etru in nazaj v nasprotni smeri, v drugem pa tja in nazaj pravokotno na smer gibanja Zemlje v etru. Po prvem kraku svetloba porabi za pot malo več časa kot po drugem in zato nastane interferenčna slika. Potem interferometer zasučemo za pravi kot okoli navpične osi. Zdaj svetloba po drugem kraku porabi za pot malo več časa kot po prvem in se interferenčna slika premakne. Premik naj bi se spreminjal s časom zaradi dnevnega vrtenja Zemlje in letnega gibanja okoli Sonca. Po vrnitvi v Združene države Amerike je Michelson leta 1887 skupaj z Edwardom Williamsom Morleyjem poskus ponovil z močno izboljšanim in veliko trdnjšim interferometrom. Kraka prvega interferometra sta bila dolga samo dober meter. Pri drugem interferometru pa sta se delna curka v krakih večkrat odbila na majhnih zrcalih, da je bil učinek tak, kot da

bi bila kraka dolga po enajst metrov. Ne pri prvem ne pri drugem merjenju niso zasledili, da bi se interferenčna slika premaknila. Izid poskusa je opozoril, da je s predstavo o etru nekaj narobe.

Vsak interferometer so sestavili s posebnim namenom, za katerega je najbolj pripraven. Vendar imajo interferometri tudi skupne poteze, ki jih je smiselno opisati pri Michelsonovem interferometru. Če so delni curki pravokotni na zrcala, je v idealnem primeru interferenčna slika svetla, če se delna curka ojačita, ali temna, če se oslabita. Ker k sliki prispevajo malo nagnjena valovanja, nastanejo interferenčni kolobarji. Če pa je eno od zrcal namenoma za malenkost nagnjeno, nastanejo vzporedne interferenčne proge. Interferenčno sliko opazujejo z daljnogledom ali merilnikom ali preko naprave, ki sliko prenese na zaslon.

Včasih uporabijo v interferometru belo svetlobo. Tedaj opazujejo interferenčno sliko le, če so razmere na poti obeh delnih curkov

enake in se dolžini krakov razlikujeta kvečjemu za nekaj tisočin milimetra. Belo svetlobo pogosto na začetku merjenja uporabijo, da se prepričajo o enakosti krakov. Pri svetlobi kake spektralne črte opazijo interferenčno sliko tudi, če se dolžini krakov bolj razlikujeta. Pri laserski svetlobi je lahko razlika dolžin še večja. To je v zvezi s koherentnostjo uporabljene svetlobe.

Z opisanimi interferometri lahko merijo tako, da v delna curka postavijo dve enaki celici, od katerih je v eni ena snov, v drugi druga snov ali pa je prazna. Po interferenčni sliki lahko ugotovijo, kako se razlikujeta snovi, denimo po lomnem količniku, ali kako se snov razlikuje od praznega prostora.

Michelsonov in Morleyjev poskus velja za enega od dveh najimenitnejših poskusov 19. stoletja (drugi je bil Faradayevo odkritje indukcije). Poskus imenujejo tudi najslavnejši poskus z ničelnim izidom. Michelson in Morley sta bila nad izidom tako razočarana, da kljub drugačnemu načrtu poskusa skupaj nista ponovila. Ponovili so ga številni drugi raziskovalci v različnih izvedbah z enakim izidom.

Interferometri so zelo prilagodljivi in je z njimi mogoče izvajati različna merjenja. To velja tudi za Michelsonov interferometer. Z zelo velikimi interferometri poskušajo zaznati gravitacijsko valovanje. Po svetu deluje več takih Michelsonovih interferometrov. V Združenih državah imajo velika laserska interferometra LIGO s po štiri kilometre dolgima vakuumskima cevema kot krakoma. Eden stoji v Hanfordu v zvezni državi Washington, drugi v Livingstonu v zvezni državi Louisiana v razdalji 3.030 kilometrov. S tema in drugimi interferometri te vrste želijo zaznati premik teles, ki delujeta kot zrcali, za trilijonino metra.

Michelson je s svojim interferometrom natančno izmeril valovne dolžine nekaterih spektralnih črt. S prilagojenim interferometrom je v letih 1892 in 1893 premeril prameter z valovno dolžino izbrane spektralne črte. Izdelali so kovinski kos z natanko de-

setino dolžine prametra. Michelson je premaknil zrcalo v enem od obeh krakov za tolikšno razdaljo, preštel interferenčne kolobarje, ki so se pri tem pojavili, in to ponovil desetkrat. (Med letoma 1960 in 1983 je bil meter določen z dogovorom o številu valovnih dolžin izbrane spektralne črte.)

Pred ponovitvijo Michelsonovega poskusa sta Michelson in Morley leta 1886 ponovila Fizeaujev poskus. Uporabila sta izboljšani interferometer, pri katerem sta curka razdelila s polprepustno ploščico in ju vodila skozi oba kraka, enega v smeri gibanja vode, drugega pa v nasprotni smeri. Tako sta natančneje kot Fizeau podprla Fresnelovo napoved.

Leta 1891 sta Ludwig Mach, sin Ernsta Macha, in Ludwig Zehnder izdelala interferometer, ki ga je naslednje leto izpopolnil prvi. Svetlobo iz izvira polprepustna ploščica razdeli v pravokotna delna curka, ki potujeta do zrcal, nagnjenih za 45 stopinj. Na drugi polprepustni ploščici se curka sestane in dasta interferenčno sliko. Za razliko od razmer v Michelsonovem interferometru delni curek vsak krak prepotuje samo enkrat. Pri tem nastane dve interferenčni sliki. Mach-Zehnderjev interferometer je pripraven za opazovanje toka zraka v vetrovniku in sploh za merjenje tlaka, gostote in temperaturnih razlik v tokovih plinov. Poleg običajnih merenj se je Mach-Zehnderjev interferometer izkazal v kvantni mehaniki, zlasti pri ugotavljanju *kvantne prepletenosti*.

Našteti interferometri so kazali nekaj podobnosti. Leta 1899 pa sta Charles Fabry in Alfred Perot izdelala interferometer z drugačno zasnovo. Sestavlja ga steklena plošča, ki je zbrušena kolikor mogoče gladko in z vzporednima ploskvama. Vzporedni ploskvi sta posrebreni, da odbijeta svetlobo. Ploščo osvetlijo z razsežnim enobarvnim svetilom. Delni curki nastanejo z odboji na zrcalnih plasteh in po izstopu iz ploščice dajo interferenčno sliko. Kolobarji so tem jasnejši,



*Skupina radijskih teleskopov
Zelo velika antena (VLA) v
Novi Mehiki.*



*Skupina štirih svetlobnih
teleskopov (VLT) na vrhu
Cerro Paranal lahko deluje
kot interferometer.*

čim več svetlobe se odbije na posrebljenih mejnih ploskvah. V skrajnem primeru se odbije 95 odstotkov svetlobe. S Fabry-Perotovimi interferometri merijo valovne dolžine in jih uporabljajo za nadzor pri prenašanju podatkov.

Pri naštetih interferometrih delni curki nastanejo z delitvijo amplitude. Pri interferometrih v astronomiji pa dobijo delne curke z delitvijo valovnega čela. Zamisel se je rodila v radijski astronomiji. Ločljivost teleskopa določa razmerje med valovno dolžino in premerom paraboloidne antene ali zrcala. Valovna dolžina radijskih valov je veliko večja od valovne dolžine vidne svetlobe.

Zato imajo radijski teleskopi veliko slabšo ločljivost od teleskopov za svetlobo. Z dvema radijskima teleskopoma v znatni razdalji zajamejo delni valovanji in ju sestavijo ter opazujejo interferenco. Tako dosežejo ločljivost, ki jo določa razdalja med teleskopoma, ne premera teleskopov. Postopek je znan kot *aperturna sinteza*. Uporabili so naprave s po tremi in štirimi paraboloidnimi antenami na železniškem tiru. Način merjenja je razvil Martin Ryle s sodelavci v letih od 1954 do 1957. Dosegli so ločljivost, kot da bi antena imela premer en kilometer, leta 1961 in pet kilometrov leta 1971. Z izboljšano ločljivostjo so v vesolju odkrili več sto tisoč radij-

skih izvirov. Ryle je leta 1974 za svoje delo dobil polovico Nobelove nagrade.

Interferometri z zelo veliko bazo povezujejo radioteleskope v zelo veliki razdalji. Pri tem natančno merijo čas in sprejemajo radijske valove iz določene smeri v vesolju ter jih posnamejo na magnetni trak ali trdi disk. Pozneje sestavijo v času ubrana valovanja, ki so jih dobili z različnih radioteleskopov in s tem izboljšajo ločljivost. Ameriški *Interferometer z zelo veliko bazo (VLBA)* zajame deset radioteleskopov in skupin teleskopov po vsem svetu. Med njimi je skupina sedemindvajsetih radijskih teleskopov s premerom po 25 metrov v Novi Mehiki, ki se imenuje *Zelo velika antena (VLA)*. (V skupini več teleskopov opazujejo interferenco med vsakim parom teleskopov in s tem izboljšajo izid merjenja.)

Uporabo interferometrov so razširili na teleskope za svetlobo. V zadnjem času gradijo

tudi velike svetlobne teleskope v parih ali v skupinah. Na 2.500 metrov visokem vrhu Cerro Paranal v puščavi Atacama so postavil štiri teleskope *Zelo velikega teleskopa (VLT)*. Teleskopi s premerom zrcal po 8,2 metra lahko delujejo samostojno ali povezano kot interferometer. V tem primeru svetlobo s teleskopov vodijo preko zrcal skozi rove po svetlobnih vodnikih v laboratorij, kjer opazujejo interferenco. To je precej zahtevnejše kot elektronsko sestavljanje pri radijskih teleskopih in je prišlo v rabo po letu 2000.

Literatura:

Astronomical interferometer, https://en.wikipedia.org/wiki/Astronomical_interferometer.

Interferometry, <https://en.wikipedia.org/wiki/Interferometry>.

Nada Praprotnik: Rastlinstvo na stezah ovčarja Marka • Nove knjige

Nada Praprotnik: *Rastlinstvo na stezah ovčarja Marka*

Ko sem v osnovni šoli odkril Janeza Jalna in njegove *Bobre*, seveda nisem razmišljal, da bom kdaj pristal tam, kjer je imel kolišče Brkati Som – v današnjem Botaničnem vrtu. Prav tako nisem vedel, da bom kdaj poznal rastline, kot jih je ovčar Marko v drugi Jalnovi povesti. Če bi tedaj imel knjigo z naslovom *Rastlinstvo na stezah ovčarja Marka*, bi v njej zelo užival – prav tako, kot sem užival v osmem razredu, ko nas je avtorica knjige dr. Nada Praprotnik popeljala pod Zelenico in nam tam pripovedovala o rastlinah. Tokrat se je odločila, da bo rastline prikazala širši javnosti. Za to sta poskrbela založnik *Medium Žirovnica* in Planinsko društvo Žirovnica in nastala je zelo prijetna in poučna knjiga.

Čeprav sem knjigo dobil nekaj desetletij pozneje, kot sem si, osnovnošolec, takih in podobnih knjig želel, je nisem z nič manjšim užitkom vzel v roke. Avtorica Nada Praprotnik je po stezah *Ovčarja Marka* velikokrat hodila, saj pravi, da je vse življenje preživela v deželici pod Stolom, zato te rastline pozna že iz mladosti. Vedno je najbolje, če to napiše tisti, ki se počuti tam doma, ki tako okolje kot povest dobro pozna. Poleg vsega je odlična botaničarka in zanesljivo najboljša poznavalka zgodovine slovenske botanike. In potem nastane delo, ki te povede med rastline, ki jih je ovčar Marko dobro poznal. Sesticam je razlagal, da so tam različne sorte rese: »Marko vse vidi in natančno razloči. Kako je razlagal sesticama, da