

Franc Rozman

www.anti-energija.com

fr.rozman@gmail.com

Načrt meritve hitrosti svetlobe na osnovi interference

- 1. Izhodišče***
- 2. Zakaj meriti hitrost svetlobe***
- 3. Cilj meritve***
- 4. Opis interferometra***
- 5. Opis merilne metode***
- 6. Konstrukcija diska z ogledalom***
- 7. Ocena interferenčnih pogojev***
- 8. Zagotovitev stabilnosti meritve***
- 9. Interpretacija rezultatov***

Izhodišče

Svetloba je valovanje, vendar težje zaznavno, kot npr. vodno valovanje. Pri vodnem valovanju lahko opazujemo obliko valov in tudi hitrost gibanja valov, česar pa v primeru svetlobnega valovanja ne moramo zaznati na način, kot to zaznamo pri vodnem valovanju.

Ko s čolnom drsim proti vodnim valovom, večanje hitrosti čolna povečuje frekvenco, s katero valovi udarjajo v čoln. Valovna dolžina, to je razdalja med dvema vodnima valoma pa se s hitrostjo čolna **ne** spreminja.

Spremembo frekvence opazimo tudi pri svetlobnem valovanju (Dopplerjev učinek), kadar se opazovalec ali vir svetlobe gibljeta.

Pri svetlobi se ob spremembi frekvence hipotetično valovna dolžina ne ohranja. Valovna enačba $c=f\lambda$ zahteva, da se spreminjata oba, tako f in λ , ali pa nobeden, če naj enačba $c=f\lambda$ ob vseh razmerah enaki hitrosti svetlobe ohranja enake vrednosti na levi in desni strani enačbe.

Zakaj meriti hitrost svetlobe

Hipoteza o vseh razmerah enaki hitrosti svetlobe:

- o ni potrjena z meritvami. Michelsonov interferometer ni občutljiv na vpadno hitrost svetlobe
- o spektralne črte ustvarjajo dvom o vedno in v vseh okoliščinah enaki hitrosti svetlobe.

Frekvenčni zamik spektralne črte in tudi hipotetični premik valovne dolžine se dogodi tako zaradi gibanja npr. opazovane galaksije kot celote, kot tudi zaradi lokalnih hitrosti na tej galaksiji. Hitrost galaksije spektralno črto hipotetično premakne, lokalne hitrosti pa jo hipotetično raztrosijo.

Laboratorijske meritve pokažejo, da je temni del spektralne črte, v katerem ne najdemo svetlobe, običajno širok le okoli 10^{-5} nm. To je tako ozko področje, da raztros spektralne črte na nekajkratno širino spektralne črte povzročijo že lokalne hitrosti do sto m/s.

Če se spektralna črta premakne zaradi hitrosti gibanja opazovane galaksije, bi razni viharji na nebesnih telesih ter lokalne hitrosti, ki so posledica rotacij galaksij ali rotacij na posameznih nebesnih telesih v galaksiji spektralne črte raztresle na njeno deset-tisoč-kratno širino in bi bile s tem popolnoma neprepoznavne. Lokalne hitrosti namreč tako močno presegajo prej omenjeno hitrost, da spektralnih črt po pričakovanjih ne bi smeli opaziti.

Spektralne črte zaradi turbulenc delcev na opazovani galaksiji niso raztresene ampak lepo prepoznavne. Pri tem celo ekstremne lokalne hitrosti na opazovanem nebesnem telesu ne zmanjšajo prepoznavnost spektralnih črt.

Spektralne črte niso raztresene, ker se ob spremembi hitrosti vira svetlobe hipotetično ohranja valovna dolžina svetlobe, podobno kot se ohranja pri vodnem valovanju. Le vedno enaka valovna dolžina svetlobnega valovanja ob katerikoli hitrosti vira svetlobe nam lahko ohranja prepoznavne spektralne črte.

Ohranjanje valovne dolžine ob sočasnem spreminjanju frekvence svetlobe, ki jo opazimo ob spremembi hitrosti izvora svetlobe, pa po enačbi $c=f\cdot\lambda$ pomeni spremembo hitrosti svetlobe.

Neskladnost hipoteze o vedno enaki hitrosti svetlobe s prepoznavnostjo spektralnih črt iz teles z velikimi lokalnimi gibanji pa kaže na nujnost po izvedbi meritve valovne dolžine svetlobe iz hitro gibajočih se virov. Ta meritvi bo potrdila ali zavrnila tudi hipoteza o v vseh razmerah enaki hitrosti svetlobe.

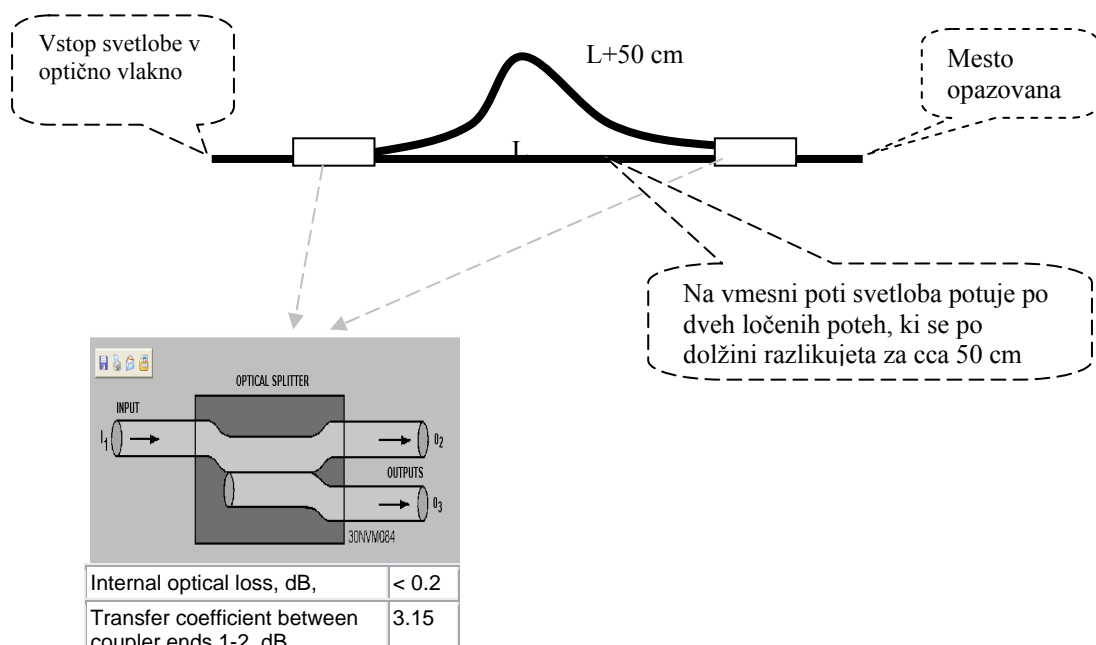
Cilj meritve

Z objektivno merilno metodo enoumno izločiti kot resnično eno od naslednjih hipotez:

- Ob spremembi hitrosti svetlobnega vira se spreminja valovna dolžina svetlobnega valovanja λ in frekvenca f tako, da po enačbi $c = f \cdot \lambda$ ohranjata v vseh razmerah enako svetlobno hitrost.
- V primeru hitrosti svetlobnega vira se spreminja le frekvenca, valovna dolžina svetlobnega valovanja pa se ohranja in ni odvisna od sprememb hitrosti izvora svetlobe.

Opis interferometra

Kot osnovo za izvedbo meritve uporabim interferenčni merilnik na osnovi dveh optičnih sklopnikov, kot ga prikazuje slika.



Med optičnima sklopnikoma sta dve optični vlakni, od katerih je eno za 50 cm daljše od drugega. Prvi optični delilnik razdeli koherentno lasersko svetlobo v dve optični vlakni, v vsako polovico svetlobnega toka. Na drugi strani optični sklopnik združi svetlobna toka:

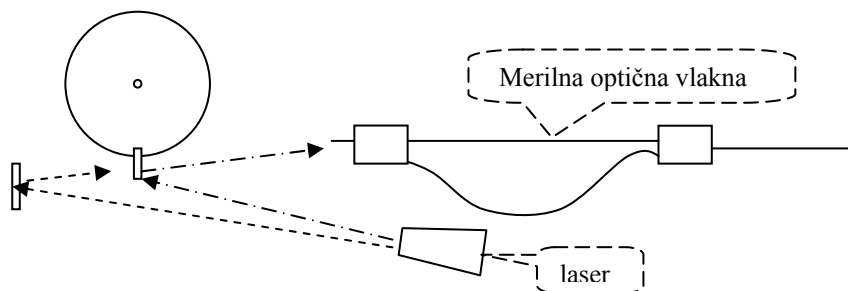
- Interferenčno jih sešteje, kadar sta valovanji v fazi
- Interferenčno jih odšteje (izniči) kadar sta valovanji v proti fazi

Meritev izvajam tako, da na vhod usmerim lasersko koherentno svetlobo valovne dolžine cca 10^{-6} m in opazujem nivo signala na izhodu.

Uspešnost interference tega merilnika je potrebno v praksi še potrditi. Verjetnost za uspešnost interferometra nakazuje primer iz prakse, ko so v zaporu želeli zagotoviti varnost povezave pred prekinitvijo optičnega vlakna – vpeljali so dvojne povezave po različnih trasah in jih povezali podobno, kot prikazuje predhodna slika. Zaradi dvojnih povezav je prišlo do dvigovanja in spuščanja optičnega signala, kar je bilo tam nezaželeno, v našem merilniku pa pričakovano.

Opis merilne metode

Lasersko svetlobo usmerim tako, da se laserski žarek v nekem trenutku odbije od ogledala na vrtečem se disku. Na sliki je prikazano le eno ogledalo, v izvedbi pa lahko uporabim krožno žago z v ogledalo poliranimi zobmi, ki ojačajo povečajo svetlost odbite svetlobe.



Svetloba se izmenično odbija enkrat od gibajočega se drugič od mirujočega se ogledala, kot prikazuje slika.

Na izhodu opazujem, ali je interferenca signala odvisna od hitrosti ogledala.

Ogledalo predstavlja gibajoč

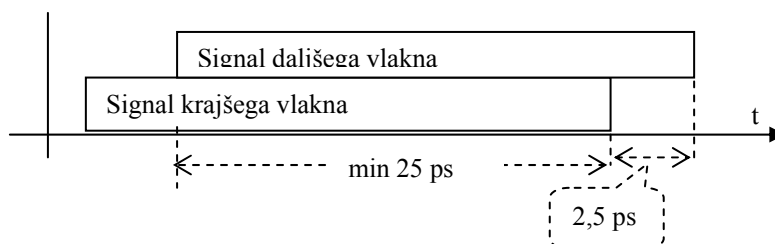
vir svetlobe. V primeru

- o v vseh razmerah enake valovne dolžine svetlobe, hitrost ogledala ne bo vplivala na interferenco.
- o V vseh razmerah enake hitrosti svetlobe, se s hitrostjo svetila spreminja valovna dolžina. Interferenca bo torej odvisna od hitrosti ogledala.

Konstrukcija diska z ogledalom

Za potrebe meritve, kot rečeno, lahko uporabimo jekleno krožno žago, ki ji do sijaja zloščimo prednji del zob. Jeklena plošča premera enega metra omogoči obodne hitrosti do nekaj sto m/s.

Pri omenjenem disku je pomembno zagotoviti dovolj dolg čas, ko ogledalo obseva vhod v interferometer. Zaradi različnih dolžin vlaken med optičnima spojnikoma, na drugo stran interferometra signal iz daljšega vlakna prispe zakasnjeno glede na krajše vlakno. Zakasnitev je razlika v dolžinah vodnikov deljeno s svetlobno hitrostjo skozi steklo $2/3c$. Delim $0,5 \text{ m} / 2 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 2,5 \text{ ps}$ (piko sekunde)



Čas prekrivanja obeh signalov za prepoznavno interferenco naj bi bil deset ali večkratna dolžina zamika. Vsak od signalov na bi bil dolg vsaj 25 ps ali več. Na začetku in na koncu signala, kjer se signala ne prekrivata, ne nastaja interferenca.

Plošča s premerom 1 m ima obseg 3,14 m. Obodno hitrost 300 m/s, ima pri okrog 100 obratih na sekundo. Takšni obrati pomenijo $360 \cdot 100$ stopinj/sekundo, oziroma $3600 \cdot 3600 / 10^{-6} = 13$ kotnih sekund na mikrosekundo, oziroma 0,33 kotne sekunde v 25 ps. Glede na opisano izhodišče zadošča, če je naprava konstruirana tako, da ogledalo na disku manj eno kotno sekundo osvetljuje vhod v interferometer. Večjo časovno osvetlitev od ene kotne sekunde je zaželen zaradi primerne osvetlitve in posledično meritve interference.

Ocena interferenčnih pogojev

V daljšem kraku optičnega vodnika med optičnima sklopnikoma je pri valovni dolžini 1 μm in 50 cm razliki v dolžini cca $0,5 \cdot 10^6$ več valovnih dolžin, kot v krajšem kraku. Če se valovna dolžina svetlobe spremeni za faktor 10^{-6} bo to pomenilo pri $0,5 \cdot 10^6$ valovih dolžin, kolikor jih je v enem kraku interferometra več, kot v drugem spremembo, polovico valovne dolžine.

Interferenca se iz enega ekstrema v drug ekstrem premakne ob spremembi polovice valovne dolžine, kar pomeni, da preidemo iz enega ekstrema v drug ekstrem ob relativni spremembi 10^{-6} vsake od pol minjona valovnih dolžin v svetlobne vlaknu.

Posledično to pomeni, da bi prešli iz enega interferenčnega ekstrema v drug ekstrem pri obodni hitrosti ogledala 300 m/s. Hitrost 300 m/s pomeni 10^{-6} del svetlobne hitrosti.

Zagotovitev stabilnosti meritve

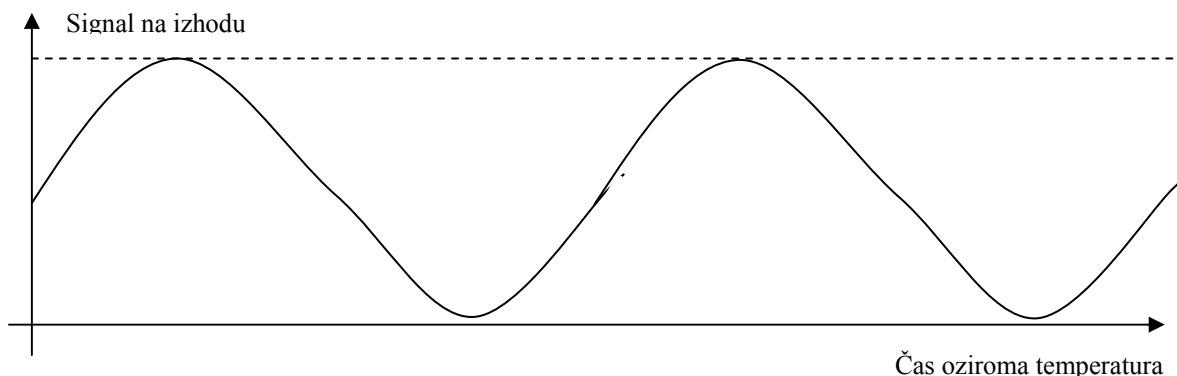
Eden od problemov izvedbe meritve bo vsekakor (ne)stabilnost, ki izhaja iz:

- Raztezanja in krčenja optičnega vlakna ob spremembi temperature
- Nestabilnosti frekvence laserja, ki se pri cenenih laserjih lahko tudi seli.

Merilnik, ki bi zagotavljal ciljno stabilnost frekvence laserja in temperature, bi bil težko izvedljiv in izredno drag zato je treba iskati **rešitev v metodi merjenja**, ki omogočila merjenje tudi ob spreminjanju dolžine vlakna zaradi temperature in morebitnem drsenju frekvence laserja.

Relativni raztezek stekla je $3,2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Daljše optično vlakno je 50 cm daljše od krajšega vlakna. Dolžina tega 50 cm dela se ob spremembi temperature za en K spremeni za $3,2 \times 0,5 = 1,6$ mikro metra oziroma za 1,6 privzete valovne dolžine. Za polovico valovne dolžine se dolžina vlakna spremeni pri $0,5/1,6 = 0,3$ K. Predpostavim, da se temperaturi obeh vlaken spreminjata sočasno.

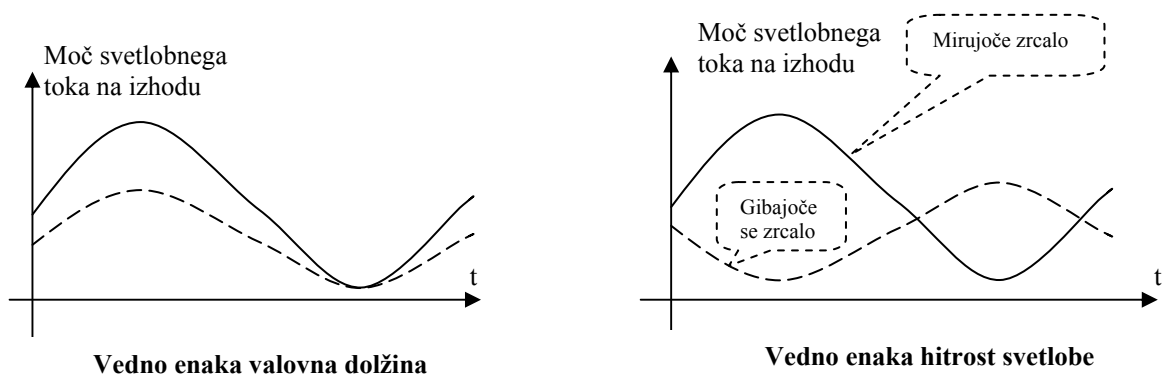
Napravo konstruiram tako, da se temperatura merilnika počasi spreminja za nekaj stopinj. Zaradi spremembe temperature in posledično spremembe dolžine svetlobnih vlaken se bo na izhodu interferometra pojavljala minimum in maksimum, kot prikazuje diagram.



Interpretacija rezultatov

Rezultate meritev vnesem v diagram, ki prikazuje spreminjanje moči svetlobnega toka na izhodu interferometra, ločeno za odboj od mirujočega zrcala in ločeno od gibajočega zrcala. V fazi meritve ne le da dopuščamo spreminjanje moči svetlobnega toka na izhodu zaradi temperature ampak ta učinek torej celo uporabimo za meritve.

Diagrama v nadaljevanju kažeta pričakovan rezultat v primeru ene ali druge hipoteze.



V primeru hipoteze o vedno enaki valovni dolžini, je sprememba interferenčnega signala odvisna le od temperaturnih sprememb, ne pa od hitrosti ogledala. Signala od mirujočega in gibajočega ogledala se bosta zato bodisi oba povečevala ali oba zmanjševala. Signala se bo razlikoval le v konstanti, ki nastane zaradi različne svetilnosti na vhodu od mirujočega in gibajočega se ogledala, bosta pa sofazna.

V primeru hipoteze o vedno enaki hitrosti svetlobe, je sprememba interferenčnega signala odvisna od temperaturnih sprememb in od razlike v hitrostih ogledal. Signala se bosta zato spreminjala po dveh spremenljivkah. Pri majhnih hitrostih ogledal bodo rezultati dokaj podobni predhodni hipotezi. Zaradi majhnega vpliva hitrosti ogledala hitrost ogledala nima pomembnega vpliva. Pri večjih hitrostih bosta sinusoidi med seboj fazno zamaknjeni.

Pri ocenjeni hitrosti ogledala 300 m/s bo hitrost ogledala prispevala polovico valovne dolžine, zato se bosta signala spreminjala v proti fazi. Ko se bo en signal povečeval zaradi temperaturne nestabilnosti se bo drug signal hkratno zmanjševal in obratno.

V kolikor nam pri meritvi s spremembo hitrostjo ogledala uspe zamakniti fazo sprememb izhodnega signala, kot to prikazuje druga slika, to potrjuje v vseh razmerah enako hitrost svetlobe. V kolikor ne opazimo vpliva hitrosti ogledala na fazni zamik med izhodnima signaloma, to potrjuje v vseh razmerah enako valovno dolžino.