MERIM FREKVENCO SVETLOBE

Franc Rozman

Merim frekvenco svetlobe

FRANC ROZMAN

Merim frekvenco svetlobe

Avtor:
Franc Rozman, Brezje pri Tržiču 59, 64290 Tržič
fr.rozman@gmail.com

Lektoriranje:
Katja Klopčič Lavrenčič

Oblikovanje:
Maurice Zalaznik

Podatke o izdaji:
Samozaložba

Kraj: Tržič

Leto izida: 2021

Naklada: 200 izvodov

Maloprodajna cena: 10 Euro

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

535.2

ROZMAN, Franc, 1949-
Merim frekvenco svetlobe / Franc Rozman. - Tržič : samozal. F. Rozman, 2021

ISBN 978-961-07-0498-0

COBISS.SI-ID 59837187

Meritve kažejo, da valovna dolžina svetlobe z Marsa ni odvisna od hitrosti Marsa. Frekvenca svetlobe z Marsa je odvisna od hitrosti Marsa. Hitrost Marsa torej vpliva na hitrost z Marsa prispele svetlobe. V knjigi opisano ločeno merjenje frekvence in valovne dolžine svetlobe odpira novo razumevanje lastnosti svetlobe.

Measurements show that the wavelength of light from Mars does not depend on the speed of Mars. The frequency of light from Mars depends on the speed of Mars. The speed of Mars therefore affects the speed of light coming from Mars. The separate measurement of the frequency and the wavelength of light described in the book opens up a new understanding of the properties of light.

Knjižico posvečam angelom,
ki so me spremljali in usmerjali pri pisanju.

Vsebina

Povzetek 9

Uvod 11

Metode merjenja hitrosti svetlobe 13

Valovna dolžina svetlobe, ki prihaja s kometa,
ni odvisna od hitrosti kometa 17

Meritev s planetov prispele svetlobe 23

Uklonska mrežica omogoča merjenje frekvence svetlobe 27

Merjenje frekvence svetlobe 31

Meritev svetlobe, ki prihaja s Sonca 35

Prečno gibanje vira svetlobe vpliva na valovno dolžino svetlobe 41

Gravitacija vpliva na hitrost svetlobe 45

Zaznavamo trirazsežni svet 49

Magnetno polje vpliva na hitrost svetlobe 55

Hitrost medija (vode) vpliva na hitrost svetlobe 59

Maxwellove enačbe potrjujejo, da hitrost ponora svetlobe
vpliva na hitrost svetlobe 63

Krovni pogled na gibanje svetlobe 67

Zmotno razumevanje hitrosti svetlobe prinaša zmedo v razumevanje naravnih pojavov 73

Dodatek 75

Michelson-Morleyjeva meritev hitrosti svetlobe 77

Hitrost svetlobe je odvisna od sistema opazovanja 81

Vpliv radialnega pospeška na hitrost svetlobe v optičnem vlaknu 85

Poskus dokazovanja vedno enake hitrosti svetlobe z neposredno meritvijo 89

Pojavi teorije relativnosti ne omogočajo merjenja hitrosti svetlobe 93

Sistem globalne navigacije (GPS) ne potrjuje v vseh razmerah enake hitrosti svetlobe 99

Sinhronizacija ur na GPS-satelitih 103

Osvoboditev v postulat ujete svetlobe 107

Povzetek

Marsikatero skrivnost vesolja lahko pojasni meritev valovne dolžino svetlobe s kometa, Marsa ali Jupitra. To so gibajoča nebesna telesa, na katerih na površini ni turbulenc.

Pred merilnik valovne dolžine svetlobe lahko postavimo uklonsko mrežico. Izmerimo, da uklonska mrežica svetlobi spremeni valovno dolžino. Istemu žarku lahko izmerimo dve različni valovni dolžini, odvisno od tega, ali prihaja žarek neposredno na merilnik valovne dolžine ali pa prihaja do merilnika valovne dolžine skozi uklonsko mrežico.

Ob prehodu svetlobe skozi uklonsko mrežico se ji frekvenca ne spreminja, spremeni se ji le valovna dolžina. Prepoznamo torej spremembo hitrosti svetlobe na uklonski mrežici.

Ta meritev, ki je v znanosti spregledana, je rdeča nit te knjižice. V knjižici pa je opisana tudi metoda merjenja frekvence vidne svetlobe.

Fizikalna veda, ob odsotnosti meritev frekvence svetlobe, temelji na postulatu (domnevi) o vedno enaki hitrosti svetlobe v vakuumu. V fiziki ne morejo biti in niso izkoriščene možnosti merjenja hitrosti svetlobe brez ločenega merjenja frekvence svetlobe. Hitrost svetlobe zato v mnogih okoliščinah še ni izmerjena.

Ločeni merjenji frekvence in valovne dolžine svetlobe tehnološko nista zahtevni. Meritve kažejo, da na hitrost svetlobe vplivajo magnetno polje, gravitacija, predvsem pa hitrost vira svetlobe.

Uvod

Svetloba s Sonca do Zemlje potuje osem minut. Na poti žarka ne vidimo, lahko pa izračunamo, da je le-ta po štirih minutah na polovici poti. Kadar sta na poti sočasno dva žarka, sta tako eden kot drugi po štirih minutah na polovici poti, drug ob drugem. Izračun pokaže, da žarka na celotni poti potujeta drug ob drugem, da v odnosu drug na drugega mirujeta.

Fiziki tako razmišljanje zavračajo. Postulat o vedno enaki hitrosti svetlobe namreč pravi, da se svetloba v vakuumu giblje s hitrostjo, ki jo označuje konstanta c, in to glede na kar koli. Taka naj bi bila tudi hitrost med omenjenima žarkoma.

Na postulatu o hitrosti svetlobe temelji znaten del fizike. Postulata o hitrosti svetlobe ne smemo ogrožati, saj bi bila ob ogrožanju tega postulata ogrožena tudi teorija relativnosti. Ogroženo bi bilo razumevanje gravitacije v smislu ukrivljenosti prostora. Nenazadnje bi bilo ogroženo tudi merjenje hitrosti nebesnih teles in posledično dojemanje širjenja vesolja, velikega poka, temne snovi in še marsičesa.

Proti tistim, ki dvomijo o vedno enaki hitrosti svetlobe, smo se pripravljeni goreče in zavzeto boriti. Zavzetih zagovornikov postulata vedno enaki hitrosti svetlobe v vakumu je dovolj, da ohranjajo ta postulat, četudi se v zvezi z njim pojavljajo dvomi.

Dvomov pa brez kritične presoje ne smemo spregledati. Vprašati se moramo, ali je v znanosti dovoljeno ugibanje o medsebojni hitrosti med omenjenima žarkoma na poti od Sonca. Ali postulat (ugibanje, domneva) o hitrosti svetlobe brez ustreznih meritev sploh spada v znanost?

O naravi zares vemo le toliko, kolikor nam o njej povedo meritve. Izmeriti moramo vse, kar se izmeriti da, in narediti merljivo, česar še ne znamo izmeriti.

Pojave najprej le opazimo; takrat jih še ne znamo izmeriti in znanstveno opisati. Za začetek jih skušamo opisati do nivoja, do katerega smo jih na določeni stopnji razumevanja sposobni razumeti. Začasno pojave lahko opišemo tudi s postulati. V zrelejši fazi raziskovanja pa odkrijemo načine merjenja pojavov in takrat jih znamo znanstveno opisati.

Znanost se že stoletja trudi izmeriti hitrost svetlobe v različnih okoliščinah. V mnogih okoliščinah je hitrost svetlobe že uspešno izmerjena, v nekaterih pa poznavanje hitrosti svetlobe še vedno temelji le na postulatu o hitrosti svetlobe, in ne na meritvah.

V knjižici se osredotočam na tehnološko nezahtevno in v mnogih okoliščinah uporabno metodo merjenja hitrosti svetlobe, ki temelji na ločenem merjenju frekvence in ločenem merjenju valovne dolžine svetlobe.

Navajam mnoge rezultate teh meritev, za splošno uveljavitev merjenja svetlobe pa bo potrebnih še več meritev. Nekaj predlogov in idej za meritve frekvence svetlobe, s tem pa tudi za meritve hitrosti svetlobe, je opisanih v nadaljevanju. Vabljeni torej k merjenju svetlobe.

Metode merjenja hitrosti svetlobe

Z obale opazujem približevanje vodnega vala. Pri svetlobi tako opazovanje ni možno. Svetlobni val na poti ni viden.

Hitrost vodnega vala lahko merim na dva načina. Lahko merim, koliko metrov val prepotuje v določeni časovni enoti. Lahko pa dolžino vodnega vala pomnožim s frekvenco vpadanja valov na obalo.

Svetlobi hitrost na ponoru lahko merim le tako, da ji ločeno merim frekvenco in valovno dolžino. Zmnožek njene frekvence in valovne dolžine pa predstavlja njeno hitrost.

Poznamo več metod merjenja hitrosti svetlobe. Mnoge med njimi so v literaturi kvalitetno opisane. Slabost poznanih metod merjenja hitrosti svetlobe je v tem, da so omejene z okoliščinami, v katerih je možno merjenje. V mnogih okoliščinah (magnetno polje, gravitacija ...) hitrost svetlobe zato še ni enoumno izmerjena.

Slika 1: Hitrost svetlobe izmerimo z meritvijo njene frekvence in valovne dolžine.

V strokovni literaturi so redki zapisi o meritvah hitrosti svetlobe, ki bi temeljili na ločenem merjenju frekvence in valovne dolžine svetlobe. Ravno te meritve pa odpirajo možnost merjenja hitrosti svetlobe v okoliščinah, v katerih hitrost svetlobe še ni izmerjena.

Slika 1 prikazuje uro, ki simbolizira merjenje frekvence svetlobe, ter meter za merjenje valovne dolžine.

Merjenje valovne dolžine je v fiziki poznano. Za merjenje frekvence pa obstaja neko nerazumljivo prepričanje, da svetlobi frekvence ni mogoče meriti. To seveda ne drži, merjenje frekvence svetlobe tehnološko ni zahtevno.

Zasnova tehnološko delujočega merilnika za ločeni merjenji frekvence in valovne dolžine svetlobe ter s tem za merjenje hitrosti svetlobe je osrednja tema te knjižice. Shema merilnika je prikazana na Sliki 8.

V nekaterih strokovnih člankih, ki so navedeni v nadaljevanju, zasledimo meritve, ki kot rezultat prikažejo frekvenco svetlobe.

Rezultati meritev kažejo, da gravitacija in magnetno polje vplivata na valovno dolžino svetlobe, ne vplivata pa na njeno frekvenco. Gibajoči vir svetlobe vpliva na frekvenco svetlobe, ne pa na njeno valovno dolžino.

Ta spoznanja, čeprav so nekatera že dokončno potrjena z meritvami, druga pa še bodo, so v nasprotju s postulatom o vedno enaki hitrosti svetlobe v vakuumu. V fiziki mogoče ravno zato ni zaznati velikega navdušenja nad merjenjem hitrosti svetlobe v tistih okoliščinah, v katerih bi te lahko ogrozile postulat o vedno enaki hitrosti svetlobe v vakuumu.

Še neopravljene meritve hitrosti svetlobe bodo omogočile opustitev postulata (domneve) o vedno enaki hitrosti svetlobe v vakuumu.

Valovna dolžina svetlobe, ki prihaja s kometa, ni odvisna od hitrosti kometa

Frekvenca udarjanja vodnih valov v čoln je odvisna od hitrosti čolna. Hitrost čolna pa ne vpliva na dolžino valov.

Glede na postulat o hitrosti svetlobe naj bi bilo pri svetlobi drugače. Hitrost ponora svetlobe naj bi vplivala tako na frekvenco kot na valovno dolžino svetlobe. Toda meritve tega ne potrjujejo. Meritve kažejo, da hitrost ponora ne vpliva na valovno dolžino svetlobe, podobno kot na dolžino vodnih valov ne vpliva hitrost čolna.

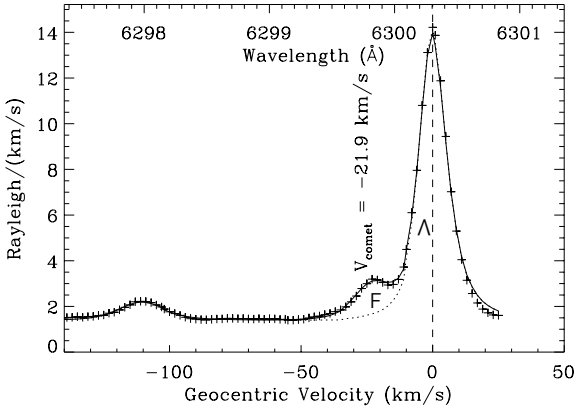
Pozornost namenim meritvi svetlobe s kometa Hale-BOPP. Meritev so opravili leta 1997.

Slika 2: Valovna dolžina svetlobe, ki prihaja s kometa, ni odvisna od njegove hitrosti.

Meritev temelji na merjenju valovne dolžine spektralnih črt. Za uvod torej nekaj besed o spektralni črti.

Atom pri določeni valovni dolžini (barvi svetlobe) oddaja več svetlobe, kot je oddaja pri drugih valovnih dolžinah. Svetlost atoma izstopa pri opaženi valovni dolžini. To izstopajočo svetlost imenujemo spektralna črta. Diagram na Sliki 3 prikazuje primer spektralne črte kisika (označena je z ***Λ***) v svetlobi, ki na Zemljo prispe s kometa.

Vsak tip atoma oddaja spektralno črto pri svoji frekvenci in svoji valovni dolžini svetlobe, ki je odvisna le od snovnih lastnosti atoma. Frekvenco in valovno dolžino spektralne črte svetlobe na izvoru, to je na kometu, posledično poznamo brez vsakokratnega merjenja. Na Zemlji njeno valovno dolžino lahko merimo. Primerjamo, kako se na poti od kometa do Zemlje ta spremeni.



Slika 3: Valovna dolžina spektralne črte se praviloma ne spreminja s hitrostjo kometa.

Diagram na Sliki 3 prikazuje izmerjeno spektralno črto svetlobe s kometa, kot jo izmerimo na Zemlji. Na vodoravni osi je prikazana valovna dolžina svetlobe, na navpični osi pa svetlost. Izstopa svetlost desne spektralne črta ***Λ***. Na levi strani je še ena projekcija iste spektralne črte, označena kot ***F***, ki pa je v tej meritvi manj izrazita.

Izmerimo, da se s hitrostjo kometa spektralni črti Λ ne spreminja valovna dolžina.

Tak rezultat meritve ni skladen s postulatom o vedno enaki hitrosti svetlobe v vakuumu. Glede na splošno sprejet postulat bi morala biti valovna dolžina svetlobe odvisna od hitrosti kometa.

Avtorji meritve niso bili pripravljeni ponotranjiti takih rezultatov meritev, pri katerih hitrost kometa ne vpliva na valovno dolžino svetlobe, ki prihaja s kometa. Iskali so, zakaj izmerjeni zamik spektralne črte ne sledi njihovim pričakovanjem. Nepričakovani rezultat meritve so skušali pojasniti na tak način, da bi ohranili postulat o hitrosti svetlobe.

Domislili so se razlage, da se valovna dolžina svetlobi s kometa spremeni v ozračju. Svetloba s kometa v atmosferi zadeva v molekule zraka. Te jo vsrkajo in takoj zatem izsevajo. Molekule zraka naj bi vplivale na valovno dolžino spektralne črte Λ tako, da ta na merilniku ni odvisna od hitrosti kometa.

Preverim, v kakšni meri lahko zaupam tej razlagi.

Komet za ilustracijo opazujem skozi matirano steklo. Skozenj ne opažam kometa in zvezd. Opažam le medlo, po vsem steklu enakomerno razporejeno svetlobo. Svetloba se na matiranem steklu razprši na vse strani in zabriše sliko kometa.

Tudi svetloba, ki jo vsrka ozračje in jo takoj nato izseva, se razprši na vse strani podobno, kot se razprši na matiranem steklu. Sliko kometa nam kaže le svetloba, ki prihaja neposredno s kometa, torej svetloba, ki je ozračje ne vsrka in ne izseva.

Ob pogledu v nebo opažamo ostro slika kometa. To pa pomeni, da z zrakom reagira le neznaten del fotonov. Večina fotonov na Zemljo prispe neovirano.

Število fotonov, ki jih molekule zraka vsrkajo in nato izsevajo, lahko izmerimo tako, da teleskop usmerimo v področje neba, kjer ni kometa in kjer ni zvezd. Ozračje svetlobo iz molekul zraka seva povsod po nebu. Teleskop torej usmerimo v najtemnejši del neba in na tem delu neba merimo svetlost iz zraka izsevane svetlobe. Meritev pokaže, da je v ozračju vsrkane in izsevane svetlobe tako malo, da jo zaznajo le skrajno občutljivi merilni instrumenti.

WHAM, s katerim so merili spektralne črte, kot so prikazane na Sliki 3, je premalo občutljiv, da bi zaznal iz ozračja izsevano svetlobo. Pokaže le temo.

Meritev na Sliki 3 torej ne prikazuje vsrkane in izsevane svetlobe.

Spektralna črta svetlobe ***Λ***, ki jo kaže diagram na Sliki 3, prihaja neposredno s kometa, brez vmesnega vsrkanja in izsevanja svetlobe v zraku. To pomeni, da valovna dolžina spektralne črte svetlobe na ponoru ni odvisna od hitrosti kometa.

Tudi ko merimo svetlobo z Marsa ali z Jupitra, kar je opisano v naslednjem poglavju, opazimo, da njuni hitrosti ne vplivata na valovno dolžino svetlobe, ki prihaja z njiju.

Drugače je pri meritvi frekvence svetlobe. Meritve kažejo, da hitrost kometa vpliva na frekvenco svetlobe tako, kot to opisuje Dopplerjev zakon.

Hitrost svetlobe je produkt frekvence (***f***) in valovne dolžine (***λ***) svetlobe.

$$\mathbf{c = f \,.\, \lambda}$$

Spreminjanje frekvence svetlobe s hitrostjo kometa ob nespremenjeni valovni dolžini svetlobe pomeni spremembe hitrosti svetlobe.

Ovire pri raziskovanju pojavov, na primer pri raziskovanju hitrosti svetlobe, lahko po težavnosti razvrstimo v več stopenj.

Odkritja lahko zahtevajo natančna in zahtevna mejenja. Te ovire je v fiziki najlažje prebroditi.

Težje je, kadar rešitve iščemo v več smereh, pri čemer vnaprej niti ne moremo oceniti, kakšen bo rezultat raziskave in ali lahko sploh pričakujemo obetaven rezultat.

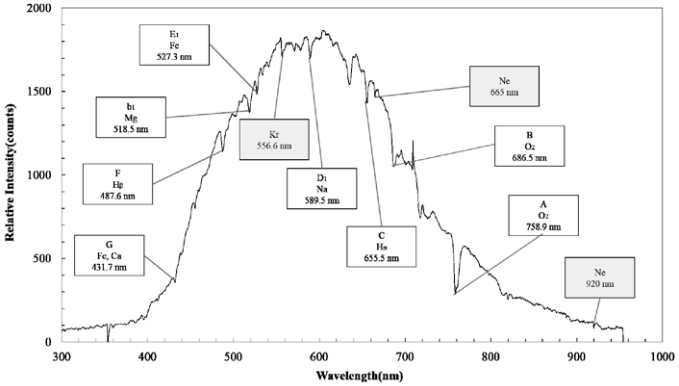
Največja ovira na poti do novih odkritij pa je naša navezanost na obstoječa prepričanja. Če so v nas zasidrana zmotna prepričanja, imamo zelo majhne možnosti za odpravo teh zmot. V vsaki situaciji bomo za vsako ceno iskali potrditev naših lastnih prepričanj in se izogibali celo nedvomnim rezultatom meritev.

Meritev svetlobe pokaže, da hitrost ponora svetlobe vpliva na frekvenco opazovane svetlobe, ne pa na njeno valovno dolžino.

Meritev s planetov prispele svetlobe

Planeti se glede na Zemljo gibljejo s hitrostjo do nekaj km/s. Planeti omogočajo merjenje, kako njihova hitrost vpliva na valovno dolžino svetlobe, ki prihaja z njih.

Hitrosti planetov glede na Zemljo se spreminjajo glede na lego planetov. Hitrost med Zemljo in Marsom doseže do 6 km/s, med Zemljo in Jupitrom pa do 15 km/s. Hitrosti planetov glede na Zemljo so nekoliko manjše od hitrosti kometa, ki se v meritvi iz prejšnjega poglavja giblje s hitrostjo 20 km/s. Vendar tudi te hitrosti planetov zadoščajo za merjenje, kako na primer hitrost Marsa ali Jupitra vpliva na valovno dolžino svetlobe, ki prispe z njiju.



Slika 4: Svetlobni spekter Marsa. Beli okviri prikazujejo svetlobo, ki jo ustvarja Mars, osenčeni okviri pa od Marsa odbito sončno svetlobo.

V literaturi najdemo več člankov o meritvah valovne dolžine svetlobe z Marsa in Jupitra.

Osredinim se na meritev spektralnih črt svetlobe z Marsa in Jupitra, ki je opisana v članku *Spectra of reflected sunlight from planets*. Rezultat meritve je podan v obliki diagrama na Sliki 4.

Rezultati meritve ne kažejo zamikov valovne dolžine svetlobe, ki bi bili posledica gibanja Marsa. Tudi sicer v literaturi ne najdemo zapisov, ki bi kazali, da bi hitrost Marsa kakor koli vplivala na valovno dolžino z njega prispele svetlobe.

Meritev spektralnih črt z Marsa je tehnološko preprosta. Mars je dovolj svetel, da za meritev lahko uporabimo povprečen teleskop. Mars je vedno prisoten, kar ne velja za komete. Svetloba se odbija oziroma izhaja s trdne površine brez turbulenc na Marsu in tako naprej. Meritev spektralnih črt v svetlobi z Marsa lahko ponovi marsikatera astronomska opazovalnica.

Valovna dolžina svetlobe z Marsa je enaka ne glede na hitrost Marsa. Rezultati te meritve so torej resen ugovor postulatu o vedno enaki hitrosti svetlobe.

Meritev svetlobe z Marsa nas po drugi strani še opogumlja, da valovne dolžine svetlobe s kometa, opisane v prejšnjem poglavju, ne spreminja Zemeljina atmosfera.

Hitrost vira svetlobe ne vpliva na valovno dolžino svetlobe, vpliva pa na njeno frekvenco. Raziskovanje hitrosti svetlobe torej zahteva ločeno merjenje tako frekvence kot valovne dolžine svetlobe.

O frekvenci svetlobe nikakor ne smemo sklepati na osnovi valovne dolžine svetlobe in obratno.

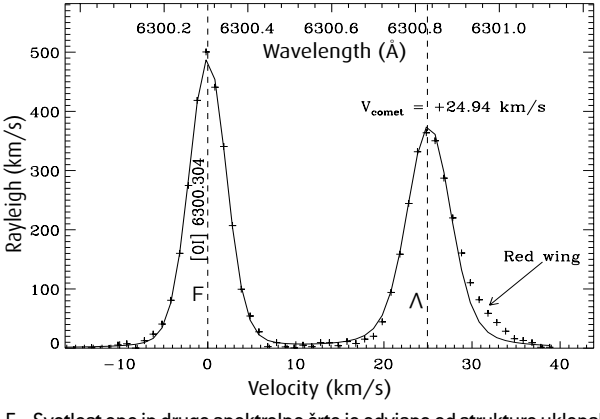
V vseh primerih, brez izjeme, izmerimo, da valovna dolžina svetlobe ni odvisna od hitrosti vira svetlobe.

Uklonska mrežica omogoča merjenje frekvence svetlobe

Ko svetloba z gibajočega se vira svetlobe (s kometa) vpade na uklonsko mrežico (tkanino, ki prepušča velik del svetlobe), se ji po prehodu spremeni valovna dolžina. Frekvenca svetlobe pa se ob prehodu skozi mrežico ohranja.

Sprememba valovne dolžine svetlobe, ne pa tudi njene frekvence, pomeni, da se svetlobi ob prehodu mrežice spremeni hitrost.

Na merilniku WHAM, ki je bil uporabljen pri meritvi svetlobe s kometa, opisani v drugem poglavju, v splošnem opazimo dve spektralni črti, ***Λ*** in ***F.*** Spektralna črta, ki jo ustvari komet, se na merilniku prikaže v obliki dveh vrhov svetlosti.

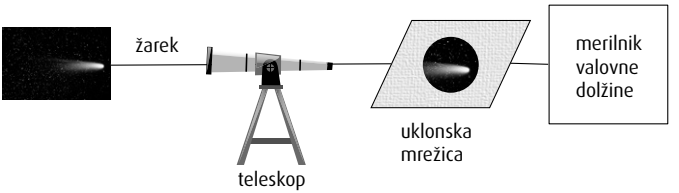


Slika 5: Svetlost ene in druge spektralne črte je odvisna od strukture uklonske mrežice.

Eden od rezultatov merjenja je prikazan in opisan na Sliki 3. Še bolj izrazito pa obe spektralni črti izstopata v podobni meritvi, kar prikazuje Slika 5. Ena meritev kaže svetlobo z Zemlji približujočega se kometa, druga meritev pa od Zemlje oddaljujočega se kometa.

Gibanje kometa ne vpliva na valovno dolžino spektralne črte $\boldsymbol{\Lambda}$. Spektralni črti $\boldsymbol{F}$ pa se valovna dolžina spremeni za toliko, kot to določa Dopplerjev zakon, skladno s hitrostjo kometa.

Merilnik valovne dolžine svetlobe WHAM, ki so ga uporabili pri meritvi svetlobe s kometa Hale-BOPP, so usmerili proti glavi kometa. Za namen usmerjanja merilnika je na prehodu s teleskopa na merilnik valovne dolžine nameščena mrežica, kot kaže Slika 6. Mrežica zadrži del svetlobe in jo preusmeri proti očesu upravljalca merilnika. Na tej mrežici upravljalec merilnika opazuje sliko, ki jo teleskop skozi mrežico pošilja na merilnik valovne dolžine.



Slika 6: Ključni element pri ločenem merjenju frekvence in valovne dolžine svetlobe je uklonska mrežica.

Mrežica pa ni nameščena le zato, da pomaga pri usmerjanju merilnika. Nehote opravlja tudi funkcijo uklonske mrežice, čeprav v meritvah ni omenjeno, da bi bil to njen namen.

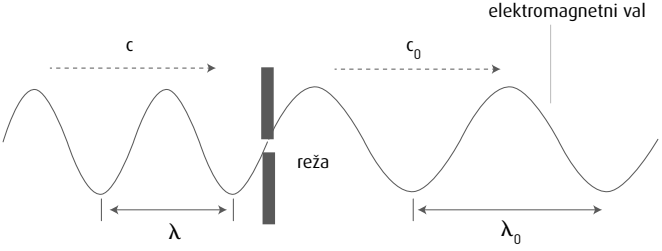
Če med teleskopom in merilnikom valovne dolžine ni uklonske mrežice, opazimo le spektralno črto $\boldsymbol{\Lambda}$. Ko pa med teleskop in

merilnik vstavimo uklonsko mrežico, se na merilniku pojavi še spektralna črta **F**, katere valovna dolžina je odvisna od hitrosti kometa. Uklonska mrežica torej delu svetlobe spremeni valovno dolžino.

Uklonska mrežica ima lahko različno gostoto rež. Oblika uklonske mrežice določa razmerje med višino enega in drugega vrha svetlosti na diagramu, ki ga prikazuje Slika 5.

Svetlobni val je medsebojno prepletanje električnega in magnetnega polja. Prepleteni valovanji električnega in magnetnega polja imata določene prostorske razsežnosti. Vsak svetlobni val ima torej določen volumen.

Ravno tako ima vsaka reža v uklonski mrežici določeno širino. Pozornost namenimo režam, katerih širina reže je podobna velikosti svetlobnega vala.



Slika 7: Uklonska mrežica vhodno hitrost svetlobe prilagodi na njeno svetlobno hitrost.

Kadar svetloba potuje skozi režo, ki je po velikosti podobna svetlobnemu valu, svetlobni val reže ne preide neovirano. Svetlobni val zadene ob njen rob, ta pa mu popači obliko. Po prehodu svetlobe skozi režo notranje sile električnega in magnetnega polja svetlobni val na novo uredijo v optimalno obliko, kot mu jo določajo Maxwellovi zakoni.

Za uklonsko mrežico svetlobni val zaradi popačitve izgubi informacijo o valovni dolžini vpadle svetlobe na mrežico, ohranja pa informacijo o frekvenci vpadle svetlobe.

Za mrežico svetlobno valovanje ustvari novo valovno dolžino, kot jo določajo Maxwellove enačbe in frekvenca svetlobe. Svetloba uklonsko mrežico posledično zapusti s svetlobno hitrostjo ne glede na to, s kakšno hitrostjo svetloba vpade nanjo.

V fiziki je dolgo veljalo prepričanje, da frekvence svetlobe ni mogoče meriti. Ravno merjenje spremembe valovne dolžine spektralne črte ***F*** za uklonsko mrežico na Sliki 5 pa daje možnost merjenja frekvence vpadne svetlobe, kar je pojasnjeno v naslednjem poglavju.

Za ponovitve opisanega merjenja nam ni treba čakati na prihod kometa. Meritve lahko ponovimo na osnovi svetlobe z Marsa ali Jupitra. Opisane lastnosti svetlobe lahko z meritvami preveri marsikateri astronomski laboratorij.

Ob prehodu svetlobe skozi uklonsko mrežico ta svetlobnemu valu popači obliko. Ob prehodu mrežice svetlobni val izgubi informacijo o svoji valovni dolžini, ohranja pa informacijo o svoji frekvenci.

Za mrežico svetlobni val obnovi svojo obliko. Ustvari novo valovno dolžino, ki jo določajo Maxwellove enačbe in frekvenca svetlobe.

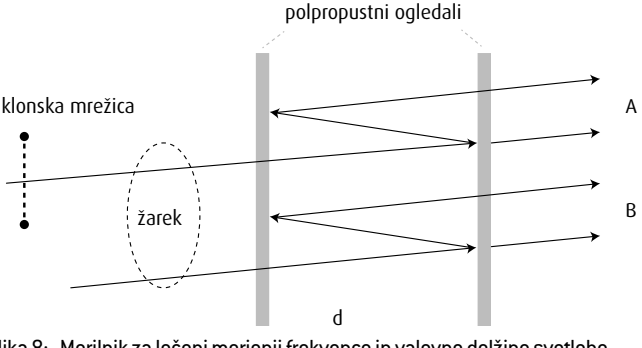
Iz merjene novonastale valovne dolžine svetlobe lahko odčitamo frekvenco svetlobe.

Merjenje frekvence svetlobe

Merjenje frekvence svetlobe, neodvisno od merjenja valovne dolžine svetlobe, tehnološko ni zahtevno. Obstoječa oprema mnogih astronomskih observatorijev omogoča ločeno merjenje frekvence svetlobe in njene valovne dolžine. S tem pa je omogočeno merjenje hitrosti svetlobe v različnih okoliščinah, v katerih hitrost svetlobe še ni bila izmerjena.

Strokovni članki, ki opisujejo ločeni merjenji frekvence in valovne dolžine svetlobe, vsake meritve posebej, so redki. Obstajajo celo pomisleki, ali je izvedljiv merilnik za merjenje frekvence vidne svetlobe.

Shema na Sliki 8 prikazuje merilnik valovne dolžine in tudi merilnik frekvence svetlobe; torej vsako meritev posebej.



Slika 8: Merilnik za ločeni merjenji frekvence in valovne dolžine svetlobe.

Žarek z leve strani prispe na vhod v merilnik. Ločimo ga v žarek A in žarek B. Žarek A pred polpropustnim ogledalom potuje

skozi uklonsko mrežico, kot kaže Slika 8. Drugi del žarka, ki je označen z B, potuje neposredno do polprepustnega ogledala mimo uklonske mrežice.

Merilnik valovne dolžine svetlobe

Meritev valovne dolžine svetlobe je poznana že od leta 1899. Omogoča jo Fabry-Pérotov interferometer. Meritev ilustrira žarek B na Sliki 8.

Fabry-Pérotov interferometer je sestavljen iz dveh polpropustnih ogledal. Žarek B na Sliki 8 potuje skozi prvo ogledalo. Na drugem se del žarka odbije, del žarka pa pot nadaljuje. Odbiti žarek se še enkrat odbije od prvega ogledala, se vrne do drugega ogledala in ga preide.

Oba žarka na Sliki 8, označena s črko B, ki preideta drugo ogledalo, se združita in ustvarita interferenco. Interferenco ustvarita, kadar je razdalja med ogledaloma mnogokratnik valovne dolžine žarka. Interferenca žarkov se kaže v obliki svetlobnega vrha oziroma spektralne črte Λ, kot je prikazana na Sliki 5. Izmerjena valovna dolžina svetlobe ni odvisna od frekvence svetlobe.

Merilnik frekvence svetlobe

Frekvenco svetlobe merimo na osnovi žarka A, prikazanega na Sliki 8. Polpropustni ogledali žarku A merita valovno dolžino na enak način kot žarku B. Razlika je v tem, da uklonska mrežica pred vstopom žarka na polpropustno ogledalo temu spremeni valovno dolžino, kot je pojasnjeno v prejšnjem poglavju.

Žarek A na polpropustno ogledalo Fabry-Pérotovega interferometra vpade z drugo valovno dolžino kot žarek B. Posledično žarka A in B ustvarita spektralno črto vsak pri svoji valovni dolžini.

Spektralna črta **Λ** kaže valovno dolžino svetlobe (λ), ki neposredno s kometa vpade na merilnik mimo uklonske mrežice.

Spektralna črta **F** se pojavi pri valovni dolžini $\boldsymbol{\lambda_f}$. Le-ta je zamaknjena za toliko, kolikor uklonska mrežica žarku A spremeni valovno dolžino.

Hitrost svetlobe med uklonsko mrežico in polpropustnim ogledalom je vedno enaka konstanti c. Po drugi strani se frekvenca svetlobe na uklonski mrežici ne spreminja. Frekvenca merjene vpadle svetlobe na merilnik je enaka pred in tudi za uklonsko mrežico.

Med uklonsko mrežico in polpropustnim ogledalom sta znana dva parametra hitrosti svetlobe. Za uklonsko mrežico imamo znano hitrost svetlobe, ki je enaka c. Izmerjeno pa imamo tudi valovno dolžino svetlobe, ki jo pokaže spektralna črta **F**. Iz teh dveh podatkov lahko izrazimo vpadno frekvenco svetlobe.

$$\mathbf{f = \lambda_f / c}$$

Meritev omogoča merjenje frekvence svetlobe neodvisno od valovne dolžine vpadle svetlobe.

Ob meritvi svetlobe s kometa mrežica, ki so jo vstavili za namen usmerjanja teleskopa, po naključju predstavlja uklonsko mrežico ter s tem ustvarja merilnik frekvence svetlobe, kot je prikazan na Sliki 8. Ob meritvi svetlobe s kometa izvajalci meritve vloge mrežice niso prepoznali.

Za širšo potrditev delovanja opisanega merilnika so potrebne ponovitve te meritve v več institucijah. Le tako smo lahko prepričani o delovanju in uporabnosti merilnika frekvence vidne svetlobe.

Na srečo za preverjanje metode meritve ne potrebujemo kometa, ki se le občasno pojavlja na našem nebu. Metodo merjenja lahko preverjamo na osnovi svetlobe z Marsa ali Jupitra, ki na izvoru svetlobe ustvarjata ustrezne pogoje za merjenje, po drugi strani pa sta z zadostno svetlostjo redno prisotna na nebu.

Tehnološko nezahteven merilnik frekvence in valovne dolžine pomeni prehod s postulatov o hitrosti svetlobe v mejenje le-te, kar raziskovanje in poznavanje svetlobe uvrsti med znanstvene discipline.

Meritev svetlobe, ki prihaja s Sonca

Hitrost svetlobe, ki na Zemljo prispe s Sončeve korone, je odvisna od hitrosti delcev na Soncu. Delci Sončeve korone ustvarjajo znaten frekvenčni raztros svetlobe skladno z Dopplerjevim zakonom. Hitrost teh delcev pa le neznatno vpliva na valovno dolžino svetlobe.

Za opazovanje Sonca sta ESA in NASA v Zemljino orbito utirili satelit SOHO. Ta vsebuje več instrumentov, tudi Fabry-Pérotov interferometer (LASCO C1) za merjenje valovne dolžine svetlobe.

Svetloba s Sonca do satelita SOHO vso pot potuje po vakuumu. S tem se izognemo vplivu ozračja na valovno dolžino svetlobe.

Na površini Sonca so turbulence, zaradi katerih se delci Sončeve korone gibljejo s hitrostjo nekaj deset km/s in več. Ob Sončevih izbruhih plazma Sončeve korone doseže hitrost tudi več kot tisoč km/s.

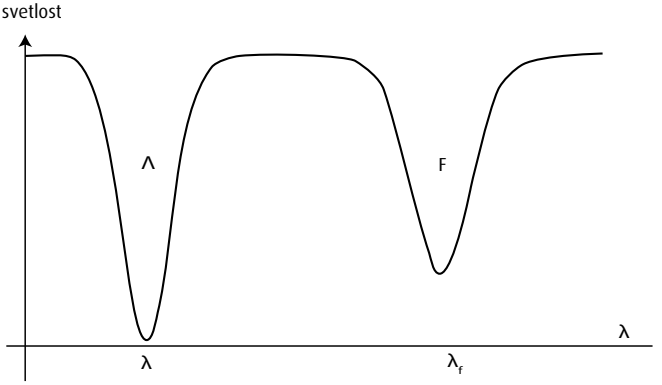
Kljub velikim hitrostim plazme merilnik LASCO C1 na satelitu SOHO ne zazna zamika spektralne črte $\mathbf{\Lambda}$ v obsegu, kot bi ga pričakovali glede na Dopplerjev zakon.

Preden pojasnimo, zakaj raztros spektralne črte ne sledi Dopplerjevemu zakonu, si oglejmo še nekaj značilnosti Sončeve svetlobe.

Na Soncu ne merimo le svetlih spektralnih črt kot pri opisani meritvi na kometu, merimo tudi temne spektralne črte. Poznamo namreč svetle in temne spektralne črte.

Svetle spektralne črte se pojavijo tam, kjer atom pri določeni valovni dolžini seva več svetlobe kot na preostalem področju. V tem primeru pride do vrhov svetlosti **F** in **Λ**, kot ju kaže Slika 5. Temne spektralne črte se pojavijo tam, kjer atom v ozkem pasu valovnih dolžin ne seva svetlobe. V beli svetlobi manjkajo določene barve.

Temna spektralna črta namesto svetlobnih vrhov ustvarja svetlobni zatemnitvi ***F*** in ***Λ***, kot kaže Slika 9. Atomi ustvarjajo njihovim snovnim lastnostim lastne spektralne črte pri določenih valovnih dolžinah.



Slika 9: Svetlobni zatemnitvi spektralnih črt.

V svetlobi s Sonca izmerimo veliki razliki v širinah zatemnitev ***Λ*** in ***F***. Hitrost plazme ima za nekaj razredov večji vpliv na širino zatemnitve ***F*** kot na širino zatemnitve ***Λ***. Zatemnitev ***F*** se razširi na takem razponu valovnih dolžin, da le-ta postane svetla in neizrazita. Pogosto postane nerazpoznavna. Spektralna črta svetlobe s Sonca je posledično jasno prepoznavna le v zatemnitvi ***Λ***.

Zatemnitev temne spektralne črte svetlobe iz mirujočega izvora v laboratorijskih razmerah zavzema le približno 10^{-5} nanometrov širok pas valovnih dolžin. Po Dopplerjevem zakonu se zaradi hitrosti atomov v Sončevi koroni spektralna črta ***F*** seli levo in desno po spektru mnogo širše. Seli se na področju 10^{-2} nanometrov.

Premike spektralne črte po svetlobnem spektru si ponazorim v bolj predstavljivem merilu. Merilo spremenim tako, da spektralna črta osvetljuje neki segment valovnih dolžin v obsegu enega centimetra. V takem merilu se zaradi različnih hitrosti plazme na Soncu spektralna črta ***F*** seli levo in desno na razdalji 10 metrov. Spreminjajoča hitrost delca na Soncu bi v tem merilu naključno premikala en centimeter široko spektralno črto ***F*** na razponu 10 metrov.

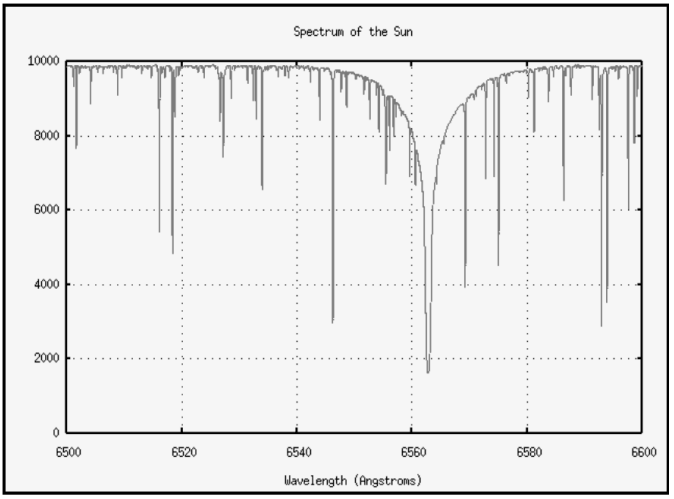
Opazovani razpon valovnih dolžin 10 metrov hkrati osvetljuje na tisoče atomov. Vsak atom Sončeve korone ustvarja zatemnitev ***F*** pri drugi valovni dolžini, odvisno od njegove trenutne hitrosti. Valovne dolžine, ki je ne osvetljuje atom, jo hkrati osvetljuje tisoče drugih atomov Sončeve korone. Zatemnitev ***F*** je s tem osvetljena pri vseh valovnih dolžinah in s tem nezaznavna.

Praviloma do nerazpoznavnosti razširjena zatemnitev ***F*** oteži merjenje frekvence Sončeve svetlobe. Frekvence spektralne črte in s tem hitrosti molekul v Sončevi koroni je možno meriti v primeru, ko teleskop usmerimo v posamezni izbruh Sončeve korone, kjer se molekule gibljejo z med seboj podobnimi hitrostmi. V tem primeru se vsaj za silo ohranja prepoznavnost zatemnitve ***F***. S tem merjenje frekvence svetlobe za silo omogoča merjenje hitrosti Sončevega izbruha.

Večji problem nastane pri merjenju zatemnitve ***F*** oziroma frekvence svetlobe z oddaljenih zvezd. Tam teleskopa ne moremo

usmeriti v posamezne izbruhe plazme. Skrajno oteženo, če že ne onemogočeno merjenje frekvence svetlobe z zvezd onemogoča merjenje hitrosti gibanja zvezd.

Spremembe frekvence Sončeve svetlobe, ob neznatnih spremembah valovne dolžine svetlobe, pomenijo spremembe hitrosti svetlobe. Vprašam se, kakšno obliko bi imele spektralne črte, če bi svetloba imela vedno enako hitrost, ne glede na hitrost vira svetlobe.



Slika 10: Množica spektralnih črt (zatemnitev Λ) svetlobe s Sonca.

V primeru veljavnosti postulata o vedno enaki hitrosti svetlobe bi se ob spremembi hitrosti vira svetlobe močno spreminjala tako frekvenca kot valovna dolžina svetlobe. Hitrost vira svetlobe bi enako razširila obe spektralni črti F in Λ. Obe zatemnitvi F in Λ bi bili osvetljeni in neizraziti do nerazpoznavnosti. Spektralne črte ne bi bile zaznavne.

Izmerjeno svetlost Sonca, to je zatemnitev posameznih valovnih dolžin svetlobe, prikazuje diagram na Sliki 10. Prikazuje množico zatemnitev Λ.

Jasno prepoznavna oblika zatemnitev Λ dokazuje, da hitrost vira svetlobe neznatno vpliva na valovno dolžino svetlobe.

Zmotno razumevanje meritev spektralnih črt v svetlobi s Sonca je zmotilo izvajalce meritev pri merjenju hitrosti Sončeve korone. V meritvi so prepoznali zatemnitev Λ, ki skoraj ne spreminja valovne dolžine v odvisnosti od hitrosti Sončeve korone. Na osnovi pristransko razumljenih rezultatov meritev so sklepali bodisi to, da se Sončeva korona giblje zelo počasi, da je zelo umirjena, bodisi celo, da je mirujoča. Nekateri so celo sklepali, da njihov instrument ne deluje.

Pravi razlog za njihove napačne sklepe pa je bilo nerazumevanje meritve, ki so jo opravljali.

Objavljenih je bilo več meritev, ki zmotno razlagajo rezultate meritev valovne dolžine svetlobe s Sonca in napačno sklepajo o hitrosti vira svetlobe. Naj omenim le nekaj izstopajočih:

Meritev Sončeve korone s satelita SOHO.

E. Robbrecht: *New techniques for the characterization of Dynamical Phenomena in Solar Coronal Images*, Katholishe Universiteit Leoven, februar 2007.

A. B. Delone, E. A. Makarova, G. V. Yakunina: ‚Evidence for Moving Features in the Corona from Emission Line Profiles Observed During Eclipses", v: *Journal of Astrophysics and Astronomy* volume 9, str. 41–47, Moskva, 1988.

K. P. Raju, J. Singh, S. Muralishanker: ‚Fabry-Parot Interfereometric Observation of the Solar Corona in the Green line", v: Kodaikanal Obs. Bull., Vol. 13, str. 41–46, Indijski inštitut za astrofiziko, Indija, 1997.

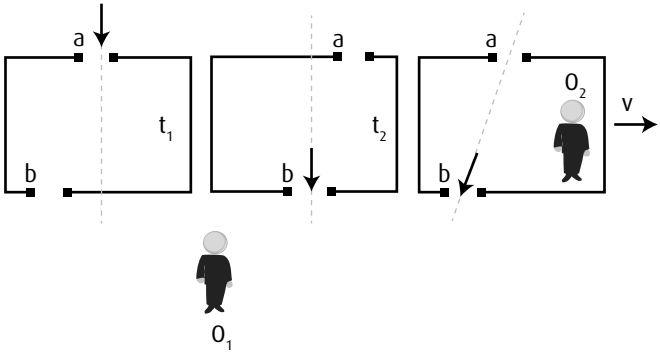
A. Delone, M Divlekeev, O. Smirova, G. Yakunina: ‚Interferometric Investigations of the Solar Corona During Solar Eclipses and Problems for Future", Moskva, Inštitut za astronomijo Sternberg, 1998.

V svetlobi, ki prihaja s Sonca in drugih zvezd, ne bi zaznali spektralnih črt, če bi bila hitrost svetlobe v vakuumu enaka v vseh okoliščinah.

Prečno gibanje vira svetlobe vpliva na valovno dolžino svetlobe

Postulat o vedno enaki hitrosti svetlobe določa, da hitrost svetlobe, ki vpada na kolesarja, ni odvisna od hitrosti kolesarja. Že opisane meritve kažejo drugače. Kažejo, da je hitrost svetlobe glede na kolesarja vsota vpadne hitrosti svetlobe na kolesarja in hitrosti kolesarja.

Na satelitu SOHO so izmerili, da hitrost gibanja delcev v Sončevi koroni neznatno razširi zatemnitev spektralne črte Λ, kar je razvidno s Slike 10. Kako in zakaj se pojavi razširitev zatemnitve spektralne črte Λ, je shematsko pojasnjeno na Sliki 11. Slika kaže v desno gibajočo se škatlo, ki ima dve luknji, eno zgoraj in drugo spodaj. Škatlo skozi luknji preleti foton, ki ga opazujeta dva opazovalca: mirujoči zunanji opazovalec O_1 ter opazovalec O_2, ki se nahaja v škatli in se giblje skupaj z njo.



Slika 11: Opazovalca na sliki zaznata različni valovni dolžini žarka.

Opazovalec fotona ne vidi. Kljub temu ve, da ta potuje skozi obe luknji. Če bi foton zgrešil spodnjo luknjo, bi osvetlil notranjost škatle. Podobno bi, če bi zgrešil zgornjo luknjo, osvetlil vrh škatle.

Ista škatla je narisana trikrat. Na levi skici je narisan pogled mirujočega opazovalca O_1 na foton v trenutku, ko ta potuje skozi zgornjo luknjo gibajoče se škatle.

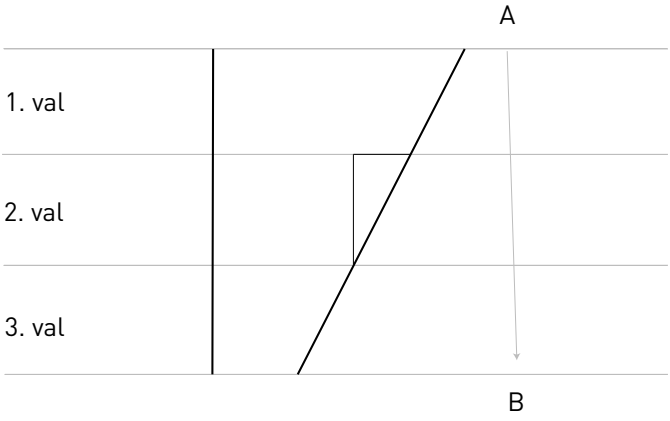
Srednja skica opazovalcu O_1 prikazuje dogajanje čez nekaj časa, to je v trenutku, ko se spodnja luknja za toliko premakne v desno, da se foton znajde v njej. Opazovalec O_1 prepozna navpičen let fotona.

Desna skica prikazuje v škatli potujočega opazovalca. Opazovalec v škatli ne zaznava gibanja škatle. Miruje v njej.

Tudi opazovalec O_2, ki se nahaja v škatli, prepozna prehod fotona med luknjama. Ker sta luknji zamaknjeni, ne zaznava navpičnega prehoda fotona skozi škatlo kot zunanji opazovalec, ampak zazna poševni prehod fotona med luknjama. Drugačno izhodišče opazovanja opazovalcu v škatli prikaže drugačno smer gibanja fotona.

Slika 12 kaže geometrijo poti žarkov od vstopa žarka v škatlo (točka A) do izstopa žarka iz škatle (točka B). Oba opazovalca zaznata enako višino škatle (tudi ob upoštevanju teorije relativnosti), to je enako razdaljo med točkama A in B.

V opazovanem trenutku je v škatli določeno število svetlobnih valov (na skici so narisani trije valovi). Število valov ni odvisno od opazovalca. Daljša pot svetlobnega vala za opazovalca O_2 pomeni, da ta izmeri daljšo valovno dolžino svetlobe kot zunanji opazovalec.



Slika 12: Valovna dolžina svetlobe za opazovalca v škatli se poveča na vektorsko vsoto svetlobne hitrosti in hitrosti škatle.

Primer ponazarja, v kakšnih primerih meritev valovne dolžine svetlobe s Sonca satelit SOHO pokaže spremembo valovne dolžine.

Delci na Soncu, ki oddajajo svetlobo, se gibljejo v različnih smereh, nekateri proti Zemlji, drugi prečno glede na Zemljo. Hitrosti delcev Sončeve krone, ki potujejo proti Zemlji, ne vplivajo na valovno dolžino proti Zemlji oddane svetlobe, znatno pa vplivajo na njeno frekvenco. Izračun pokaže, da se pri delcih, ki se v Sončevi koroni gibljejo s hitrostjo 30 km/s v smeri proti Zemlji, po Dopplerjevem zakonu frekvenca svetlobe spremeni približno za faktor 10^{-4}.

Drugače je s prečnimi hitrostmi delcev. Prečne hitrosti delcev ne vplivajo na frekvenco svetlobe, vplivajo pa na valovno dolžino svetlobe. Valovna dolžina se pri podobnih prečnih hitrostih delcev v Sončevi koroni spremeni v razredu 5.10^{-9}.

Kadar govorimo o primerljivih hitrostih, enkrat v prečni smeri, drugič v smeri proti Zemlji, se valovna dolžina svetlobe v primerjavi s spremembo njene frekvence spremeni neznatno.

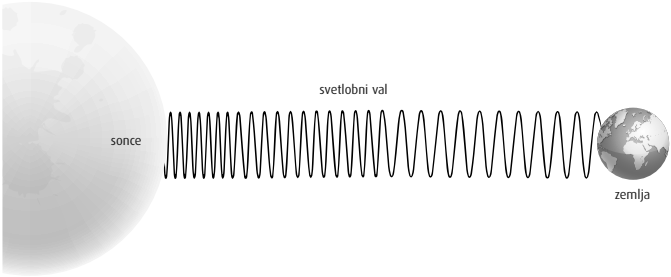
V razširitvi zatemnitve Λ so na satelitu SOHO posledično zaznali le prečne hitrosti delcev z neznatnim vplivom na valovno dolžino svetlobe. Izmerili so, tako so zapisali, zelo umirjeno Sončevo korono. Te spremembe valovne dolžine so zmotno ocenjevali na osnovi Dopplerjevega zakona in ocenili, da je Sončeva korona za več razredov bolj umirjena, kot je v resnici.

V strokovni literaturi niso redke zmote o umirjeni Sončevi koroni. Nastale so na osnovi zmotnega razumevanja lastnosti svetlobe in temu primernih meritev hitrosti svetlobe.

Gravitacija vpliva na hitrost svetlobe

Hitrost svetlobe, ki prihaja iz gravitacijskega polja, je merljiva. Ločeno merjenje frekvence in valovne dolžine svetlobe pokaže, da gravitacija vpliva na valovno dolžino svetlobe, ne pa na njeno frekvenco.

Kateri koli svetlobi, tudi svetlobi, ki prispe iz gravitacijskega polja, lahko ločeno merimo tako frekvenco kot valovno dolžino, na primer tako, kot je prikazano na Sliki 8.



Slika 13: Gravitacija svetlobi na poti s Sonca podaljšuje valovno dolžino, ohranja pa se njena frekvenca.

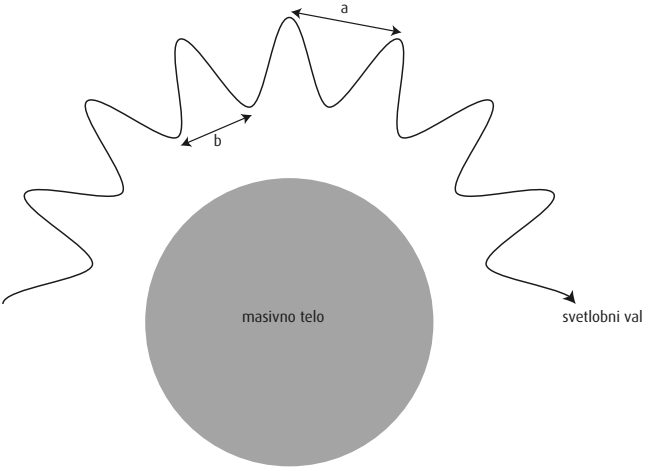
Pri tej meritvi naletimo na ovire, ki so opisane v šestem poglavju. Zaznavna in merljiva je spektralna črta $\boldsymbol{\Lambda}$ za merjenje valovne dolžine. Spektralna črta $\boldsymbol{F}$ pa je lahko razmazana in nečitljiva, kadar merimo frekvenco svetlobe z nebesnega telesa, na katerem vladajo velike turbulence. To lahko oteži ali celo onemogoči merjenje frekvence svetlobe.

Vpliv gravitacije na hitrost svetlobe lahko merimo v svetlobi, ki prihaja z Jupitra. Na njegovi površini so neznatne turbulence.

Oba vrha svetlosti $\boldsymbol{F}$ in $\boldsymbol{\Lambda}$ sta merljiva. Merljivi sta torej tako frekvenca svetlobe kot njena valovna dolžina.

Hitrost med Zemljo in Jupitrom je v vsekam trenutku poznana, tako da lahko ocenimo, kolikšen del frekvenčnega zamika spektralne črte izhaja iz gravitacije, kolikšen del pa iz medsebojnega gibanja. Za krajši čas Zemlja in Jupiter med seboj ciklično celo mirujeta in takrat je frekvenčni zamik spektralne črte lahko le rezultat razlike v gravitacijskih poljih enega in drugega planeta.

V literaturi ni zapisov o meritvah hitrosti svetlobe, ki prihaja iz gravitacijskega polja. Obstaja celo skušnjava, da bi svetlobi, ki prihaja iz gravitacijskega polja, brez meritev določili vedno enako hitrost.



Slika 14: Gravitacija ob masivnem telesu ob enaki frekvenci svetlobe spreminja valovno dolžino svetlobe,

Z opazovanjem Jupitra pa niso izkoriščene vse možnosti merjenja vpliva gravitacije na hitrost svetlobe. Meritev lahko opravimo

na primer s pomočjo geostacionarnega satelita. Ti sateliti mirujejo na nebu. Merimo lahko tako valovno dolžino kot frekvenco radijskega vala, ki prihaja iz njih.

Že pred dokončno opravljenimi meritvami lahko na osnovi drugih opažanj sklepamo, kakšen bo rezultat meritev. Sliko 13 lahko narišemo tudi drugače, tako kot kaže Slika 14. V *trirazsežnem* prostoru se svetlobni val ukrivi ob masivnem telesu, kot je to izmeril Eddington.

Valovna dolžina na zunanjem delu svetlobnega vala (a) je večja od valovne dolžine (b) na notranji strani svetlobnega vala. Če valovni dolžini ne bi bili različni, se val v trirazsežnem prostoru ne bi krivil.

Frekvenca vala pa je enaka tako na notranji kot na zunanji strani vala, kar pomeni, da gravitacija drugače vpliva na frekvenco svetlobe kot na njeno valovno dolžino. S tem pa gravitacija vpliva na hitrost svetlobe. Na zunanjem robu je hitrost svetlobe večja kot na notranjem robu.

V fiziki se pojavlja ugovor, da tako razmišljanje ustreza le pojmovanju svetlobe skladno z Maxwellovim zakonom v trirazsežnem prostoru. Tako razmišljanje naj ne bi bilo skladno s fotonom kot točko v kvantni fiziki ali s pojmovanjem pojavov v štirirazsežnem prostoru. Tem vprašanjem je namenjeno naslednje, deveto poglavje.

Krivljenje svetlobe okrog masivnega telesa je zgolj vmesni korak na poti k dokazovanju vpliva gravitacije na hitrost svetlobe. Končni odgovor bo dala meritev vpliva gravitacije na hitrost svetlobe.

Meritev frekvence in valovne dolžine svetlobe z Jupitra lahko opravimo na osnovi metode, ki je prikazana na Sliki 8. V primeru

meritev elektromagnetnega valovanja z geostacionarnega satelita pa lahko frekvenco merimo celo s štetjem elektromagnetnih valov. Meritev, kako gravitacija vpliva na frekvenco in valovno dolžino svetlobe, lahko torej izvedemo na več načinov; tehnoloških ovir ni.

Meritve hitrosti svetlobe v gravitacijskem polju kažejo, da se svetlobi, ki prihaja z zelo masivnega nebesnega telesa, na poti do nas hitrost lahko poveča na večkratnik svetlobne hitrosti, kot jo določa konstanta c.

Zaznavamo trirazsežni svet

Ljudje zaznavamo trirazsežni svet, fizika pa je veda, ki raziskuje nam zaznavne pojave, torej pojave trirazsežnega sveta.

Ko se poglabljamo v štirirazsežni svet, je to lahko le pomoč za lažje razumevanje nam zaznavnega trirazsežnega sveta.

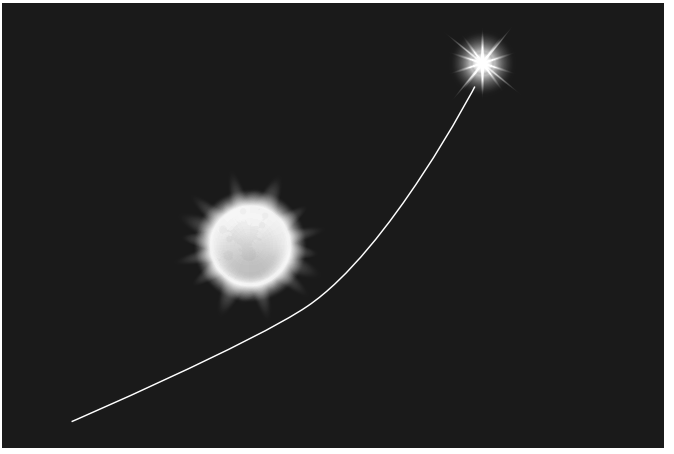
Ob izpostavljanju štirirazsežnega sveta, brez oziranja na trirazsežni svet, obstaja nevarnost, da namesto znanosti naše občutke prevzame mistika.

Fizikalna veda raziskuje zaznavne in merljive naravne pojave. Ljudje pojave opazujemo, merimo in zaznavamo v trirazsežnem prostoru. Osnovna vloga fizike je torej pojasnjevanje pojavov v nam predstavljivem trirazsežnem svetu.

V fiziki se v zadnjem stoletju omenja tudi štirirazsežni prostor. Einstein je leta 1916 objavil splošno teorijo relativnosti, s katero je pojasnil, da prisotnost mase v prostoru vpliva tako na razdalje v prostoru kot tudi na tek časa. Masa oziroma gravitacija, tako Einstein, ukrivi prostor. Govorimo o štirirazsežnem ukrivljenem prostoru.

Ob primerjanju trirazsežnega prostora s štirirazsežnim pa naletimo na neskladnosti. Teorija relativnosti temelji na takemu krivljenju prostora, v katerem gravitacijsko polje ne vpliva na hitrost svetlobe. Rezultati meritev hitrosti svetlobe v trirazsežnem prostoru, ko svetloba potuje skozi gravitacijsko polje, ne kažejo vedno enake hitrosti svetlobe. V trirazsežnem prostoru gravitacija vpliva na hitrost svetlobe.

V trirazsežnem prostoru na primer opažamo, da gravitacija krivi pot svetlobe ob masivnem telesu. Meritve Arthurja Eddingtona iz leta 1919 smemo razumeti tako, da gravitacija Sonca v trirazsežnem prostoru krivi pot svetlobe, kot je prikazano na Sliki 15.



Slika 15: Svetlobni žarek na poti ob Soncu v trirazsežnem prostoru spremeni smer.

Žarka na poti ne vidimo. O njegovi poti lahko sklepamo podobno, kot o poti svetlobe sklepajo optiki. Optiki gibanje svetlobe ponazorijo z risanjem geometrije poti žarkov skozi leče. Pri opisovanju poti svetlobe uporabljajo geometrijo trirazsežnega prostora.

Za takšno opisovanje poti svetlobe, kot ga uporabljajo optiki, v fiziki torej ni zadržkov. Zaključiti smemo, da se pot svetlobe v trirazsežnem prostoru gravitacije krivi. Krivljenje svetlobe opažamo tudi v primeru, kadar svetloba do nas prispe mimo galaksij, to je v primeru lečenja galaksij.

Svetlobo torej lahko opazujemo v trirazsežnem prostoru, kjer gravitacija vpliva na njeno hitrost in krivi njeno pot, ali pa v štirirazsežnem prostoru, kjer svetloba potuje naravnost z vedno enako hitrostjo.

Postavi se vprašanje, ali je te nasprotujoče si poglede možno poenotiti vsaj na matematičnem nivoju. Vloga matematike je, da formalizira naše sklepanje. Naše sklepanje je lahko stvarno realno ali zmotno. Kadar pojav razumemo objektivno, je matematični zapis pojava odsev realnosti. Kadar pojav dojemamo zmotno, temu dojemanju sledi tudi zmoten matematični opis pojava. Matematično skladno lahko opišemo tudi zmotno razumevanje pojava.

Zmotni matematični zapis smo na primer doživljali v šoli. Če smo ob računanju uporabili napačno enačbo, je bil tak izračun sam po sebi matematično skladen, rezultat izračuna pa je bil napačen.

Iz matematičnega gledišča ni ovir, da pot svetlobe opišemo tako, kot jo opažamo v trirazsežnem prostoru, in tudi tako, kot jo pojmujemo v štirirazsežnem prostoru. Matematika je navsezadnje le oblika zapisa našega dojemanja nekega pojava, objektivnega ali tudi neobjektivnega. Matematika ni občutljiva na objektivnost zapisa, občutljiva je le na matematično skladnost zapisa.

Opisana razhajanja ustvarjajo dvom o tem, koliko nam teorija relativnosti sploh olajša razumevanje hitrosti svetlobe v nam zaznavnem trirazsežnem prostoru. Ali teorija relativnosti ne opisuje zgolj nekega namišljenega, imaginarnega štirirazsežnega prostora?

Štirirazsežni prostor lahko zaradi opisovanja nam nezaznavnih pojavov umestimo na obrobje področja fizike. Teorija

relativnosti opisuje pojave v svetu onkraj naših zaznav. Hitrost svetlobe v štirirazsežnem prostoru opisuje kot vedno enako, čeprav so rezultati meritve v trirazsežnem prostoru drugačni. Na osnovi teorije relativnosti lahko celo napačno sklepamo, da gravitacija ali hitrost vira svetlobe tudi v trirazsežnem prostoru ne vpliva na hitrost svetlobe.

Človek v svoji naravi teži k presežnosti. Kadar se nam razumevanje določenih spoznanj izmika in oddaljuje, se nehote zatekamo v mistiko. Štirirazsežni prostor je mističen prostor, saj nam ni neposredno zaznaven. Tuj je našim zaznavam. S privzemanjem teorije relativnosti se fizika oddaljuje od znanosti in prehaja v mistiko.

Tudi mistika nam ni čisto tuja. Mistika nas vabi, da vzpostavimo stik s tem, kar nam je na tak ali drugačen način prikrito, da pogledamo čez. Izstopa religiozna mistika, seveda pa v ta sklop lahko uvrstimo vsa druga razmišljanja, tudi fizikalna dogajanja, ki ne temeljijo na meritvah in naših zaznavah.

Wittgenstein nas ob vključevanju mistike v naša razmišljanja opozarja, da smemo razumsko raziskovanje na temelju zaznav opustiti šele takrat, ko smo na logičnem nivoju raziskali vse, kar je možno meriti in logično pojasniti. Tudi mistika na področju znanosti, če že posegamo po njej, naj temelji na izkustvu sicer nevidnega, vseeno pa objektivnega sveta.

Še posebej na področju gravitacije se moramo vprašati, ali smo res izmerili vse, kar nam tehnologija omogoča. Ali nismo prezgodaj zapustili zaznavnega trirazsežnega sveta? Ali nismo prezgodaj stopili v štirirazsežni prostor in s tem v svet mistike? Mistika je zelo mejno, če ne čezmejno področje znanosti.

Einstein s svojo teorijo relativnosti posega v mistiko, sodobna fizika pa mu sledi. Mistika v znanosti je nevarna zato, ker ima čustveni naboj. Mistika se zasidra v zavest ljudi in tako rekoč prepreči nadaljnji razvoj vede.

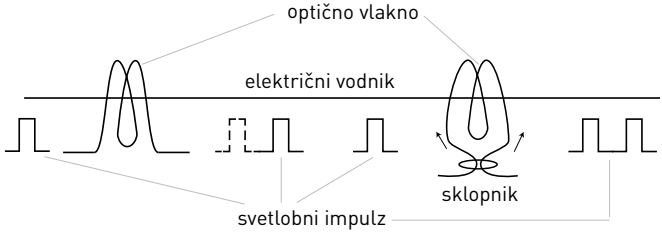
Magnetno polje vpliva na hitrost svetlobe

Industrijsko izdelan in v praksi uporabljen merilnik za merjenje toka v električnih daljnovodih deluje na osnovi vpliva magnetnega polja na hitrost svetlobe.

Opažamo različne vplive okolja na hitrost svetlobe. Nanjo vplivajo lomni količnik v snovi (steklu), gibanje vira ali ponora svetlobe, gravitacijsko polje in še kaj. Poglejmo, kako na hitrost svetlobe vpliva magnetno polje.

Prva študija vpliva magnetnega polja na svetlobo izhaja iz leta 1845. Takrat je Faraday odkril, da magnetno polje vpliva na polarizacijo svetlobe.

Magnetno polje vpliva tudi na hitrost svetlobe v optičnem vlaknu na način, kot je to prikazano na levi strani Slike 16. Na sliki prikazana meritev je bila objavljena v *Applied sciences* leta 2012 in je osnova za merilnik električnega toka v daljnovodu. Električni tok merimo na osnovi merjenja magnetnega polja ob žici daljnovoda, ki ga ustvarja električni tok.



Slika 16: Merjenje električnega toka v daljnovodu na osnovi vpliva magnetnega polja na hitrost svetlobe v optičnem vlaknu.

Okrog bakrenega vodnika, v katerem merimo električni tok, navijemo optično vlakno. V to optično vlakno usmerimo svetlobni impulz. Meritev pokaže, da je čas poti svetlobnega impulza skozi navitje optičnega vlakna odvisen od gostote magnetnega polja, ki ga v navitju optičnega vlakna ustvarja električni tok. Na levi strani Slike 16 je simbolično narisan časovni zamik svetlobnega impulza na izhodu iz optičnega vlakna.

Avtorji meritve so v zadregi pri pojasnjevanju rezultatov meritve. Kjer magnetno polje vpliva na hitrost svetlobe v njem, se razlagi izogibajo. Omenjajo, da magnetno polje vpliva na dolžino optičnega vlakna (magnetostrikcija). Tako razlago pa zanika naslednja meritev.

Merilnik električnega toka v daljnovodu v tej meritvi deluje na osnovi Sagnac interferometra. Opisan je v patentu EP2245426B1. Shematsko je merilnik prikazan na desnem delu Slike 16.

Svetlobni impulz pošljemo na optični sklopnik. Ta svetlobni impulz razdeli v dva žarka, ki v nasprotnih smereh potujeta skozi navitje optičnega vlakna. Ko svetlobna impulza prepotujeta optično vlakno, ju sklopnik združi in usmeri proti izhodu.

Magnetno polje enemu svetlobnemu impulzu poveča, drugemu pa zmanjša hitrost gibanja. Različna časa prehoda žarkov povzročita, da na izhodu izideta dva svetlobna impulza v časovnem zamiku. Časovni zamik med njima je pokazatelj električnega toka v daljnovodu oziroma posledično pokazatelj moči magnetnega polja ob žici daljnovoda.

V merilniku oba svetlobna impulza potujeta po istem optičnem vlaknu, vsak v svojo smer. Če se zaradi magnetnega polja spremeni dolžina optičnega vlakna, se spremeni za oba žarka enako.

To pa pomeni, da rezultat meritve ni odvisen od sprememb dolžine optičnega vlakna.

Sagnacov merilnik pokaže, da čas prehoda svetlobnega impulza skozi optično vlakno ni posledica magnetostrikcije. Ostane nam torej le še spoznanje, da magnetno polje vpliva na hitrost svetlobe.

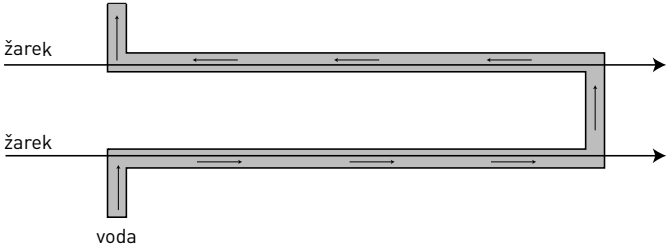
Svetlobni val in magnetno polje se v naravi na splošno lahko srečata v različnih okoliščinah. V pestrih okoliščinah ima magnetno polje lahko pestre vplive na hitrost svetlobe, tudi v smislu krivljenja svetlobnega žarka.

Sončeve pege lahko pojasnimo na osnovi vpliva magnetnega polja na hitrost svetlobe. Krivljenje svetlobnih žarkov pod vplivom magnetnega polja ustvari videz zatemnitev na površini Sonca, ustvari Sončeve pege.

Hitrost medija (vode) vpliva na hitrost svetlobe

Fizeau je izmeril, da je hitrost svetlobe v vodnem toku odvisna od hitrosti vodnega toka. Hitrost vodnega toka pa je odvisna od hitrosti opazovalca, ki opazuje vodni tok. To pa pomeni odvisnost hitrosti svetlobe od hitrosti opazovalca.

Hippolyte Fizeau je leta 1851 skozi stekleno cev s tekočo vodo usmeril dva žarka. Spodnji žarek na Sliki 17 se giblje v smeri tekoče vode, zgornji žarek pa v smeri, nasprotni toku vode.



Slika 17: Tekoča voda vpliva na hitrost svetlobe v njej.

Izmeril je, da hitrost vode v stekleni cevi vpliva na hitrost svetlobe. Meritev je opisana v članku *Fizeaujev eksperiment*.

Ugotovil je, da na hitrost svetlobe v tekoči vodi vplivata tako lomni količnik ***n*** kot tudi hitrost gibanja medija ***v;*** v tem primeru hitrost vode. Hitrost svetlobe v gibajočem mediju je zapisal z enačbo:

$$w_+ = \frac{c}{n} + v\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$$

Bolj kot številčna vrednost, koliko hitrost vode vpliva na hitrost svetlobe, je zanimivo že samo dejstvo, da se v enačbi, ki opisuje hitrost svetlobe, pojavi parameter hitrosti vodnega toka ***v***. Hitrost svetlobe v vodnem toku je torej odvisna od hitrosti vodnega toka.

Opazovalec se lahko giblje glede na vodni tok. S tem se spreminja hitrost vodnega toka glede na opazovalca. Opazovalec v vodnem toku, glede na meritev Fizeauja, zaznava hitrost svetlobe, ki je odvisna od hitrosti opazovalca oziroma od sistema opazovanja.

Tako pojmovanje gibanja svetlobe ni skladno z aktualnim postulatom, v skladu s katerim naj bi hitrost svetlobe ne bila odvisna od sistema opazovanja.

Kadar ljudje naletimo na nasprotujoče si poglede, se združujemo z namenom kolektivnega zagovarjanja takih ali drugačnih pogledov.

Ljudje se tudi sicer tako ali drugače združujemo. Skupine so lahko formalne ali neformalne. Skupina ima običajno neko idejo oziroma zgodbo in vodjo. Tako združevanje ljudi na idejni ravni poteka tudi v primeru zgodbe o hitrosti svetlobe in teorije relativnosti.

Ljudje se v skupino vključujemo tako, da sprejemamo ideje in mnenje skupine. Člani skupine nas sprejmejo, če opažajo, da smo njihovi somišljeniki. Za potrjevanje skupnih idej nas skupina celo nagrajuje.

Zagovorniki postulata o vedno enaki hitrosti svetlobe v vakuumu na primer prispevajo argumente za ohranjanje teh pogledov. S takim pristopom po eni strani krepijo trdnost skupine, po drugi strani pa utrjujejo svoje mesto v njej.

Na osnovi meritve Fizeauja lahko sklepamo, da veter ukrivi pot svetlobe v smeri pihanja vetra. Ob tem veter spreminja hitrost svetlobe. V tem primeru gre za neznatne uklone poti svetlobe. Bolj pomembno kot radij uklanjanja svetlobe je ključno spoznanje, da veter sploh vpliva na hitrost svetlobe.

Maxwellove enačbe potrjujejo, da hitrost ponora svetlobe vpliva na hitrost svetlobe

Svetlobno elektromagnetno valovanje opisujejo Maxwellove enačbe. Takšne enačbe, kot jih je zapisal Maxwell (brez relativnosti), zanikajo postulat o v vseh razmerah enaki hitrosti svetlobe v vakuumu.

Maxwellove enačbe in valovna funkcija sta obliki opisa svetlobnega valovanja. Ena od diferencialnih oblik enačb, kot jih je pred več kot sto leti zapisal Maxwell, ima naslednjo obliko:

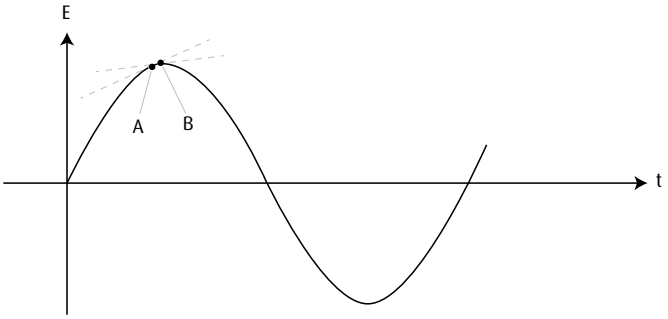
$$\nabla \times \mathrm{E} + \frac{\delta \mathrm{B}}{\delta t} = 0$$

Enačba je matematično zahtevna, zato se osredinim na to, kaj opisuje, in ne na to, kako to opisuje.

Prvi člen enačbe opisuje, kako se v prostoru od točke do točke spreminja električno polje. Določa ukrivljenost in strmino sinusoide v vsaki točki, ki opisuje električno polje. Enačba na primer določa, kako je na Sliki 18 v točki A in v točki B ukrivljena sinusna funkcija in kakšen je njen naklon.

Če poznamo naklon in ukrivljenost sinusne funkcije med točkama A in B, taki ukrivljenosti pripada ena sama sinusna funkcija z eno samo valovno dolžino valovanja.

Prvi člen Maxwellove enačbe torej določa valovno dolžino svetlobnega vala. Drugače povedano; valovno dolžino svetlobe določajo parametri v prvem členu Maxwellove enačbe.



Slika 18: Poznan naklon sinusoide v vsaki točki določa valovno dolžino sinusoide.

V prvem členu Maxwellove enačbe ni niti parametra časa niti parametra hitrosti. Valovna dolžina svetlobe, tako kot je enačbo zapisal Maxwell, posledično ni odvisna od hitrosti vira oziroma hitrosti ponora svetlobe.

Ta člen enačbe je skladen z rezultati meritev, ki so opisane v prejšnjih poglavjih. Rezultati meritev kažejo, da valovna dolžina svetlobe ni odvisna od hitrosti vira ali hitrosti ponora svetlobe.

Pri svetlobi se kljub razliki med valovanjema dogaja nekaj podobnega, kot se dogaja pri vodnem valovanju. Tako kot dolžina vodnega vala ni odvisna od hitrosti čolna, ki plove po valovih, tudi dolžina svetlobnega vala ni odvisna od hitrosti ponora svetlobe.

Drugi člen Maxwellove enačbe opisuje časovno spreminjanje magnetnega polja. Ta člen enoumno določa frekvenco svetlobnega vala. Parameter časa v tem členu kaže, da hitrost opazovalca vpliva na frekvenco svetlobe.

Na podoben način opazujemo tudi vodne valove iz čolna. Hitrost čolna vpliva na frekvenco udarjanja valov v čoln.

V Maxwellovih enačbah od hitrosti vira svetlobe neodvisna valovna dolžina svetlobe in spreminjajoča se frekvenca svetlobe pomenita vpliv hitrosti vira svetlobe na hitrost svetlobe.

Fiziki so s prihodom teorije relativnosti napisali novo obliko Maxwellovih enačb, tako imenovano tenzorsko obliko Maxwellovih enačb. Le-te v štirirazsežnem prostoru podpirajo postulat o v vseh razmerah enaki hitrosti svetlobe.

Take ali drugačne enačbe so le zapis našega razumevanja gibanja svetlobe, objektivnega ali zmotnega. Matematika dovoljuje tak ali drugačen opis elektromagnetnega valovanja. Enačbe torej ne morejo biti dokaz take ali drugačne hitrosti svetlobe. So le opis, kako je avtor enačbe razumel lastnosti svetlobe. Različni obliki Maxwellovih enačb kažeta na različni razumevanji gibanja svetlobe.

Poznamo še en matematični opis svetlobnega vala, to je *valovna enačba*. Enačba ima naslednjo obliko:

$$\frac{1}{c^2}\,\frac{\delta^2 s}{\delta t^2} - \nabla^2 s = 0$$

Enačba s parametrom c določa hitrost valovanja svetlobe.

V tej enačbi parametra c ne smemo enačiti s konstanto c, ki določa vedno enako hitrost svetlobe. Ta enačba lahko opisuje gibanje svetlobe v katerih koli okoliščinah in s katero koli hitrostjo. Opisuje jo tako, da se spreminja vrednost parametra c.

Hitrost svetlobe, ki prihaja na primer s kometa, pri čemer se komet giblje s hitrostjo v, lahko opišemo tako, da v valovni funkciji parameter c zamenjamo s parametrom c + v.

Na enak način gibanje svetlobe v snovi s to enačbo zapišemo tako, da parameter c zamenjamo s parametrom c/n, pri čemer je c svetlobna hitrost, n pa lomni količnik snovi.

Maxwellove enačbe in valovna funkcija so oblike razumevanja svetlobnega valovanja. V obliki, kot jih je zapisal Maxwell, kažejo, da gibanje vira svetlobe vpliva na hitrost svetlobe na ponoru.

Krovni pogled na gibanje svetlobe

Razumevanje gibanja svetlobe temelji na meritvah, matematičnem opisu rezultatov meritev, navsezadnje pa tudi na »zdravi pameti«.

Pozornost namenim enačbi, ki določa hitrost svetlobe, s katero ta zapusti vir svetlobe v okoliščinah, v katerih nanjo ne vplivata ne gravitacija ne magnetno polje, prav tako ne potuje po snovi. V takih okoliščinah svetlobni val zapusti vir svetlobe s hitrostjo:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

Hitrost svetlobe je v tem primeru enaka snovni konstanti c. Pri potovanju svetlobe po vakuumu izven gravitacije in magnetnega polja se na poti ohranja hitrost svetlobe c.

Hitrost svetlobe določata njena frekvenca in valovna dolžina.

Frekvenca svetlobe se na poti ne spreminja.

Kadar svetloba potuje po snovi, v gravitaciji ali skozi magnetno polje, te okoliščine ne vplivajo na frekvenco svetlobe, kadar slednjo opazujemo na izvoru svetlobe.

Svetlobni val na svoji poti srečuje množico različnih objektov, ki se gibljejo z različnimi hitrostmi. Svetlobni val ob srečevanju teh objektov (oziroma ob njihovem mimohodu), gledano z izvora svetlobe, ohranja svojo frekvenco.

Kakšno frekvenco svetlobe zaznamo na ponoru, pa ni odvisno le od oblike svetlobnega valovanja na poti, ampak tudi od

hitrosti ponora. Meritve svetlobe kažejo, da na ponoru frekvenco svetlobe zaznamo podobno kot frekvenco udarjanja vodnih valov v čoln ob različnih hitrostih čolna. Če iste valove prečka več čolnov, vsak s svojo hitrostjo, vsak zaznava drugačno frekvenco udarjanja valov v čoln. Čolni ne vplivajo na vodno valovanje, le zaznavajo ga drugače, zaradi svojih hitrosti.

Podobno je pri prestrezanju svetlobnih valov. Če isti svetlobni val prestreza več ponorov svetlobe, vsak s svojo hitrostjo, bo vsak od njih zaznal drugo vpadno frekvenco svetlobe. Frekvenca vpadne svetlobe ni le lastnost svetlobe na poti, ampak tudi posledica hitrosti ponora svetlobe.

Drugače je z valovno dolžino svetlobe.

Valovna dolžina svetlobe se ohranja le, dokler svetloba ne zaide v snov, gravitacijo ali magnetno polje.

Ko svetloba vstopi v snov, na primer v steklo, se ji spremeni valovna dolžina skladno z lomnim količnikom. Na podoben način se ji spremeni valovna dolžina tudi takrat, kadar zaide v gravitacijsko ali magnetno polje. Hitrost ponora svetlobe ne vpliva na valovno dolžino svetlobe, kadar valovno dolžino merimo v smeri gibanja svetlobe.

Kadar pa se ponor svetlobe ne giblje po isti premici, kot se giblje svetloba, zaznamo vpliv kota med smerjo gibanja svetlobe in smerjo gibanja ponora na izmerjeno valovno dolžino svetlobe na ponoru. Tak primer kaže meritev valovne dolžine svetlobe s Sonca. Odraža se v razširitvi spektralne črte Λ.

V tem primeru ponor ne vpliva na valovno dolžino svetlobe na poti. Izmerjena sprememba valovne dolžine svetlobe je posledica zornega kota oziroma pogleda na svetlobo.

Tudi ta primer lahko ilustriram s primerom. Kadar čoln v vodi potuje v smeri valov, njegova hitrost ne vpliva na dolžino izmerjenih valov. Če pa čoln v vodi potuje pod določenim kotom glede na vodne valove, lahko dolžino valov merimo na dva načina.

Kadar dolžino valov merimo v smeri gibanja valov, se valovna dolžina valov s hitrostjo čolna ne spreminja. Kadar pa dolžino valov merimo v smeri gibanja čolna in čoln plove pod kotom glede na val, v čolnu izmerimo večjo valovno dolžino vodnega vala. Gibanje čolna ne vpliva na obliko valov. Razlika dolžine valov izhaja iz naše perspektive gledanja nanje.

Podobno je pri svetlobi. Slika 12 prikazuje, kako in zakaj gibanje ponora svetlobe pod določenim kotom glede na gibanje svetlobe vpliva na valovno dolžino svetlobe.

Pri opazovanju svetlobe iz sistema opazovanja, v katerem se vir svetlobe nahaja, opažamo, da svetloba prispe na ponor z enako frekvenco, kot jo je imela svetloba ob izsevanju. Valovna dolžina svetlobe na ponoru pa je odvisna od vplivov okolja, to je od snovi, magnetnega polja ali gravitacije, skozi katera svetloba potuje. Ni pa odvisna od hitrosti gibanja ponora.

Tak je pogled na svetlobo z lokacije vira svetlobe. Razmere so drugačne, ko svetlobo opazujemo s ponora. Frekvenca svetlobe, kadar jo merimo na ponoru, je odvisna tudi od hitrosti ponora, valovna dolžina svetlobe pa od kota med potjo svetlobe in potjo ponora.

V splošnem opažamo, da se frekvenca svetlobe na ponoru spreminja po drugačnih zakonitostih, kot se spreminja njena valovna dolžina. To pa pomeni, da različne okoliščine ustvarjajo različne hitrosti svetlobe glede na ponor.

Hitrosti svetlobe na ponoru v različnih okoliščinah kažejo v predhodnih poglavjih opisane ločene meritve frekvence in valovne dolžine svetlobe.

Opažanja o gibanju svetlobe na ponoru lahko zapišemo formalno. Za tak opis moramo tako frekvenco kot valovno dolžino svetlobe na izvoru svetlobe označiti z drugimi simboli, kot ta parametra označimo na ponoru. Parametra se namreč razlikujeta, če ju merimo na izvoru ali na ponoru.

Frekvenco in valovno dolžino svetlobe na izvoru označimo z f_0 in λ_0.

Na ponoru na svetlobo lahko vpliva marsikaj, zato njeno valovno dolžino na ponoru označim z λ, frekvenco pa s f.

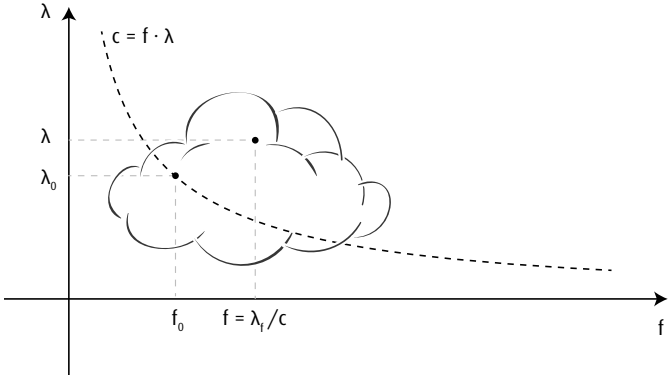
Odnos med f_0 in λ_0 svetlobe na izvoru, kjer ne delujejo zunanji vplivi, lahko narišemo v obliki črtkane črte, kot prikazuje Slika 19.

Svetloba na izvoru lahko izide s poljubno frekvenco. Vendar sta frekvenca in valovna dolžina v takem razmerju, da je njun zmnožek enak c, kjer je c snovna konstanta, ki določa hitrost svetlobe v vakuumu. Frekvenca in valovna dolžina svetlobe na izvoru lahko zasedeta katero koli točko na črtkani črti.

Na ponoru se zaradi vpliva okolja lahko spremeni valovna dolžina in/ali frekvence svetlobe. Glede na različne okoliščine se f in λ nahajata nekje znotraj narisanega oblačka na Sliki 19. Lokacija oblačka je odvisna od okoliščin.

Svetlobi se zaradi snovnega okolja, po katerem ta potuje, valovna dolžina spremeni iz λ_0 v λ. Ob vpadu svetlobe na ponoru zaradi hitrosti ponora zaznamo spremembo frekvence svetlobe iz f_0 v f.

Na spremembo frekvence delujejo druge zakonitosti kot na spremembo valovne dolžine. Oba parametra se torej spreminjata neodvisno drug od drugega.



Slika 19: Frekvenca f in valovna dolžina λ spektralne črte glede na frekvenco f_0 in valovno dolžino λ_0 spektralne črte na viru svetlobe.

Naslanjanje na postulat o vedno enaki hitrosti svetlobe v vseh razmerah je lahko velika, celo usodna ovira pri napredku znanosti.

Zmotno razumevanje hitrosti svetlobe prinaša zmedo v razumevanje naravnih pojavov

Svetlobi z nebesnega telesa izmerimo rdeči frekvenčni zamik v primeru velike hitrosti nebesnega telesa. Rdeči zamik valovne dolžine pa izmerimo tudi takrat, kadar opazujemo svetlobo, ki prihaja z masivnega nebesnega telesa, po njenem premagovanju gravitacijskega polja.

Če frekvence svetlobe ne merimo ločeno od njene valovne dolžine, ne moremo vedeti, ali rdeči zamik spektralne črte ustvarja mirujoče masivno nebesno telo ali hitro gibajoče se nebesno telo.

Spremembe frekvence in valovne dolžine svetlobe ilustriramo na primeru meritve spektralne črte svetlobe s Sonca. Izmerjen je rdeči gravitacijski zamik spektralne črte v približni vrednosti 630 m/s.

Bolj kot številčna vrednost gravitacijskega zamika je zanimiva merska enota za merjenje gravitacijskega zamika. Ta se meri v *m/s*.

Za merjenje gravitacijskega zamika spektralne črte se v stroki uporablja ista merska enota kot za merjenje tistega rdečega zamika svetlobe, ki je posledica gibanja opazovanega nebesnega telesa.

Rdeči zamik spektralne črte je v splošnem torej lahko posledica mase nebesnega telesa ali pa hitrosti nebesnega telesa.

Če poznamo le en parameter svetlobe, frekvenco ali valovno dolžino spektralne črte, ne moremo razbrati, ali je rdeči zamik spektralne črte posledica gibanja nebesnega telesa ali posledica gravitacije.

Odgovor na to vprašanje torej lahko dasta le ločeni merjenji frekvence in valovne dolžine svetlobe. Frekvenčni zamik spektralne črte nam daje informacijo o hitrosti nebesnega telesa, zamik valovne dolžine spektralne črte pa informacijo o masi nebesnega telesa.

Velik rdeči zamik spektralne črte, če ne vemo, ali se nanaša na valovno dolžino ali na frekvenco svetlobe, v splošnem ne pomeni nujno velike hitrosti nebesnega telesa. Lahko pomeni tudi mirujoče masivno telo, če se rdeči zamik nanaša na valovno dolžino svetlobe.

Razumevanje širjenja vesolja je osnovano na razumevanju svetlobe. Morda se vesolje ne širi. Vesolje za svoj ustroj morda ne potrebuje temne snovi. Morda je naša ideja o obstoju temne snovi posledica zmotnega razumevanja hitrosti svetlobe.

Dodatek

V predhodnih poglavjih so opisane meritve hitrosti svetlobe, ki jih bomo morali opraviti, če želimo fizikalno vedo dvigniti iz domnev oziroma postulatov na nivo znanosti.

Težnja po izvedbi še neopravljenih meritev pa v fiziki ni samoumevna. Med fiziki je ustaljeno mnenje, da postulat o hitrosti svetlobe objektivno opisuje hitrost svetlobe in ga ni treba utemeljevati z meritvami.

Fizika pravilnost postulata o hitrosti svetlobe utemeljuje na osnovi razlag pojavov. V nadaljevanju je opisanih nekaj poskusov utemeljevanj hitrosti svetlobe na osnovi razmišljanj o pojavih, ki naj bi po mnenju marsikoga potrjevali postulat o vedno enaki hitrosti svetlobe v vakuumu. Bralec lahko sam oceni, koliko so te posredne utemeljive prepričljive.

15

Michelson-Morleyjeva meritev hitrosti svetlobe

Takim ali drugačnim meritvam hitrosti svetlobe smo različno naklonjeni; najpogosteje je to odvisno od tega, ali naše razmišljanje potrjujejo ali mu nasprotujejo. Ločenega merjenja frekvence in valovne dolžine kot metode merjenja hitrosti svetlobe fizika ne postavlja v ospredje. Izpostavlja pa meritev Michelsona in Morleyja.

Hitrosti svetlobe med mirujočim virom in mirujočim ponorom svetlobe je enoumno izmerjena na več načinov. V takih razmerah in v vakuumu svetloba potuje s hitrostjo, ki jo določa konstanta c.

V primeru mirujočega izvora in mirujočega ponora svetlobe o hitrosti svetlobe ni nobenega dvoma. Vprašanja se porajajo ob meritvah hitrosti svetlobe, pri katerih se vir in ponor svetlobe med seboj približujeta ali oddaljujeta.

Pred več kot sto leti sta fizika Michelson in Morley merila, ali v praznem prostoru obstaja neka snov – *eter*. Merila sta, ali bi gibajoči eter lahko vplival na hitrost svetlobe. Izdelala sta merilnik v obliki interferometra in izmerila, da eter ne obstaja. Eter torej ne vpliva na hitrost svetlobe.

Michelson in Morley sta merila hitrost svetlobe med virom in ponorom svetlobe, ki drug glede na drugega mirujeta.

Svetloba znotraj merilnika potuje v izbrani smeri, na primer od zahoda proti vzhodu. Pozneje sta svoj instrument obrnila v

smer sever–jug in meritev ponovila. V obeh primerih sta izmerila enako hitrost svetlobe. Ugotovila sta, da v praznem prostoru ni gibajočega etra, ki bi vplival na hitrost svetlobe.

V času pred Michelsonom in Morleyjem so fiziki hitrost svetlobe merili tako, da so svetlobo usmerili do oddaljenega ogledala, od katerega se je svetloba odbila in se vrnila k izvoru. Merili so čas poti svetlobe do ogledala in nazaj ter s tem hitrost svetlobe na tej poti. Niso pa znali izmeriti, ali svetloba potuje enako hitro v smeri do ogledala kot tudi nazaj. Michelson in Morley sta izmerila, da je hitrost svetlobe v obeh primerih enaka. Svetloba med mirujočim virom in mirujočim ponorom ima vedno enako hitrost, ne glede na to, v katero smer potuje žarek.

Njuna meritev pa ne meri hitrostih svetlobe med virom in ponorom svetlobe, kadar se drug glede na drugega gibljeta.

Meritev Michelsona in Morleyja nekateri napačno razumejo. Menijo, da njuna meritev kaže, da hitrost vira svetlobe glede na ponor svetlobe ne vpliva na hitrost svetlobe med njima. Za tako sklepanje seveda ni osnove, saj v njuni meritvi ni nič gibajočega. Celo v Wikipediji najdemo zapis, da njun eksperiment prispeva k uveljavljanju ideje o nespremenljivi hitrosti svetlobe.

Povsem neutemeljeno se je rodila krilatica, da je njuna meritev prispevala k utrjevanju postulata o vedno enaki hitrosti svetlobe. Ideja o v vseh razmerah enaki hitrosti svetlobe v vakuumu je privlačna. Skupaj s teorijo relativnosti je hitro obšla svet.

Fiziki so glede pojmovanja njune meritve razdvojeni. Nekateri se zavedajo, da meritev ne ponuja odgovora na vprašanje o hitrosti svetlobe med virom in ponorom svetlobe, če se eden giblje glede na drugega. Drugi izpostavljajo, da njuna meritev potrjuje vedno enako hitrost svetlobe tudi med gibajočim virom

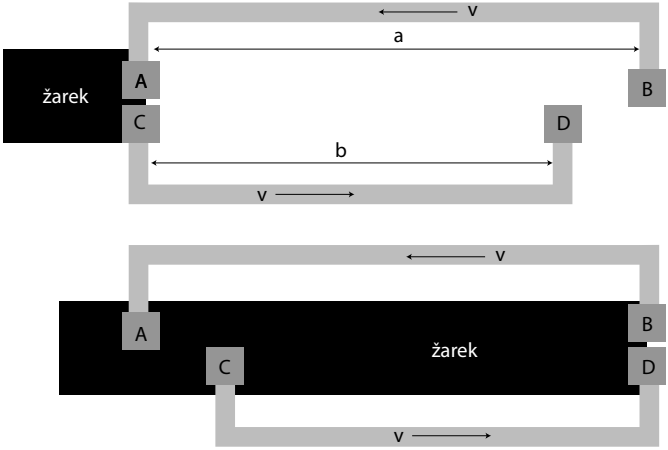
in gibajočim ponorom svetlobe. Ob tem spregledajo, da v njuni meritvi ni niti gibajočega vira svetlobe niti gibajočega ponora svetlobe in da njuna meritev v ničemer ne odraža, kako gibanje vira ali ponora svetlobe vpliva na hitrost svetlobe na ponoru.

Trenja med zagovorniki enega in drugega pogleda na hitrost svetlobe so torej neizbežna. Že vse od objave teorije relativnosti se med fiziki vsaj občasno pojavljajo intelektualni spopadi o hitrosti svetlobe in teoriji relativnosti. Pestre razprave in ostre polemike so se preselile tudi na svetovni splet. Nobena druga veda na spletu ni pod takšnim udarom medsebojnih nasprotovanj.

Meritve so nepogrešljive. Stroka še ni opravila vseh možnih meritev hitrosti svetlobe in se oklepa rezultatov privilegiranih meritev. Ob tem privilegiranim meritvam pripisuje pomen, ki ga same po sebi nimajo.

Hitrost svetlobe je odvisna od sistema opazovanja

Hitrosti svetlobe, ki ne bi bila odvisna od sistema opazovanja, ni možno neprotislovno opisati. Logična neskladja se pokažejo, če poskušamo v vseh sistemih opazovanja enako hitrost svetlobe ponazoriti v matematični obliki.



Slika 20: Prikaz dogodka, ko svetloba doseže točki A in C, ter drugega dogodka, ko svetloba doseže točki B in D.

Slika 20 prikazuje dve kotvi. Na gornji kotvi sta opazovalca A in B, na spodnji kotvi pa opazovalca C in D. Kotvi se gibljeta z enako hitrostjo v nasprotnih smereh, druga ob drugi, ena levo, druga desno, kot kažeta puščici.

Zgornja skica prikazuje trenutek oziroma dogodek, ko sta opazovalca A in C poravnana. V trenutku, ko opazovalca njuno poravnavo zaznata, do njiju prispe svetlobni žarek.

Spodnja skica prikazuje naslednji dogodek čez nekaj časa, ko sta poravnana opazovalca B in D. Tudi onadva opazita, da hkrati z njuno poravnavo do njiju prispe isti svetlobni žarek.

Opazovalca A in B odmislita kotvo opazovalcev C in D. Tek časa na kotvi opazovalcev C in D ju ne zanima. Opazovalca A in B si zase zamislita, da mirujeta. Lastni čas občutita tako, kot ga merijo mirujoče ure.

Prav tako ločeno in ne oziraje se na opazovalca A in B tudi opazovalca C in D izbereta svoj sistem opazovanja, v katerem mirujeta. Tudi opazovalca C in D posledično občutita lastni čas, kot ga kažejo mirujoče ure. Občutita torej enak potek časa kot opazovalca A in B.

Teka časa opazovalci ne morejo primerjati med seboj na osnovi opazovanja, saj se nahajajo v različnih sistemih opazovanja. Smejo pa se zanašati na matematične zakonitosti teorije relativnosti in definicijo trajanja sekunde v izbranem sistemu opazovanja.

Če bi opazovalec iz ene kotve opazoval tek časa na drugi kotvi, bi opazil relativni tek časa, ki je odvisen od hitrosti med kotvama. Ker pa se opazovalci med kotvami ne opazujejo, ker vsak gleda le na svojo uro, se vsakemu od njih v njihovem sistemu opazovanja ni treba ukvarjati z relativnim časom.

Vsem opazovalcem od enega do drugega dogodka, ki sta prikazana na Sliki 20, na njihovih lastnih urah poteče enako časa (t_s).

Podobno kot pri zaznavanju časa se dogaja tudi pri zaznavanju dolžine kotve. Vsak od opazovalcev opazuje le dolžino svoje

kotve, na kateri miruje. Izmerjene razdalje zato niso podvržene relativnosti in pripadajočim spremembam dolžin.

Dolžina kotve je obenem tudi dolžina poti žarka med dogodkoma.

Kotvi sta različno dolgi. Dolžina poti žarka na zgornji kotvi ni enaka dolžini poti žarka na spodnji kotvi. Opazovalca A in B izmerita, da v času t_s žarek prepotuje razdaljo a, opazovalca C in D pa izmerita, da žarek v enakem času prepotuje razdaljo b. Posledično opazovalca A in B zaznavata drugačno hitrost svetlobe kot opazovalca C in D.

V fiziki se poudarja, da ima svetloba enako hitrost ne glede na sistem opazovanja.

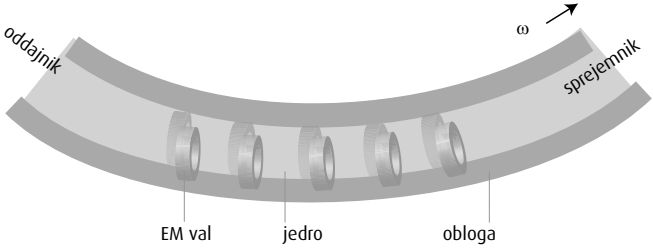
Če neko trditev slišimo velikokrat in v različnih okoliščinah, tako trditev ponotranjimo kot stvarno. Ne iščemo več dokazov za tako trditev, čeprav je lahko zmotna.

17

Vpliv radialnega pospeška na hitrost svetlobe v optičnem vlaknu

Prevelika želja po utrjevanju postulata o vedno enaki hitrosti svetlobe nas lahko privede do mej razumnega. Ko so fiziki opazili, da radialni pospešek na svetlobo v optičnem vlaknu vpliva na hitrost svetlobe, so tudi v tem pojavu iskali način za potrditev postulata, ki govori o vedno enaki hitrosti svetlobe.

Utemeljevanje postulata o hitrosti svetlobe je stalnica. Ko fizika naleti na neki pojav, na primer na spreminjajočo se hitrost svetlobe v optičnem vlaknu zaradi radialnega pospeška v njem, v tem išče potrditev vedno enake hitrosti svetlobe.



Slika 21: Radialni pospešek svetlobne valove izriva iz sredine proti oblogi optičnega vlakna.

Naj opišemo tak primer. Optično vlakno je steklena nitka, ki v naše domove prinaša televizijski signal. Sestavljeno je iz steklenega jedra in steklene obloge, kot to prikazuje Slika 21.

S krivljenjem optičnega vlakna ali z vrtenjem koluta, na katerega je navito optično vlakno, ustvarjamo radialni pospešek na

svetlobo, ki potuje po njem. Podobno radialni pospešek deluje na vozeči avtomobil v ovinku ali na otroka na vrtiljaku.

Radialni pospešek, ki deluje na svetlobo, odriva svetlobne valove iz sredine optičnega vlakna proti njegovi oblogi. Svetlobni val tako ne potuje le po sredini jedra optičnega vlakna, ampak se delno izmakne proti oblogi, kot to prikazuje Slika 21.

Svetlobni elektromagnetni val je nedeljiva tvorba določenih volumskih razsežnosti. Del istega svetlobnega vala se tako giblje po jedru, del pa po oblogi optičnega vlakna. Kolikor večji je radialni pospešek, toliko večji del svetlobnega vala se giblje po oblogi.

Lomni količnik obloge je manjši od lomnega količnika jedra optičnega vlakna, to pa svetlobnemu valu poveča hitrost. Izmerjena hitrost svetlobe v optičnem vlaknu se povečuje sorazmerno z radialnim pospeškom na svetlobo.

Vpliv radialnega pospeška na hitrost svetlobe v optičnem vlaknu zaznavamo tako v primeru, kadar radialni pospešek ustvarjamo s krivljenjem optičnega vlakna, kot tudi takrat, kadar vrtimo na kolut navito optično vlakno. Kako se spreminja hitrost svetlobe v optičnem vlaknu, navitem na kolut, je že pred več kot sto leti izmeril francoski fizik Sagnac. Meritev je v strokovni literaturi opisana pod naslovom Sagnacov interferometer.

Fizika zavrača misel, da bi radialni pospešek na svetlobo v Sagnacovem interferometru vplival na hitrost svetlobe. Sagnacove meritve so se fiziki trudili razložiti tako, da bi potrjevali misel, da radialni pospešek ne vpliva na hitrost svetlobe.

Sprejemnik in oddajnik svetlobnega vala, tako pišejo, ki se nahajata na kolutu Sagnacovega interferometra, se gibljeta po

krožnici drug za drugim, podobno kot otroka na sedežih vrtiljaka. Ob kroženju se sprejemnik oddaljuje od oddajnika v času, ko je žarek na poti med njima. S tem se poveča dolžina poti žarka med oddajnikom in sprejemnikom. Daljša pot žarka naj bi bila razlog za izmerjen daljši čas preleta žarka med oddajnikom in sprejemnikom.

Pot žarka med oddajnikom in sprejemnikom lahko ponazorimo s podajanjem žoge med otrokoma na vrtiljaku. Ko tisti, ki sedi zadaj, poda žogo tistemu spredaj, se tisti spredaj oddaljuje od žoge v času, ko je žoga na poti med njima, zato je pot žoge daljša, kot če se vrtiljak ne bi vrtel.

Okoliščine podpirajo to razlago, če dogajanje opazuje nekdo na tleh. Če pa dogajanje opazuje nekdo, ki prav tako sedi na vrtiljaku, ta v odnosu na sebe ne opaža hitrosti otrok, ki si podajata žogo.

Okoliščine torej podpirajo razlago o oddaljevanju sprejemnika od oddajnika svetlobnega signala le v primeru, kadar kroženje koluta opazuje opazovalec, ki miruje ob vrtečem kolutu. Okoliščine pa ne podpirajo razlage o daljši poti žarka, kadar se opazovalec nahaja na vrtečem se kolutu optičnega vlakna. V tem primeru sprejemnik in oddajnik glede na opazovalca mirujeta. Žarku se dolžina poti ne spreminja. Še vedno pa opazimo spreminjanje hitrosti svetlobe v vlaknu v odvisnosti od radialnega pospeška na svetlobo.

Razlaga o medsebojnem gibanju ali negibanju sprejemnika in oddajnika svetlobnega vala dovoljuje različne razlage in posledično pestre prepire glede takih in drugačnih razlag. Taki prepiri so lahko neskončni, na koncu pa vsak ohrani svoje prepričanje.

Zato si oglejmo še primer, pri katerem tovrstna prerekanja odpadejo, saj nedvoumno kaže, da radialni pospešek stvarno vpliva na hitrost svetlobe.

Kadar optično vlakno zgolj skrivimo, kadar torej ne vrtimo optičnega vlakna na kolutu, sprejemnik in oddajnik med seboj mirujeta, ne glede na to, kdo ju opazuje in od kod. S krivljenjem optičnega vlakna ustvarjamo večji ali manjši radialni pospešek na svetlobo v njem. Podobno ostrina ovinka ustvarja večji ali manjši radialni pospešek na vozeči avtomobil. Meritev pokaže, da radialni pospešek na enak način vpliva na hitrost svetlobe v optičnem vlaknu ob krivljenju optičnega vlakna kot v primeru vrtenja koluta optičnega vlakna.

Ni pomembno, ali radialni pospešek na svetlobo ustvarjamo z vrtenjem koluta optičnega vlakna ali s krivljenjem optičnega vlakna, v obeh primerih povzročimo enako spremembo hitrosti svetlobe v njem.

Kako krivina optičnega vlakna vpliva na hitrost svetlobe, je podrobneje opisano v članku *Hitrost svetlobe v krivini optičnega vlakna*.

Svetloba v mnogih okoliščinah spreminja hitrost. Še posebno živahno jo spreminja v optičnem vlaknu, kadar optično vlakno krivimo in s tem v njem na svetlobo ustvarjamo radialni pospešek.

18

Poskus dokazovanja vedno enake hitrosti svetlobe z neposredno meritvijo

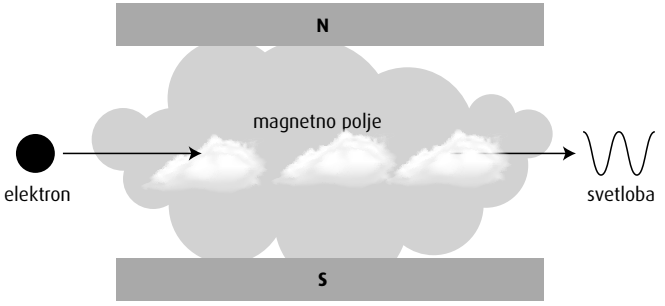
Znanost si prizadeva vedno enako hitrost svetlobe dokazati na osnovi neposrednih meritev. Le tako se lahko osvobodi bolj ali manj verjetnih posrednih ugibanj o hitrosti svetlobe, na primer pojasnjevanja GPS-sistema, pojasnjevanja časa razpada delcev in podobnih pojavov.

Z neposrednimi meritvami hitrosti svetlobe pa znanost nima sreče. Čeprav v tovrstne meritve vlaga znatna finančna sredstva, se še ni dokopala do meritve, ki bi jo lahko izpostavila kot kronski dokaz o vedno enaki hitrosti svetlobe.

Hitrost svetlobe iz gibajočega vira svetlobe se v fiziki le izjemoma dokazuje na osnovi neposrednih meritev, pa še ti osamljeni poskusi meritev ne vzbujajo zaupanja v izmerjene rezultate.

Eno od meritev, ki poskuša dokazati vedno enako hitrost svetlobe, so opravili novembra 2011 v Moskvi. Merili so hitrost svetlobe, ki jo ustvari hitro gibajoči se elektron ob vstopu v mirujoče magnetno polje. Slika 22 prikazuje elektron, ki vstopi v mirujoče magnetno polje in tam povzroči lokalno razburkanje in turbulence magnetnega polja. Te turbulence po prehodu elektrona izzvenijo, občasno pa ob določenih pogojih naključno ustvarijo svetlobni val.

Meritev kaže, da svetloba magnetno polje zapusti vsakič s svetlobno hitrostjo ne glede na hitrost, s katero elektron, ki je povzročitelj tega svetlobnega vala, vstopi v magnetno polje.



Slika 22: Elektron razburka magnetno polje, turbulence v magnetnem polju pa ustvarijo svetlobni val.

Avtorji meritve so menili, da so merili hitrost svetlobe, ki prihaja z elektrona kot hitro gibajočega se vira svetlobe. Ta trditev pa je dvomljiva.

Ko elektron prodira skozi magnetno polje, v njem ustvari turbulence. Magnetna pola S in N na Sliki 22 te turbulence izravnata. Magnetni kotvi poskrbita za iznihanje teh turbulenc.

Elektron svetlobnega vala ne ustvari neposredno. Elektron ustvari turbulence v magnetnem polju in s tem se njegova vloga konča. Turbulence magnetnega polja neodvisno od elektrona ustvarijo svetlobni val.

Hitrost elektrona in hitrost nastalega svetlobnega elektromagnetnega vala nista soodvisni. To pa pomeni, da opisana meritev ne meri hitrosti svetlobe, ki prihaja z gibajočega vira svetlobe.

Meritev je tehnološko in finančno zahteva. Finančna podpora meritvi je bila zagotovljena, ker je meritev obljubljala neposreden dokaz, da je hitrost svetlobe v vseh razmerah enaka.

Meritev ima napako že v sami zasnovi, zato ni postregla s pričakovanimi rezultati, kljub temu pa je našla mesto v strokovnem članku. Izvajalci meritve niso niti mogli niti smeli izjaviti, da njihova meritev ne more postreči s pričakovanimi rezultati. Res pa je, da se ta meritev v strokovnih krogih le redko navaja kot dokaz o vedno enaki hitrosti svetlobe v vakuumu. Na neki način je že pozabljena.

Stroka se zaveda pomena meritev hitrosti svetlobe v različnih okoliščinah. Bolj ali manj neuspešne poskuse merjenja hitrosti svetlobe z gibajočega vira svetlobe lahko uspešno nadomesti le ločeno merjenje frekvence in valovne dolžine svetlobe.

Pojavi teorije relativnosti ne omogočajo merjenja hitrosti svetlobe

Pri velikih hitrostih pojavi običajno niso merljivi. Hitrosti so prevelike. V takem primeru si pomagamo tako, da pojav delno merimo, manjkajoči del pa izračunamo na osnovi zakonitosti teorije relativnosti.

Tu pa naletimo na past. Matematične zakonitosti teorije relativnosti imajo vgrajeno predpostavko, da je hitrost svetlobe v vakuumu vedno enaka. Namesto stvarnega ugotavljanja hitrosti svetlobe iz meritve nezavedno izluščimo le v zakonitosti teorije relativnosti vgrajeno predpostavko.

Mezon je nestabilen podatomski delec. Kadar mezon (pi^+) miruje, je njegova življenjska doba 18 nanosekund. Če se mezon hitro giblje, živi v povprečju dlje, podobno kot to predvideva teorija relativnosti. Na prvi pogled bi bil to lahko dokaz stvarnosti teorije relativnosti.

Pa si podrobneje oglejmo razpad mezona. Preden razmislimo o času razpada mezona, si ponazorimo, kako tek časa opisuje teorija relativnosti.

Tek časa v teoriji relativnosti na preprost način ponazori paradoks dvojčkov. Eden od dvojčkov se z raketo odpelje v vesolje, drugi ostane na Zemlji. Teorija relativnosti pravi, da se dvojček v raketi stara počasneje od svojega dvojčka na Zemlji. Dvojčku v raketi zaradi njegove hitrosti čas teče počasneje, kot čas teče njegovemu dvojčku na Zemlji.

V vesolju obstaja veliko objektov, ne le dva, zato to zgodbo razširim na množico (dvojčkov) vesoljčkov. Tudi sebe si zamislim kot enega od njih, kako se v raketi nahajam nekje v prostranstvih vesolja.

Izgubljen sem sredi praznega prostora v vesolju in nimam objekta oziroma oporne točke, v odnosu na katero bi primerjal svojo hitrost. V takih okoliščinah ne morem govoriti o svoji hitrosti. V takih okoliščinah se lahko gibljem ali mirujem, oboje hkrati.

Takšen dvom pa je uničujoč za raziskovanje pojavov v teoriji relativnosti, kajti tek moje ure je odvisen od hitrosti mojega gibanja. Če je moja hitrost trivialna, to je kakršna koli, je trivialen tudi tek moje ure. Lahko si svobodno izbiram, kako naj moja ura teče.

Če okrog sebe nimam ničesar, si lahko zamislim, da mirujem in da mi ura kaže čas tako, kot tečejo ure, ki se ne gibljejo.

Za tako opazovanje časa mi niti ni treba v vesolje. Tudi na Zemlji se gibljem s pestrimi hitrostmi glede na različna nebesna telesa. Pri tem pa opažam, da moja ura na Zemlji vedno teče enako, ne glede na hitrost, s katero se gibljem glede na to ali ono nebesno telo.

Podobno razmišljajo tudi opazovalci v drugih raketah ali na drugih nebesnih telesih. Tudi njihova ura, vsakemu posebej, kaže njim lastni čas, ki ni odvisen od mnogih hitrosti njim bližnjih nebesnih teles.

Ure vseh opazovalcev tečejo enako hitro le v primeru, kadar vsak od opazovalcev opazuje le svojo uro. Drugače je, kadar opazujemo ure drug drugega. Vsi se namreč gibljemo drug glede na drugega.

Gledano iz mojega sistema opazovanja ure drugih vesoljčkov zaostajajo. Po teoriji relativnosti pri vsakem od njih zaznavam drugačen tek časa, odvisen od njegove hitrosti glede name. Pri njih zaznavam relativne hitrosti teka časa.

Drugi vesoljčki opazujejo mene. Na osnovi teorije relativnosti vsak od njih tudi na moji uri zazna drugačen čas. Kakšen čas na moji uri zaznava vsak od njih, je odvisno od moje hitrosti glede na vsakega od njih.

Meni je prikrito, kakšne čase na moji uri zaznavajo drugi vesoljčki. Vse okrog sebe zaznavam skladno s svojim lastnim časom v mirovanju. Njihovi pogledi na mojo uro so le njihovi prividi mojega časa.

Privid je na primer tudi mavrica, ki jo vidim ob dežju. Mavrica je resnična, toda če se podam na lokacijo, kjer jo vidim, je tam ne najdem. Na lokaciji mavrice ne morem namestiti merilnih instrumentov, da bi jo izmeril. Pri prividih smo omejeni z možnostmi merjenja.

Na podobne omejitve naletimo pri merjenju razpadnega časa mezona. Ure ne moremo namestiti na mezon. Ne moremo izmeriti, kakšen razpadni čas mezona bi izmerila ura, ki bi bila nameščena na mezonu. Na daljavo pa lahko merimo le relativni čas razpada mezona.

Transformacija časa pri razpadu mezona ni vezana na točno določeno hitrost svetlobe, na primer na v vseh razmerah enako hitrost svetlobe. Takšna ali drugačna transformacija časa se dogodi pri kateri koli hitrosti svetlobe.

Če svetloba ne potuje v vseh razmerah enako hitro, če je hitrost svetlobe na primer odvisna od hitrosti vira svetlobe, tudi taka

hitrost svetlobe ustvarja kasnitve pri prehodu svetlobe od izvora do ponora, s tem pa transformacije časa. Res pa je, da so matematične zakonitosti transformacij časa različne pri različnih pojmovanjih gibanja in hitrosti svetlobe. Povsod enak lastni čas bi po vesolju namesto relativnega časa zaznavali le v primeru, če bi bila hitrost svetlobe neskončna.

Relativni razpadni čas mezona lahko izmerimo. Vendar nam ta meritev v ničemer ne koristi, če ne poznamo tudi hitrosti gibanja mezona.

Zamika me, da bi hitrost mezona izračunal na osnovi izmerjenega razpadnega časa mezona.

Če hitrost mezona izračunam na osnovi predpostavke, da je hitrost svetlobe v vseh razmerah enaka, bom izračunal eno hitrost mezona. Če hitrost mezona izračunam na osnovi predpostavke, da je hitrost svetlobe odvisna od hitrosti mezona, bom izračunal drugo hitrost mezona. Izračun hitrosti mezona je torej odvisen od privzete hitrosti svetlobe.

Na osnovi tako izračunane hitrosti mezona je brezpredmetno povratno računati hitrost svetlobe. Tako v prvem kot v drugem primeru bomo na mnogo decimalk natančno izračunali natanko tisto hitrost svetlobe, ki smo jo privzeli ob izračunu hitrosti gibanja mezona.

Meritve na osnovi teorije relativnosti posledično ne dajejo upanja za odkrivanje zakonitosti gibanja svetlobe. Na srečo imamo druge, že opisane metode merjenja hitrosti svetlobe, pri katerih ni tehnoloških ovir.

Pred pojavom meritev hitrosti svetlobe na osnovi merjenja frekvence in valovne dolžine je skušala stroka postulat o hitrosti svetlobe utemeljevati tudi na osnovi razpadnega časa mezona. Neuspešno.

Sistem globalne navigacije (GPS) ne potrjuje v vseh razmerah enake hitrosti svetlobe

Glede na izostanek meritev hitrosti svetlobe, ki bi potrjevale v vseh razmerah enako hitrost svetlobe, se znanost opira na pojave, ki jih razlaga v prid aktualnim pogledom na hitrost svetlobe.

Med dokazi, ki naj bi potrjevali, da je hitrost svetlobe v vakuumu vedno enaka, se omenja delovanje sistema globalne navigacije (GPS). GPS-navigacijo omogočajo sateliti, ki krožijo 20.200 km nad nami.

GPS-sprejemnik (v našem telefonu) v časovnih presledkih v obliki radijskih signalov s satelitov prejema podatek o času in lokaciji vsakega od njih. Sprejemnik hkrati zaznava signale z več satelitov. Na osnovi lokacije satelitov in časa poti radijskega signala od satelita do sprejemnika slednji izračuna svojo oddaljenost od satelita. Na osnovi poznavanja razdalj do več satelitov, ki se nahajajo na različnih koncih neba, GPS-sprejemnik določi svojo lokacijo na Zemlji.

Algoritmi za določanje lokacije GPS-sprejemnika delno temeljijo na izračunih, delno pa na preizkušanju in uglaševanju teh algoritmov.

Na ta način so v algoritmih za izračun lokacije GPS-sprejemnika upoštevani tudi dejavniki, ki bi jih zgrešili ali na katere ne bi bili pozorni, če bi izračun lokacije temeljil le na matematično

določenem algoritmu. Lahko bi pozabili na primer lom radijskega signala pri vstopu signala iz vakuuma v zrak pod različnimi koti in podobno.

Hitrosti satelitov se glede na sprejemnik nenehno spreminjajo. Satelit se sprejemniku na Zemlji najprej približuje, ga preleti, nato pa se od njega oddaljuje. Te spremembe hitrosti med njima so podrobneje opisane v naslednjem poglavju.

Nenehno spreminjanje hitrosti satelitov glede na sprejemnik je ena od zahtevnejših nalog pri določanju razdalj med sprejemnikom in GPS-sateliti.

Toliko za uvod. V nadaljevanju bomo skušali na osnovi delovanja GPS-sistema ugotoviti, ali radijski signal (svetloba) od satelita do sprejemnika potuje vedno z enako hitrostjo ali pa je hitrost svetlobe na tej poti odvisna od hitrosti satelita.

Iz algoritma za izračun razdalje ni razvidno, kakšna je privzeta hitrost svetlobe. Sled je izgubljena s tem, ko je algoritem za izračun razdalje določen empirično s preizkušanjem. S tem algoritem upošteva nam neznano stvarno hitrost svetlobe, kakršna koli že je.

Za grobo oceno hitrosti radijskega vala med njima lahko izračunamo, kolikšna bi bila razlika v izračunu razdalje od satelita do sprejemnika, če v prvem primeru privzamemo vedno enako hitrost svetlobe, v drugem primeru pa privzamemo hitrost svetlobe, ki je odvisna od hitrosti satelita.

Sateliti krožijo na višini 20.200 km s hitrostjo 3,9 km/s.

Ko satelit ni ravno nad sprejemnikom, ko ga gledamo pod kotom, je od sprejemnika do satelita na primer razdalja r = 40.000 km. V prvem primeru privzamemo, da ima svetloba

hitrost c. Radijski signal pot od satelita do sprejemnika opravi v času t_1 ($t_1 = r/c = 40000/300000 = 0{,}133333333333\ s$).

V drugem primeru privzamemo, da radijski signal (svetloba) s satelita do sprejemnika potuje s hitrostjo $c + v$, pri čemer je v hitrost satelita. Svetloba razdaljo prepotuje v času t_2. ($t_2 = r/(c + v) = 40000/300000{,}0039 = 0{,}133333331600\ sek$).

Izračunana časa odštejemo. Razlika v časih prehoda svetlobe (oziroma radijskega vala) od satelita do GPS-sprejemnika znaša $t_1 - t_2 = 1{,}7$ nanosekunde. V tem času svetloba prepotuje 0,5 m.

Če izračun lokacije GPS-sprejemnika pri eni ali drugi hitrosti svetlobe s tem končamo, je odstopanje razdalje med satelitom in sprejemnikom zaradi upoštevanja različnih hitrosti svetlobe največ pol metra. Tolikšna bi bila lahko napaka merjenja lokacije na Zemlji v primeru ene in druge hitrosti svetlobe.

Vendar tu zgodbe še ni konec. Če računamo čas v primeru vedno enake hitrosti svetlobe skladno s teorijo relativnosti, se zaradi hitrosti satelita skrajša razdalja med sprejemnikom in satelitom. To pa zmanjša odstopanje izračuna GPS-lokacije na nekaj centimetrov.

Razlike v izračunu lokacije satelita na osnovi enega ali drugega razumevanja hitrosti svetlobe so premajhne, da bi na osnovi izračunov lokacije GPS-sprejemnika lahko ugotovili tako ali drugačno hitrost svetlobe. Sistem globalne navigacije GPS niti ne potrjuje niti ne zanika v vseh razmerah enake hitrosti svetlobe oziroma radijskih valov.

Za razumevanje GPS-navigacije je treba omeniti še zapise, ki pravijo, da ura na satelitu zaradi gravitacijskega polja teče hitreje kot na Zemlji. Za uspešno delovanje GPS-sistema morajo ure na GPS-satelitih teči sinhrono z urami na Zemlji.

V 8. poglavju je pojasnjeno, da se žarku na poti skozi gravitacijo spreminja valovna dolžina, ne spreminja pa se njegova frekvenca. Gravitacija povzroči, da na Zemlji, to je na tleh, zaznamo drugačno valovno dolžino GPS-signala kot na satelitu. Gravitacija pa ne vpliva na frekvenco radijskega signala med satelitom in na Zemlji. Nespremenjena frekvenca signala pa pomeni enako hiter tek ure tako na satelitu kot na Zemlji.

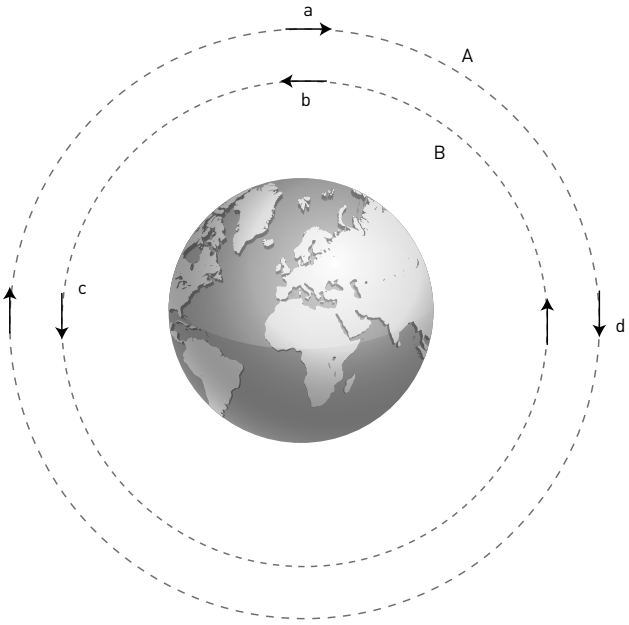
Iz izmerjene spremembe valovne dolžine radijskega signala, ki jo povzroči gravitacija, ne moremo sklepati o frekvenci radijskega signala in s tem o teku ure na satelitu.

Sinhronizacija ur GPS-satelitov je ključna za njihovo delovanje, zato je sinhronizaciji ur na satelitih namenjeno celotno naslednje poglavje.

V strokovni literaturi se omenja, da delovanje sistema globalne navigacije (GPS) potrjuje postulat o vedno enaki hitrosti svetlobe, čeprav iz delovanja GPS-sistema ni mogoče razbrati hitrosti svetlobe.

Sinhronizacija ur na GPS-satelitih

Posebna teorija relativnosti pravi, tako kot je pojasnjeno v paradoksu dvojčkov, da se na satelitih upočasni tek ur, kar je posledica njihovih hitrosti. Za uspešno delovanje GPS-navigacije morajo ure na GPS-satelitih teči sinhrono tako s sateliti kot z urami na Zemlji.



Slika 23: Medsebojne hitrosti satelitov se spreminjajo.

Sateliti krožijo okrog Zemlje. Einstein s posebno teorijo relativnosti opisuje pojave premočrtnih gibanj. Za potrebe opisovanja

krožnih gibanj teorijo relativnosti nadgradimo tako, da tirnico poti satelita razdelimo na tako kratke odseke, da lahko vsak odsek tirnice razumemo kot raven. Tek ure na satelitu opazujemo v teh kratkih odsekih. Zaostajanje ali prehitevanje ure na daljši poti satelita pa pokaže vsota (integral) časov na teh odsekih.

Kroženje dveh satelitov je ponazorjen na Sliki 23. Višina satelitov je za ta primer lahko poljubna. Na zunanji krožnici okrog Zemlje kroži satelit A, na notranji krožnici pa satelit B. Na ilustraciji satelita krožita v nasprotnih smereh, tako kot kažejo puščice.

Kadar sta satelita na lokacijah a in b, to je na severnem ali južnem Zemeljinem polu, se srečata z dvojno hitrostjo kroženja satelitov, to je z medsebojno hitrostjo 7,8 km/s.

Njuna medsebojna hitrost ni ves čas enaka. Ko satelita prispeta v točki c in d, to je do ekvatorja, oba satelita potujeta v isto smer. Njuno vzporedno gibanje pomeni njuno medsebojno mirovanje.

Njuna medsebojna hitrost se ob vsaki obkrožitvi Zemlje dvakrat poveča do 7,8 km/s, to je na obeh Zemeljinih polih, ter dvakrat zmanjša na 0 km/s, to je ob prehodih ekvatorja. V resnici se 24 GPS-satelitov srečuje na mnogo načinov. Ta ilustracija prikazuje le enega od njih.

V nadaljevanju poskušam uri obeh satelitov sinhronizirati. Sinhronizacija ur je nujna za delovanje GPS-sistema.

Za začetek tek obeh ur na satelitih opazujem s satelita A. S satelita A opazim, da ura na satelitu B zaostaja zaradi hitrosti satelita B glede na satelit A, kot to določa teorija relativnosti.

Sinhronizacijo ure A s tekom ure na satelitu B vzpostavim tako, da satelitu B pohitrim tek ure. Tek ure na satelitu B moram nenehno in v vsakem trenutku usklajevati glede na njuno medsebojno hitrost. Tek ure moram zaradi nenehnega spreminjanja medsebojne hitrosti med njima usklajevati tisoč in večkrat ob vsakem obkroženju Zemlje.

Tako je usklajevanje časa, kadar uri usklajevanjem s satelita A. V nadaljevanju se preselim na satelit B in obe uri opazujem s satelita B. V tem primeru uri lahko sinhroniziram le tako, da pohitrim uro na satelitu A. To pa je ravno obratno, kot če sinhronizacijo ur vzpostavljam s satelita A.

Tu naletim na nerešljiv problem. Obeh ur ni mogoče sinhronizirati tako, da bi to sinhronizacijo ves čas zaznali tako z enega kot z drugega satelita. Sinhronizacija ur iz enega in drugega sistema opazovanja zahteva nasprotujoče si posege v delovanje ur.

Še bolj iluzorno je skladno s teorije relativnosti sinhronizirati ure na 24 satelitih.

Na podobno težavo naletimo, če skušamo sinhronizirati ure na Zemlji z urami na satelitih. Tudi ure na Zemlji krožijo skupaj z Zemljo. Hitrost kroženja ur na Zemlji je manjša od hitrosti satelitov. Kljub temu pa vsako od ur na Zemlji teoretično lahko obravnavam kot uro na satelitu.

Ure, ki se nahajajo na različnih lokacijah Zemeljine površine, imajo posledično različne hitrosti glede na satelite. To pa pomeni, da tudi teka ur na Zemlji ne moremo sinhronizirati s tekom ur na satelitih. Ure na Zemlji lahko sinhroniziramo medsebojno, ne moremo pa jih sinhronizirati z urami na satelitih.

Opažamo neskladje. Ur na osnovi zakonitosti teorije relativnosti ne moremo medsebojno sinhronizirati. Sinhronizacija ur pa je nujna za delovanje GPS-sistema.

Kljub tem neskladjem pa GPS-sistem deluje.

V predhodnih poglavjih so opisane meritve, ki kažejo, da je relativni čas na satelitih le privid (iluzija). Opisano je, da je lastni čas na satelitih neodvisen od hitrosti satelitov.

Sinhronizacija ur je torej zagotovljena sama po sebi, brez teorije relativnosti in brez našega posredovanja. Ure moramo usklajevati le toliko, kolikor je njihovo delovanje netočno zaradi različnih drugih vplivov.

Hitrost satelita ne vpliva na tek lastnega časa na njem. V primeru teorije relativnosti GPS-navigacija ne bi delovala. Ob tem pa se poraja dvom o teoriji relativnosti.

22

Osvoboditev v postulat ujete svetlobe

Znane so merilne metode, ki omogočajo meritve hitrosti svetlobe v različnih okoliščinah. Kljub temu da so te meritve ključne za razumevanje svetlobe, mnoge od njih še niso opravljene.

Fizika ima možnost nadaljnjega razvoja, ko se osvobodi postulata o hitrosti svetlobe. Pot iz ujetosti v postulat pa je v odgovoru na vprašanje: meriti ali ne meriti hitrosti svetlobe v okoliščinah, v katerih hitrost svetlobe še ni izmerjena.

Odzive na predlagane meritve hitrosti svetlobe lahko strnemo v tri skupine.

V prvo skupino sodijo tisti, ki menijo, da je vprašanje hitrosti svetlobe operativna naloga, bolj izvedba manjkajočih meritev kot znanstveno vprašanje. Sprejmejo lahko kakršne koli rezultate meritev.

Tisti, ki spadajo v drugo skupino, so razpeti med rezultati meritev, ki kažejo različne hitrosti svetlobe v različnih okoliščinah, in postulat, da je hitrost svetlobe v vseh razmerah enaka. Postulatu o vedno enaki hitrosti svetlobe se ne želijo odreči, preveč so čustveno vezani nanj. Po drugi strani pa jim dolžnost znanstvenika ne dovoljuje, da bi spregledali rezultate meritev hitrosti svetlobe. Rezultati meritev so namreč v nasprotju s postulatom. Razdvojenost jim povzroča nelagodje.

Nelagodja se lahko rešijo bodisi tako, da odmislijo postulat in se pridružijo prvi skupini, ali pa problem osebnega nelagodja rešijo tako, da odmislijo meritve hitrosti svetlobe, nanje pozabijo

ter se zatečejo v postulat, to je v prepričanje, ki ga ima tretja skupina ljudi.

V tretjo skupino spadajo predvsem poznavalci fizike, ki ne dvomijo o postulati o vedno enaki hitrosti svetlobe. Vsako drugačno razmišljanje razumejo kot odvečno, celo sovražno. Odklanjajo misel na kakršne koli meritve, ki bi lahko ogrozile njihovo prepričanje.

Postulat o vedno enaki hitrosti svetlobe je zasidran predvsem med fiziki, saj na tem postulatu temelji marsikatero fizikalno znanje. Če se poruši ta temelj, to ogroža njihov način razumevanja fizike, ogroža celo razumevanje vesolja. Izogibajo se že sami misli na meritve, ki jih izpostavlja ta knjižica. V njih vidijo grožnjo fiziki.

Toda to so le predsodki. Objektivno razumevanje hitrosti svetlobe ima dolgoročno prednosti, saj omogoča usvajanje novih znanj. Rezultati opisanih meritev pa ne govorijo v prid postulatu vedno enake hitrosti svetlobe.

Znanost ne more napraviti naslednjih korakov, dokler fiziki niso motivirani za objektivno raziskovanje hitrosti svetlobe. Vsa raziskovanja, ne glede na to, na kaj se nanašajo, temeljijo na motivaciji.

Motivacija za raziskovanje novih pojavov se precej razlikuje od motivacije, ki je potrebna za popravljanje obstoječih zmot. Kadar nekega raziskovanega področja ne poznamo, kadar menimo, da je področje novo, takrat motivacija v raziskovalcih kar kipi, saj je usmerjena v poglabljanje, raziskovanje in iskanje odgovorov na nova vprašanja.

Kriza nastane, kadar na nekem področju pridemo do zmotnih sklepov. V takem primeru se čustva množice razdelijo. Del množice je lahko motiviran za nadaljnje meritve in raziskovanje področja ter odpravo morebitnih zmot. Drugi del množice,

običajno večji, pa je motiviran za ohranjanje zatečenih spoznanj, četudi so ta lahko zmotna.

Neka ideja, na primer pobuda za meritev hitrosti svetlobe, ima možnost za uspeh, ko se pojavi zadostno število ljudi, ki jih tovrstne meritve zanimajo in so jim naklonjeni. Če čustva fizikov ostajajo pri obstoječih prepričanjih, potem meritve, ki pripeljejo do objektivne presoje o enem ali drugem razumevanju hitrosti svetlobe, ostajajo nekaj obstranskega, celo odvečnega, izven zanimanja fizikov.

Četudi skupina strokovnjakov opravi take meritve, jim fizika v splošnem ne posveča pozornosti, celo ovira razširjanje pridobljenih rezultatov. S tem pa nova spoznanja zastajajo in čakajo na obrobju širšega zanimanja.

Fizika lahko dosega napredek v svojih spoznanjih šele, ko si znaten del fizikov in druge javnosti želi globlje spoznati določeno tematiko, na primer raziskati hitrost svetlobe. V tem primeru vprašanje meriti ali ne meriti odpade. Meritve kar same vzniknejo v laboratorijih mnogih institutov na več krajih hkrati in rezultati meritev se tako rekoč čez noč razširijo v javnosti.

Meritve hitrosti svetlobe na osnovi frekvence in valovne dolžine so metodološko znane. To pa še ne pomeni, da jih bo fizika ponotranjila.

Privzemanje meritev v okoliščinah, ko so čustva stroke vezana na postulat o hitrosti svetlobe, je proces, ki zahteva svoj čas.

KRATKA PREDSTAVITEV KNJIGE

Merjenje frekvence vidne svetlobe

Meritev frekvence vidne svetlobe še ni poznana!

Opisana meritev frekvence svetlobe temelji na:

- ponovljivih,
- neposrednih,
- nazornih in
- tehnološko nezahtevnih meritvah z enoumnimi rezultati merjenja.

Merimo svetlobo s kometa ali s planeta (Marsa, Jupitra ...).

Meritev daje dokončen odgovor o hitrosti svetlobe

- Meritev frekvence svetlobe daje nedvoumen odgovor na vprašanje glede vedno enake hitrosti svetlobe.
- Meritev lahko nakaže, da temna snov ne obstaja, da je zamisel o temni snovi zgolj rezultat zmotnega razumevanja svetlobe.
- Navezanost na postulat o hitrosti svetlobe je torej lahko resna čustvena ovira pri merjenju frekvence svetlobe.

Oglejmo si leta 1997 opravljeno meritev:

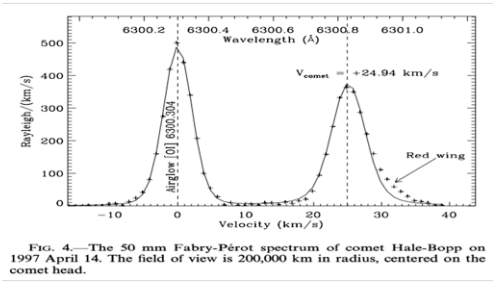


FIG. 4.—The 50 mm Fabry-Pérot spectrum of comet Hale-Bopp on 1997 April 14. The field of view is 200,000 km in radius, centered on the comet head.

6300 Large Aperture Photometry of Comet Hale-BOPP na strani:

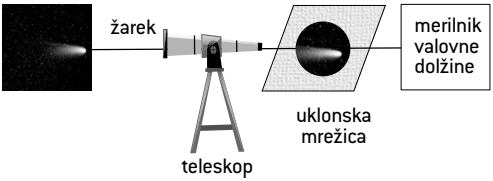
https://iopscience.iop.org/article/10.1086/323773/pdf

Hitrost kometa ne vpliva na valovno dolžino spektralne črte Airglow.

Spektralna črta, imenovana Airglow, ni sevanje ozračja

- Svetlost sevanja ozračja (Airglow) je enaka z vseh smeri neba ne glede na to, kam obrnemo teleskop.
- Teleskop v načrtovani meritvi s kometa (planeta) preusmerimo v temni del neba. S premikom teleskopa izgine spektralna črta Airglow.

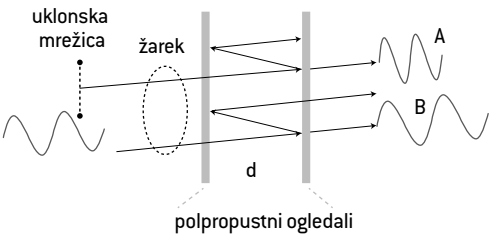
Dvojno spektralno črto ustvarja uklonska mrežica



Merilnik ima vgrajeno uklonsko mrežico.

Z odstranitvijo uklonske mrežice izgine ena od spektralnih črt.

Uklonska mrežica svetlobi spremeni valovno dolžino



- Nameščena uklonska mrežica: žarka A in B imata različni valovni dolžini.

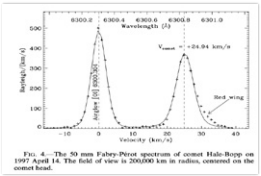
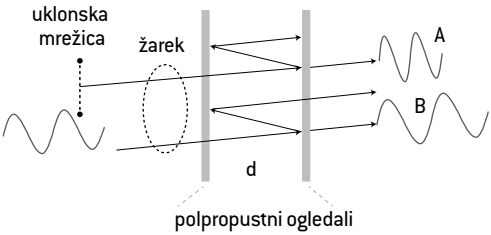


FIG. 4.—The 50 mm Fabry-Pérot spectrum of comet Hale-Bopp on 1997 April 14. The field of view is 200,000 km in radius, centered on the comet head.

- Odstranjena uklonska mrežica: žarka A in B imata enaki valovni dolžini.

Hitrost svetlobe

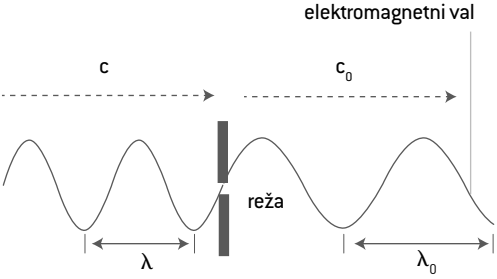


- Uklonska mrežica ne vpliva na frekvenco svetlobe.
- Žarka A in B imata na izstopu iz merilnika enaki frekvenci in različni valovni dolžini.
- Posledično imata žarka A in B različni hitrosti.

Velika odločitev

- Rezultati meritve kažejo različni hitrosti žarkov A in B.
- Njuni različni hitrosti nista skladni s postulatom o hitrosti svetlobe.
- Znanost je s tem pred odločitvijo ali slediti:
  - *rezultatom meritev ali*
  - *postulatu o hitrosti svetlobe.*

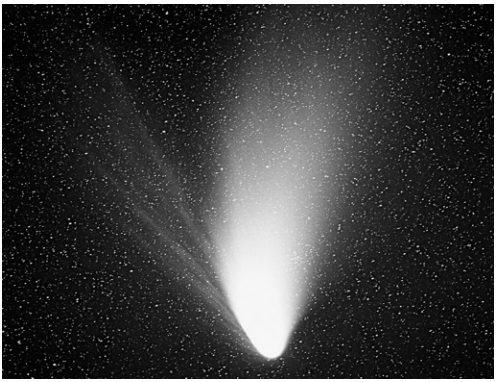
Razlog za pojav dveh vrhov svetlosti



- Svetloba z gibajočega vira svetlobe pade na uklonsko mrežico s hitrostjo, ki je različna od hitrosti, kot jo določa konstanta c.
- Uklonska mrežica na novo določi hitrost svetlobe, zato svetloba uklonsko mrežico vsakič zapusti s hitrostjo, kot jo določa konstanta c.
- Sprememba hitrosti svetlobe, oziroma njene valovne dolžine, je razlog za pojav dveh spektralnih črt istega elementa z istega izvora svetlobe.

Meritev frekvence vidne svetlobe

- Žarka A in B imata na vsej poti enaki frekvenci.
- Uklonska mrežica žarku A na novo določi hitrost (kot jo določa konstanta c) in mu spremeni valovno dolžino. Poznamo hitrost žarka A (ne pa žarka B). Obema žarkoma izmerimo valovno dolžino.
- Frekvenco svetlobe v žarku A določa razmerje $f = c / \lambda$.
- Izmerjena frekvenca je hkrati frekvenca vpadne svetlobe s kometa.



Neodvisne potrditve meritve

Meritev posega v fizikalne temelje, zato mora biti opravljena v več neodvisnih okoljih, preden bodo njeni rezultati splošno sprejeti.

Vabljeni k ponovitvi meritve ter objavi spoznanj.

ARTICLE

As light passes through the diffraction grating, it changes the wavelength

The wavelength of light can be changed as it passes the diffraction grating. Whether and how its wavelength changes are not yet measured and documented, although this measurement may solidify the basis of physics. The measurement represents a white spot in physical measurement.

Introduction

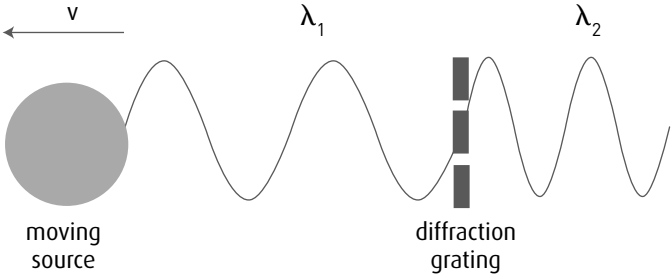
Direct measurements form the basis of physics. We can estimate a measurement in advance asunnecessary, because everything is clear to us, but in this way, we do not progress towards objective knowledge. One of the measurements that can solidify physical science, regardless of the measured result, is described.

Measurement description

We measure the wavelength of visible light coming from a moving light source. The speed of the light source should be at least a few km/s. There must be no turbulence at the light source thus ensuring the same speed of the light source to all light waves. The light source can be a comet or one of the planets (Mars, Jupiter).

When measuring the wavelength of light on Earth without the use of a diffraction grating, the measured spectral line has a different wavelength than when placing a diffraction grating in

front of the wavelength meter so that the beam travels through it.



We measure the deflection beam (m = 0), which travels straight through the grating and does not deflect on it. Any spectral line can be selected for measurement.

Expected measurement result

When the beam passes through a diffraction grating, the spectral line shifts as a function of the speed of the light source. At light source speeds of 5–20 km/s, the expected shift of the spectral line is from 0.015 nm to 0.05 nm, which is measurable.

Similar measurements of light from a comet (6300 Large Aperture Photometry of Comet Hale-BOPP), or light coming from planets, have been described in the scientific literature. The expected results of the measurements are based on the records in these articles.

Measurement barriers

Measurement is not technologically difficult. The expected measurement results cause measurement problem. A change

in the wavelength on the diffraction grating means a change in the speed of light as it passes through the grid, and this casts doubt on the postulate of always the same speed of light.

The expected result of a measurement often deters astrophysicists from measuring. Measurements can be made successfully by someone who is in favor of it. The article expands the knowledge of measurement and motivates physicists to perform this measurement with commitment.

Conclusion

Physics is the science that measures everything that is measurable. Regardless of the measured result of this measurement, it is necessary to publish the results of this measurement. The measurement should not be a white spot, where everyone answers the question for themselves, each of them differently, according to their own beliefs.

Do zdaj nepoznana in v tej knjižici predstavljena metoda neposrednega merjenja frekvence svetlobe, poleg že znanega merjenja valovne dolžine svetlobe, odpira nove poglede ne le na lastnosti svetlobe, ampak tudi v skrivnosti vesolja.

CENA: 10,00€

ISBN 978-961-07-0498-0
9 789610 704980