Esej o svetlobi

FRANC ROZMAN

FRANC ROZMAN

Esej o svetlobi

Esej o svetlobi

Dopolnjena slovenska izdaja knjižice Essay on Light (2015)

Avtor:
Franc Rozman
fr.rozman@gmail.com

Založil:
Franc Rozman, Brezje pri Tržiču 59, 4290 Tržič in
Knjižnica dr. Toneta Pretnarja Tržič, Balos 4 4290 Tržič

Lektor:
Tanja Ahačič

Oblikovanje:
Maurice Zalaznik

Leto izdaje: 2016

Naklada: 150 izvodov

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

535.22
11/12

ROZMAN, Franc, 1949-
Esej o svetlobi / Franc Rozman. - Dopolnjena slovenska izd. - Tržič : samozal. : Knjižnica dr. Toneta Pretnarja, 2016

ISBN 978-961- 93092-5- 4 (Knjižnica dr. Toneta Pretnarja)

284884736

Deli tega eseja so bili v obliki strokovnih člankov predstavljeni na treh mednarodnih konferencah:

- Na 11. mednarodni konferenci WSEAS (World Scientific and Engineering Academy and Society) v Benetkah (Italy) marca 2011.
- 22nd Seminar on optical communications v Ljubljani (Slovenia) februarja 2015 in
- Lighting Engineering 2015 conference, v Predvoru (Slovenia) oktobra 2016.

Vsebina

O avtorju 7

Uvod 9

Zgradba svetlobnega vala 17

- Elektromagnetno valovanje 17
- Kvant svetlobe 21
- Vsiljena EM valovanja 27
- Koherenca svetlobe 31

Hitrost svetlobe 39

- Svetloba v snovi 47
- Meritev električnega toka v daljnovodu 54
  - Vpliv magnetnega polja na EM valovanje 57
  - Hitrost svetlobe v gravitacijskem polju 58
  - Vpliv radialnega pospeška na hitrost svetlobe 59
  - Hitrost odbite svetlobe od prečno gibajoče podlage 61
- Ponesrečeni poskusi meritev hitrosti svetlobe 64
- Metode merjenja hitrosti svetlobe 69
- Pomen razumevanja hitrosti svetlobe 73

Komentarji in mnenja 77

Zahvala 79

Svetloba pritegne likovnike, fotografe, arhitekte, fizike, astronome itd. To pa je esej o fizikalnih lastnostih svetlobe.

Hitrost svetlobe naj bi bila enaka v vseh razmerah. Razum temu težko sledi, zato nas obdajajo občutki, da fizikalne lastnosti svetlobe razumejo le za redki posamezniki. Pa ni tako. Razkrijmo torej meritve in znanja, ki pojasnijo lastnosti svetlobe.

Opisan je pogled na sestavo svetlobnega valovanja, v nadaljevanju pa analizirane metode poznanih meritev hitrosti svetlobe, izpostavljene njihove prednosti in slabosti ter podani predlogi za dodatne nove meritve hitrosti svetlobe.

O avtorju

Franc Rozman je diplomiral na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, leta 1973. Po študiju se je zaposlil v oddelku raziskave in razvoj v Iskratelu, kjer je bil vodilni načrtovalec programskih rešitev. Objavil je več člankov o izvirnih rešitvah, med katerimi so bili tudi patenti. Razvil je programsko opremo na temelju umetne inteligence za učenje jezikov. Vmes se je poglabljel v zakonitosti fizike, v povezavi s filozofijo. Objavil je več knjig povezanih s to temo. Od leta 2010 je neodvisen raziskovalec na področju fizike.

Pregled uporabljenih kratic

EM val – ***elektromagnetni val***

PTR – ***Posebna teorija relativnosti***. Einstein jo je objavil leta 1905.

GPS – ***sistem globalnega pozicioniranja***. Uporablja se za
določanje točne lege kjerkoli na Zemlji (avtomobilska navigacija)

Uvod

Očem vidne in otipljive stvari, na primer kolesca v uri, ali naravne pojave (na primer vreme) praviloma prepoznamo. Tudi razumevanje bolj zapletenih stvari, na primer delovanje urnega mehanizma, nam ne dela težav. Vsi sestavni deli so predstavljivi, ravno tako pa je razumljiva njihova sestava oziroma povezava v funkcionalno celoto.

V naravi pa vse stvari in naravni pojavi niso tako nazorni in predstavljivi. Naša neposredna čutila včasih odpovedo. Odpovedo celo meritve na velikih razdaljah v vesolju ali majhnih razdaljah v atomskem svetu.

Druga omejitev pri našem prepoznavanju stvari je v naši sposobnosti ustvarjanja miselnih predstav. Nekatere stvari niso neposredno vidne in otipljive, o njih si skušamo ustvariti le miselne predstave. Miselni gradniki so lahko že sami na sebi abstraktni in težko predstavljivi, kot na primer električno in magnetno polje znotraj EM vala. Še večje težave nastopijo pri združevanju miselnih gradnikov v logično in funkcionalno celoto.

Vesolje je čudovit in tudi zapleten mehanizem. Slej ko prej pridemo do točke, kjer nam prepoznavanje pojava ne omogočajo niti zaznave, niti meritve niti abstraktni miselni modeli. Pridemo do naših osebnih omejitev pri razumevanju vesolja. Tu se kompleksnost vesolja ne konča. Pridemo le meje naših sposobnosti dojemanja vesolja.

Ko prihajamo do roba naših spoznavnih sposobnosti, se moramo vse bolj zanašati na naše miselne modele razumevanja pojava, ki pa so le do neke meje verjetni in zanesljivi. Stopnjo zaupanja v nek miselni model naravnega pojava lahko povečujemo tako, da skladnost med modelom in opažanji (meritvami) preverjamo s kar se da različnih zornih kotov.

Tu pa naletimo na past. Ljudje nismo pripravljeni živeti v negotovosti. Miselne predstave oziroma abstraktni modeli naravnega pojava, ki ga nismo sposobni dojeti v celoti, počasi v naši podzavesti nezavedno in neupravičeno postajajo ‚dokončne' resnice, čeprav opažanja in meritve tega ne upravičujejo. Take ‚resnice' s časoma brez ‚razlogov in utemeljitev dobijo lastnost ‚aksiomov' oziroma ‚teoremov'. Vse večjemu številu fizikov ti ‚aksiomi' neupravičeno postajajo temeljna izhodišča nadaljnjega razumevanja naravnih pojavov.

Take ‚resnice' se sčasoma celo še spreminjajo, vendar ne glede na nova spoznanja, ampak na osnovi potreb določene teorije, da jo čim bolj podpirajo. Taka ‚resnica' je na primer v vseh razmerah enaka hitrost svetlobe. Čeprav še zdaleč niso izkoriščene vse možnosti za merjenje hitrosti svetlobe, se fizika takih meritev celo izogiba, da ogrožen ‚teorem' o hitrosti svetlobe ne bi ogrozil na primer teorije relativnosti.

Primeri stranpoti in zablod

V knjigah in člankih pogosto beremo že znane vsebine, predstavljene le na drug način. V takem primeru tekst le preletimo, saj vsebino hitro prepoznamo. Včasih pa naletimo na tekst, ki se pomembno razlikuje od naših pričakovanj in predstav. V takem primeru smo najprej presenečeni, potem pa se odzovemo na različne načine. Včasih se oklepamo lastnega miselnega vzorca in zapisu ne posvečamo pozornosti. Včasih na hitro ocenimo, da je tekst zmoten in se celo jezimo na avtorja.

Tak primer je na primer v fiziki znan paradoks dvojčkov. En dvojček se z raketo odpelje v vesolje, drug ga opazuje z Zemlje. Posebna teorija relativnosti (PTR) pravi, da čas v gibajoči raketi teče drugače, kot na Zemlji. Dvojček, ki ostane na Zemlji na osnovi PTR pričakuje, da se dvojček v raketi stara počasneje od njega na Zemlji. Dvojček na Zemlji že ostari, ko je dvojček v raketi še vedno mladenič.

V nadaljevanju dogajanje opazujem iz rakete. Če raketa ves čas pospešuje, se tudi v tem primeru hitreje stara dvojček na Zemlji. Tako videnje dvojčkov je praviloma opisano v literaturi in zato domače teoretikom teorije relativnosti. Ob vsakem srečanju s paradoksom dvojčkov si bralec avtomatično in nehote prikliče miselni model o stalnem pospeševanju rakete in stalnem hitrejšem staranju dvojčka na Zemlji.

V našem primeru naj po startu raketa pospešuje le en dan. Od drugega dne naprej raketa ne pospešuje in se giblje z enakomerno hitrostjo. V tem primeru dvojček v raketi sebe zaznava kot mirujočega, giblje pa se dvojček na Zemlji.

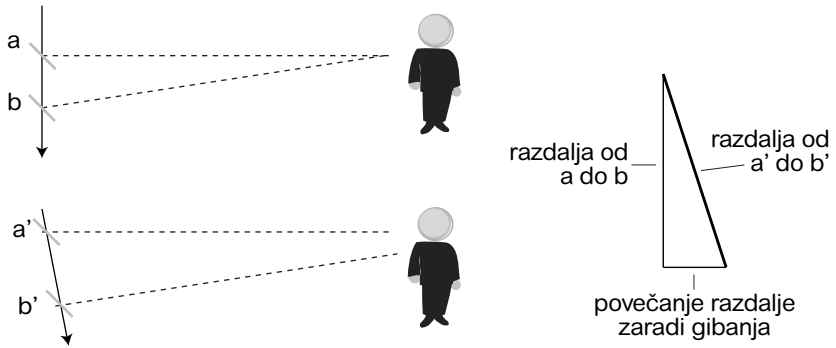
Tu pa pri bralcu lahko pride do zmote. Preden bralec dojame nove okoliščine opisa paradoksa dvojčkov, si bralec nehote prikliče njemu znan miselni vzorec o nenehnem pospeševanju rakete in spregleda bistvo sporočila.

Ob stalni hitrosti rakete po zakonih PTR v videnju dvojčka na Zemlji ostaja mladenič dvojček v raketi, v videnju dvojčka v raketi pa mladenič ostaja dvojček na Zemlji. Posledično se lahko vprašamo ali PTR sploh opisuje stvarno staranje dvojčkov. Ali PTR ni le privid?

V tem Eseju opisane okoliščine naravnih pojavov so pogosto opisane drugače od poznanih stereotipov v fiziki. Sveže perspektive in pogledi na naravne pojave so koristni že vsaj zato, da nek zmoten miselni vzorec ne preraste v dogmo.

Okviri veljavnosti PTR

V nadaljevanju je opisan še en primer, kako stereotipi lahko popačijo razumevanje naravnih pojavov. Opazovalec naj opazuje svetlobni žarek, ki potuje skozi točki a in b na spodnji sliki. V točkah a in b sta ogledali, ki del žarka odbijeta proti opazovalcu. Opazovalec miruje. Na osnovi poznane razdalje od a do b in časovnega zamika žarkov iz ogledal a in b ugotovi, da žarek med točkama a in b potuje s svetlobno hitrostjo.



V nadaljevanju se opazovalec približuje ogledaloma, oziroma se ogledali približujeta opazovalcu, eno ali drugo. Gibajočega opazovalca v odnosu na ogledali prikazuje spodnji del slike.

Med ogledali svetloba še vedno potuje s svetlobno hitrostjo, ne glede na to, da se ogledaloma približuje opazovalec. Ogledaloma se lahko približuje marsikdo, celo več opazovalcev hkrati, z različnimi hitrostmi, vendar to ne bo vplivalo na stvarno hitrost svetlobe med ogledali. Tako vidi hitrost svetlobe nekdo, ki je na ogledalih.

Opazovalec, ki pa se ne nahaja na ogledalu, ki se giblje proti ogledalu, pa po zakonitostih PTR vidi drugo sliko. Opazovalec med ogledaloma a‘ in b‘ po PTR navidezno zaznava večjo medsebojno razdaljo, kot med mirujočima ogledaloma.

Desna stran slike kaže, da razdalja med a‘ in b‘ po PTR v prečni smeri glede na gibanje ogledal ostaja enaka razdalji od a do b. Tej razdalji pa moramo prišteti še premik ogledala b v smeri gibanja ogledala, ki ga napravi ogledalo b‘ v času preleta žarka od a‘ do b‘. V času preleta žarka se ogledalo b‘ namreč približa opazovalcu.

Zaradi hitrosti ogledal po PTR opazovalcu na ogledalih (a‘, b‘) čas teče navidezno počasneje, kot v točkah a in b, ko ogledali mirujeta. Opazovalec zato navidezno zazna krajši čas preleta žarka med približujočima ogledaloma a‘ in b‘, od časa preleta žarka med mirujočima ogledaloma v odnosu do njega.

Opazovalec skladno s PTR opaža, da žarek večjo razdaljo med gibajočimi ogledali preleti v krajšem času. Prelet večje razdalje kot v primeru mirujočih ogledal v krajšem času pomeni navidezno povečanje hitrosti svetlobe nad svetlobno hitrost. Hitrost svetlobe se za opazovalca poveča iz dveh razlogov. Navidezno se zaradi hitrosti opazovalca poveča pot žarka, ki jo preleti v navidezno krajšem času. Učinka se ne kompenzirata, ampak seštevata.

Ko s stereotipi obremenjen bralec prebere tak zaključek, pomisli na možnost, na primer da razdalja in čas nista opazovana v istem sistemu opazovanja. Ta stereotip ga običajno odvrne od poskusa poglobljenega razmisleka. Praviloma tu konča z branjem iz dveh razlogov. Po eni strani slepo zaupa svojemu stereotipu, po drugi strani pa si niti ne želi rezultatov, ki so v nasprotju s stereotipi.

GPS in PTR

V strokovni literaturi se pojavljajo članki, ki trdijo, da Globalni sistem pozicioniranja (GPS) ne bi deloval brez upoštevanja PTR zakonitosti. GPS sprejemniki so povsod po Zemlji. Zaradi rotiranja Zemlje in gibanja GPS satelitov se nekateri sprejemniki satelitu približujejo, drugi od njega oddaljujejo. Vsak GPS satelit ima do vsakega GPS sprejemnika na Zemlji drugačno hitrost. Te medsebojne hitrosti se stalno spreminjajo.

Vsak satelit na vsakem GPS sprejemniku po PTR zaznava drugačno dilatacijo časa. Raznolikost in stalno spreminjanje medsebojnih hitrosti med satelitom in GPS sprejemniki ne omogoča prilagajanja frekvence signala na satelitu posameznim GPS sprejemnikom.

Frekvence na satelitih v praksi usklajujejo zaradi drugih vzrokov, niti teoretično pa jih ne morejo usklajevati zaradi PTR zakonitosti.

Naveden primer nas opozori, da moramo biti previdni pri vsaki trditvi. Nenehno preverjanje trditev je osnova znanosti, če nočemo zapasti v slepo ponavljanje nekih stereotipnih zmot.

Temelj našega znanja naj bodo meritve

Hitrost svetlobe v vakuumu med mirujočim izvorom in ponorom je izmerjena. Nejasnosti glede hitrosti svetlobe se pojavljajo v primerih, ko se vir svetlobe približuje ponoru, kadar svetloba potuje v razmerah velike gravitacije ali v primeru prehoda svetlobe skozi magnetno polje. V teh primerih hitrost svetlobe ni izmerjena.

Električni tok v daljnovodu lahko merimo tako, da ob bakreni vodnik daljnovoda namestimo optično vlakno. Magnetno polje, ki ga ustvarja električni tok v daljnovodu, vpliva na hitrost svetlobe v optičnem vlaknu, kot je to opisano na Sliki 28 in Sliki 29. Podobno Canonov brezkontaktni merilnik hitrosti podlage deluje na osnovi merjenja hitrosti svetlobe, s katero se le ta odbije od gibajoče podlage.

Industrija prepoznava vpliv magnetnega polja ali gibanje vira svetlobe na hitrost svetlobe, teoretična fizika pa te vplive spregleda. Ti vplivi namreč rušijo hipotezo o v vseh razmerah enaki hitrost svetlobe.

Industrija se ne obremenjuje s pogledi teoretične fizike. Razlagalci instrumentov praviloma opustijo razpravo o hitrosti svetlobe. S tem pa industrija povratno ne vpliva na temeljna znanja fizike.

Navzkrižno preverjanje miselnih modelov

Spletni forumi spodbujajo razpravo o znanstvenih disciplinah tako, da nenehno nagovarjajo bralce k spraševanju, čemer sledijo odgovori. V primeru teorije relativnosti je drugače. Dvomi o teoriji relativnosti so na spletnih forumih praviloma neželeni. Če pa se že pojavijo, se forum z besedičenjem izogne pojasnilom. Bralci forumov se razdelijo v tiste, ki brez utemeljitve verjamejo, da teorija relativnosti zna odgovoriti na tovrstna vprašanja ter bralce, ki jim množica neodgovorjenih vprašanj ustvarja dvom o verodostojnosti teorije relativnosti. Razprave o teoriji relativnosti s tem postajajo emocionalne. Teorije relativnosti pa drsi iz znanosti v dogmatiko.

Znanstvena disciplina ne sme biti le dogma posameznikov. Verodostojnost mora potrjevati na osnovi meritev in prepričljivih odgovorov širšemu krogu.

Leto 2015 je bilo mednarodno leto svetlobe in tehnologij povezanih s svetlobo. Namen tega eseja je osvetlitev prezrtih lastnosti svetlobe in pobuda za izvedbo štirih meritev hitrosti svetlobe, ki bodo odgovorile na ključna vprašanje o hitrosti svetlobe.

Predlagane nove meritve:

Meritev 1 (str. 52)	Vpliv hitrosti vira svetlobe na uklon svetlobe na uklonski mrežici.
Meritev 2 (str. 64)	Vpliv gibajočih ogledal na lastnosti odbite svetlobe.
Meritev 3 (str. 68)	Meritev valovne dolžine svetlobe, ki jo izseva hitro gibajoč Li ion.
Meritev 4 (str. 72)	Meritev hitrosti svetlobe s kometa.

Filozofski vidik fizike

PTR obljublja počasnejše staranje, kar je obet s čustvenim nabojem, odlična tema za široke ljudske kroge, željne nesmrtnosti. S tem, ko posebno teorijo relativnosti zakriva tančica skrivnosti, je še bolj privlačna in dražljiva, celo mistična. Članke o teoriji relativnosti zato burijo domišljijo.

Prostor in čas se po teoriji relativnosti krivita in imata svoj začetek ob velikem poku, ob nastanku snovi. Za filozofsko smer monizem je materija izvor vsega. Zagovornikom monizma je dobrodošla teza o nastanku časa in prostora ob velikem poku. Če bi se veliki pok pojavil na osnovi nekih vnaprejšnjih matematičnih oziroma logičnih in fizikalnih zakonitostih, bi ostalo odprto vprašanje izvora teh zakonitosti. Izvor teh zakonitosti, ki bi bile osnova nastanka velikega poka, bi morali iskati v virih izpred velikega poka.

Zgodovina nas uči, da so bili mnogi miselni preskoki podvrženi nasprotovanju. Tak je bil na primer prehod iz geocentričnega v heliocentrični sistem.

Tudi na področju hitrosti svetlobe lahko pričakujemo nasprotovanja tistim meritvam, ki bi ogrožala in postavljala pod vprašaji obstoječo paradigmo.

Hitrost svetlobe je bolj sociološko in manj fizikalno vprašanje. Razvoj fizike na tem področju bo omogočila legalizacija pogovorov o predlaganih meritvah hitrosti svetlobe. Od pogovorov o hitrosti svetlobe do samih meritev pa ni daleč. Tehnologija merjenja hitrosti svetlobe je znana in tehnološko nezahtevna.

Tekst Eseja ne ponuja nekih končnih resnic. Izpostavlja pa tista področja fizike, kjer fizika ne ponuja prepričljivih odgovorov na vprašanja.

Tekst eseja je vsebinsko zahteven, vendar namenoma pisan tako, da bi za razumevanje zadoščalo že srednješolsko znanje fizike. V zapisu je zaradi poenostavljanja dan poudarek na besednem opisu fizikalnih pojavov z zgolj nekaj matematičnimi zapisi v ozadju.

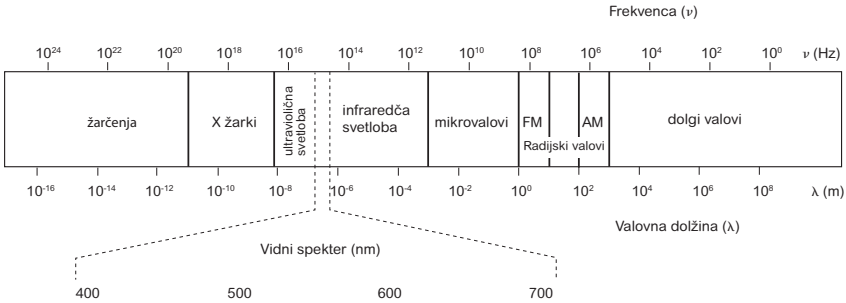
Zgradba svetlobnega vala

Elektromagnetno valovanje

Svetloba je elektromagnetno (EM) valovanje, kamor spadajo tudi radijski valovi, rentgenski žarki, itn.

Električno in magnetno polje

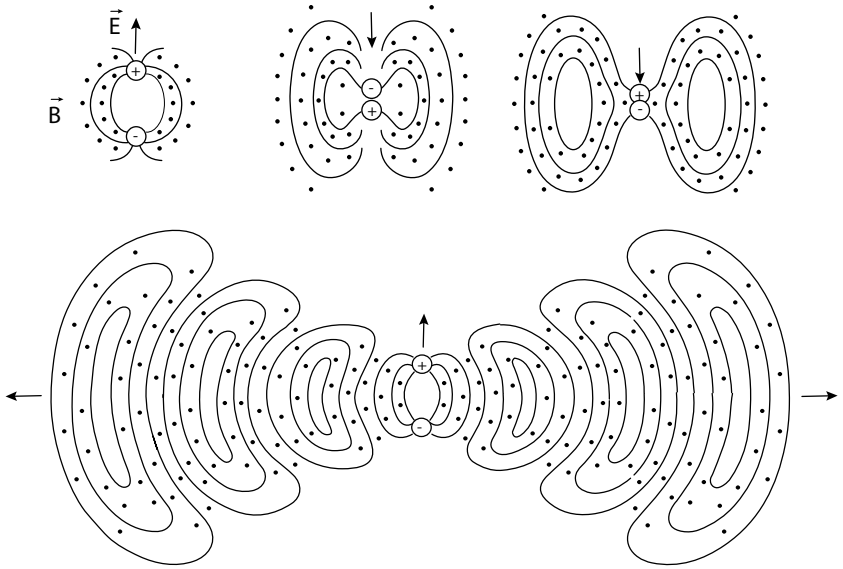
Magnetno polje privlači kovine. Tudi električno polje je naš vsakdanji spremljevalec. Pri česanju las začutimo, kako se nam lasje naelektrijo. Električno in magnetno polje pa se lahko prepleteta med seboj v valovanje, ki ga imenujemo elektromagnetno (EM) valovanje. Slika 1 prikazuje vrste EM valovanj različnih valovnih dolžin.



Slika 1 – Vrste EM valovanj različnih valovnih dolžin

Izvor EM valovanja

Radijske EM valove ustvari izmenični električni tok. Slika 2 v spodnjem delu prikazuje dipol, kamor dovajamo izmenični električni tok. Skice zgoraj pa prikazujejo časovni razvoj EM vala.



Slika 2 – Radijske EM valove ustvari izmenični električni tok. Skice prikazujejo časovni razvoj EM vala.

EM valovi v splošnem nastanejo na različne načine. Svetlobno EM valovanje ustvari na primer svetilka, laserski vir svetlobe, ogenj in tako naprej.

Zgradba EM vala

Opazujem smet, ki se pozibava na vodnem valu. Smet ne potuje z valom. Vodni val smet dviguje in spušča navpično gor in dol. Podobno kot smet menja svojo lego, se v EM valu povečuje in zmanjšuje električno in magnetno polje. Kako hitro se v neki točki spreminja električno polje, označimo z

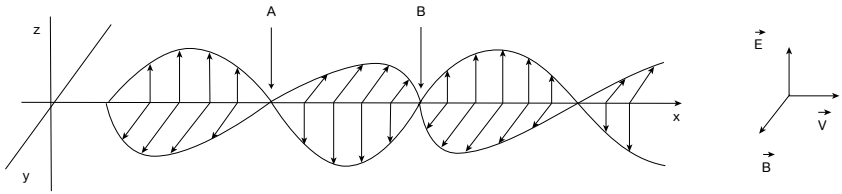
dE/dt. Z **dB/dt** pa označimo, kako hitro se v neki točki spreminja magnetno polje.

Smet se tekom dvigovanja in spuščanja nahaja na različnih naklonih (strminah) vodnega vala. Tudi električno polje v EM valu ustvarja naklone električnega polja tako, da od točke do točke najdemo različne jakosti električnega polja, kar označim z **Rot E**.

Označba **dE/dt** določa, kako hitro se v opazovani točki spreminja električno polje, **Rot E** pa določa, kakšne so električne poljske jakosti okrog opazovane točke.

Medsebojno povezovanje EM valov

Maxwell je širjenje EM valovanja opisal v matematični obliki [1]. EM val je shematsko prikazan na Sliki 3. Val potuje v smeri x.



Slika 3 – Spreminjanje električnega in magnetnega polja ob potovanju EM vala

V točkah A in B na x osi ni električnega in magnetnega polja. Posledično električno in magnetno polje v točkah A in B, ker jih ni, ne moreta povezovati EM valovanja v povezane verige.

---

[1] $\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_e$.

$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$.

$\text{Rot } \mathbf{H} - \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = j_e$.

$\text{Rot } \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0$.

EM valovi med potjo zadevajo v ovire. Vsaka ovira s silo bolj ali manj skuša preusmeriti EM val. EM valovi se tem silam upirajo tako, da so med seboj povezani.

Premikalni tok

Način povezovanja EM valov v koherentne verige opisuje četrta Maxwellova enačba, ki določa, da je Rot B enak -dE/dt. Rot B oziroma odvod električnega polja po času pa ustvarja premikalni tok. Premikalni tok je vpeljal Maxwell leta 1860. To je tok, ki ni posledica potovanja električnega naboja. Premikalni tok[2] ustvarjajo spremembe električnega in magnetnega polja.

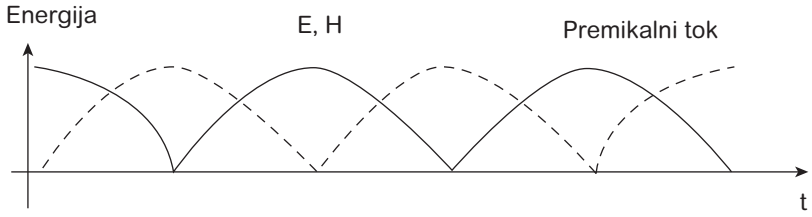
Premikalni tok je najmočnejši v točkah A in B na Sliki 3, kjer ni električnega in magnetnega polja, so pa tam največje spremembe električnega in magnetnega polja.

Maxwellove enačbe kažejo, da se na poti premikalnega toka pojavlja tudi električna napetost, ki jo določa Rot E. Rot E pove, kako se prostorsko, od točke do točke spreminja električno polje. Sprememba električnega polja na opazovani razdalji, to je na poti premikalnega toka, pa pomeni električno napetost. Električni tok v prisotnosti električne napetosti pa je oblika energije.

Energija premikalnega toka se spreminja vzdolž osi x. Tam, kjer sta električno in magnetno polje največji, tam ni premikalnega toka. V vozliščih EM valovanja, to je točkah A in B na Sliki 3, pa opažamo maksimalen premikalni tok ob maksimalni napetosti in s tem maksimalno energijo premikalnega toka.

Energija premikalnega toka v vozliščih valovanja (točkah A in B) ustvarja sile za povezovanje EM valov v koherentno verigo EM valovanja. V EM valovanju opažamo pretakanje med energijo električnega in magnetnega polja in energijo premikalnega toka, kot to prikazuje Slika 4.

[2] Nekateri vidiki četrte Maxwellove enačbe – Anton R. Sinigoj



Slika 4 – Pretakanje energije med energijo električnega in magnetnega polja ter energijo premikalnega toka.

Električno in magnetno polje s svojim usihanjem v svoji soseščini ustvarita premikalni tok. Tudi premikalni tok ni obstojen in tudi ta se v naslednjem trenutku začne sesedati. Sesedanje premikalnega toka pa na tretji lokaciji začne ponovno ustvarjati električno in magnetno polje. EM valovanje pomeni stalno pretakanje energije električnega in magnetnega polja (E, B) v energijo premikalnega toka in obratno.

Kvant svetlobe

Svetlobno EM valovanje teži h kvantnim energijskim vrednostim. Fizika najmanjše delčke svetlobe imenuje fotone. Planck je meril energijo fotona tako, da je s pomočjo svetlobe izbijal elektrone iz atomske lupine.

Na atom je posvetil s tako frekvenco svetlobe, ki ni izbila elektronov iz atomske lupine. Nato je povečal svetlost žarka, ni pa spreminjal frekvence svetlobe. Svetloba elektrona kljub večji svetlosti ni izbila elektronov iz atomske lupine. Elektron je iz atomske lupine izbil le z višanjem frekvence svetlobe. Izmeril je, da na izbijanje elektrona iz atomske lupine vpliva le frekvenca svetlobe, ne pa tudi svetlost žarka.

Svetloba je enako uspešna pri izbijanju elektronov iz atomske lupine, če je njen izvor na Zemlji ali daleč v vesolju. Celo več, če neko verigo fotonov na polprepustnem ogledalu razcepim na dvoje, opažamo, da se del energijsko neokrnjenih fotonov odbije v eno smer, drug del pa v drugo smer.

Energija EM vala

Primerjam energijo fotona z energijo radijskega EM vala. Domžalski srednjevalovni oddajnik oddaja moč v razredu 100 kW pri frekvenci približno 1 MHz. Oddajnik odda milijon EM valov v sekundi, kar pomeni, da je energija enega EM vala v razredu 0,1 džula. Energija fotona po Planckovem zakonu $\mathbf{W = h \cdot f}$ pri frekvenci 1 Mhz je $6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 10^{6} = 6{,}6 \cdot 10^{-28}$ džula. En EM val domžalskega oddajnika vsebuje torej 10^{27} fotonov.

Fotoni v EM valu pri izbijanju elektrona med seboj ne sodelujejo. Če vržem kamen v steklo, pri razbijanju le-tega s svojo maso sodelujejo vse molekule kamna. Če svetloba zadene v elektron, pa fotoni delujejo nepovezano. Če en foton ne more zbiti elektrona iz atomske lupine, mu pri tem sosednji fotoni ne pomagajo.

Fotoni visokih frekvenc

Foton vidne svetlobe je sposoben izbiti elektron iz zunanje atomske lupine nekaterih elementov. Vidna svetloba ima frekvenco v razredu 10^{15} Hz. V naravi opažamo tudi višje frekvence EM valovanja, ki dosežejo preko 10^{20} Hz. Fotoni visokih frekvenc bi morali po Planckovem zakonu imeti milijon krat več energije kot fotoni vidne svetlobe. To pa so tako velike energije, da bi izbile elektrone tudi iz nižjih atomskih lupin. Elektroni bi se po zbitju vračali na izpraznjene atomske lupine in pri tem oddajali fotone vidne svetlobe. Ko bi EM valovi visokih frekvenc, in po Plancku tudi visokih energij obsijali snov, bi ta morala zažareti. Ko bi na primer človeka obsijali z rentgenskimi žarki, bi moral ta del telesa svetiti, vendar se to ne zgodi.

Zakaj z EM žarki visokih frekvenc obsijana snov ne zasveti lahko opazimo na osnovi meritev, opisanih na primer v članku Wikipedije »Mass attenuation coefficient«. Članek opisuje, da fotoelektrična absorpcija na področju rentgenskih žarkov z večanjem frekvence pada, kar pomeni, da imajo višje frekvence svetlobe manjšo sposobnost izbijanja elektronov, kot nižje frekvence.

Planckov zakon torej ne določa energije fotona na celotnem frekvenčnem področju. Na področju visokih frekvenc meritve ne potrjujejo Planckovega zakona. To pa zahteva, da se podrobneje poglobimo v raziskovanje lastnosti fotona.

Elektron v prostranstvih EM vala

Primerjam velikost elektrona z velikostjo EM vala. Valovna dolžina EM vala vidne svetlobe je v velikostnem razredu od 10^{-6} m. Velikost elektrona[3] je manjša od 10^{-12} m. EM val vidne svetlobe je torej zelo velik v primerjavi z elektronom.

EM val in elektron ustvarjata vsak svoje električno in magnetno polje. Ob preletu elektrona skozi EM val njuni polji vplivata drugo na drugo. Elektron je majhen, zato s svojim poljem le na neznatnem območju zmoti električno in magnetno polje EM vala. Radijski val domžalskega oddajnika je energijsko močan, vendar s sunkom sile le šibko deluje na elektron, ker je le neznaten del EM vala v stiku z elektronom.

Kadar atom preleti statično električno ali magnetno polje, ne opazimo izbijanja elektronov iz atoma. Elektroni prejmejo izdatno energijo predvsem od premikalnega toka EM vala, ki ga določa Rot E oziroma dB/dt.

Elektron in EM val se naključno srečata na mnoge načine. Posledično EM val na elektron deluje z neko naključno silo v neki naključni smeri in le nekatere oblike srečanj so sposobne izbiti elektron iz atomske lupine. Zanimive so tiste oblike trkov med elektronom in EM valom, ki ustvarijo največjo silo za zbitje elektrona iz atomske lupine.

Premikalni tok (dB/dt), ki izbija elektron, je odvisen od amplitude magnetne gostote (B) in frekvence EM valovanja. Magnetna gostota EM vala niha sinusno ($\mathbf{b = B \cdot \sin(\omega t)}$). Odvod sinusne funkcije pri majhnih kotih je enak odvodu kota ($\mathbf{d(\sin(\omega t))/dt = d(\omega t)/dt =} \omega$).

[3] David L. Bergman: *Shape & Size of Electron, Proton & Neutron*, maj 2004.

Majhni koti ωt so zanimivi zato, ker EM val izbije elektron pod pogoji, ko je dB/dt največji, to pa je pri majhnih kotih ωt. Posledično amplitudo premikalnega toka, ki ga določa dB/dt, lahko zapišemo v obliki $\mathbf{I = k_1 \cdot B \cdot \omega}$. Konstanto k_1 določa oblika atoma in naboj elektrona, B je amplituda magnetne gostote EM vala. ω je kotna hitrost valovanja EM vala.

Električni tok v splošnem ustvarja moč, ki je proporcionalna kvadratu električnega toka ($\mathbf{P = k \cdot I^2}$). Posledično moč premikalnega toka, ki deluje na elektron lahko zapišemo v obliki $\mathbf{P = k_3 \cdot B^2 \cdot f^2}$. Energija, ki jo elektron prejme od EM vala je $\mathbf{W = P \cdot t}$. Čas t je čas, v katerem premikalni tok deluje na elektron. Čas $\mathbf{t = 1/f}$ čemur sledi:

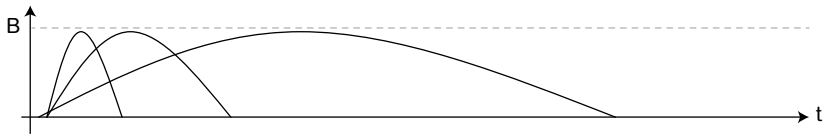
$$\mathbf{W = k_3 \cdot B^2 \cdot f}$$

Energija EM vala na elektron se povečuje linearno s frekvenco EM vala, enako kot se energija fotona s frekvenco povečuje v Planckovem zakonu.

$$\mathbf{W = h \cdot f}$$

Primerjam enačbo za energijo svetlobnega vala EM vala $\mathbf{W= k \cdot B^2 \cdot f}$ in Planckovo enačbo $\mathbf{W = h \cdot f}$. Izenačitev energije lahko zapišemo takole $\mathbf{h \cdot f = k \cdot B^2 \cdot f}$. Enačbo delimo $\mathbf{k \cdot f}$ ter dobimo $\mathbf{B^2 = h/k}$. Parametra h in k sta konstanti kar kaže na to, da sta enačbi združljivi le pri konstantam B za vse frekvence.

Če bi se magnetna gostota EM vala B spreminjala z oddaljenostjo od vira, bi bila uspešnost izbijanja fotonov odvisna od oddaljenosti med virom svetlobe in atomom oziroma elektronom, ki ga EM val izbija.



Slika 5 – Planckov zakon velja v primeru, kjer je amplituda magnetne gostote EM valovanj konstantna za vse frekvence.

Primerjava obeh enačb energije, ki jo prejme elektron od EM vala, kaže, da je amplituda magnetne gostote EM valovanj konstantna za vse frekvence, kot kaže Slika 5.

Ko se EM val oddaljuje od vira, mu z razdaljo padata jakosti električnega in magnetnega polja. Vendar mu ne padata v neskončnost. Pri neki jakosti E in B se EM val raztrga v zaplate (krpice), kot to kaže Slika 7 in potem ti EM valovi v obliki zaplat (‚palačink') potujejo po prostoru tako, da se jim v nadaljevanju poti E in H z oddaljenostjo od vira več ne zmanjšujeta. Ta v vseh razmerah enaka amplituda magnetne gostote ne vsiljenih EM valovanj si zasluži svoje ime. Imenujmo jo ***kvantna amplituda magnetne gostote EM valovanj.***

Energija EM vala visokih frekvenc

Za zbitje elektrona iz atomske lupine morata biti izpolnjena dva pogoja:

- Sila EM polja na elektron mora biti večja od privlačne sile elektrona na atom in
- energija, ki jo elektron prejme od EM vala mora biti večja od vezalne energije elektrona v atomu.

Sila s katero EM polje deluje na elektron[4] je proporcionalna s premikalnim tokom.

$$\mathbf{F = k_2 \cdot B \cdot f} \text{ (konstanta krat premikalni tok)}$$

Navedeni enačbi za silo in energijo, s katero EM val deluje na elektron, veljata v razmerah, kjer energija EM polja izdatno presega vezalno energijo ele-

[4] Rot E je naklon (klanec) električnega polja EM vala. Če se na tem 'klancu' znajde električno polje elektrona, se ti dve električni polji s silo želita oddaljiti; ustvarita silo med električnim poljem EM vala in elektronom. Sila se linearno povečuje z naklonom električnega polja Rot E. Rot E pa je enak premikalnemu toku. Sila EM polja na elektron je torej proporcionalna premikalnemu toku. Za naš primer je zanimiva le amplituda premikalnega toka, kjer je sila na elektron maksimalna. Maksimalni premikalni tok EM vala je $I = k\ 1 \cdot B \cdot \omega$, zato silo na elektron lahko zapišemo kot $F = k\ 2 \cdot B \cdot f$. B je amplituda magnetne gostote EM polja, f frekvenca EM valovanja, konstanti pa dve snovni konstanti, ki jim v tem primeru še ne posvečam pozornosti.

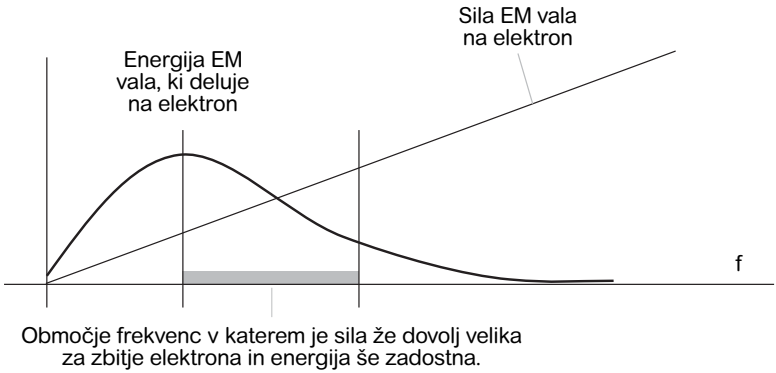
ktrona. V tem primeru elektron neznatno zmoti magnetno gostoto EM vala in njegov premikalni tok.

V primeru, kadar je vezalna energija elektrona primerljiva z energijo EM vala, elektron posrka precejšen del magnetne energije EM vala. S tem elektron zmanjša magnetno gostoto EM vala, s tem pa tudi njegov premikalni tok. Manjši premikalni tok ustvari manjšo silo na elektron.

EM val elektronu lahko preda le vso svojo energijo in nič več. Če EM val ne vsebuje dovolj energije, če EM val vsebuje manj energije od vezalne energije elektrona v atomu, ne more zbiti elektrona iz atomske lupine.

Pri višjih frekvencah je EM val prostorsko manjši in zato ob konstantnem B z večanjem frekvence vsebuje vse manj energije. Do kakšne faze se EM valu ob srečanju z elektronom sesede EM polje, je odvisno od prostorskih dimenzij EM vala. Volumen EM vala se zmanjšuje približno s tretjo potenco valovne dolžine oziroma frekvence. Pri visokih frekvencah EM val na elektron lahko prenese le $\mathbf{W = k_3 \cdot B^2 \cdot f/f^3}$ energije, to je $\mathbf{W = k_3 \cdot B^2/f^2}$, to pa je toliko, kot jo kažejo meritve[5] fotoefekta pri x-žarkih.

$$\mathbf{W = k_3 \cdot B^2/f^2}$$



Slika 6 – Fotoni le določenega frekvenčnega območja lahko izbijejo elektron.

[5] Wikipedije »Mass attenuation coefficient«

Enačbi energije EM vala pri nizkih frekvencah $\mathbf{W = k_3 \cdot B^2 \cdot f}$ in pri visokih frekvencah $\mathbf{W = k_3 \cdot B^2/f^2}$ bo morala znanost na osnovi meritev povezati v eno skupno enačbo, ki bo veljala na celotnem frekvenčnem področju.

Na osnovi opisanih enačb lahko zaključimo: Pri majhnih frekvencah zaradi majhnega Rot E EM val ustvari premajhno silo na elektron za zbitje elektrona iz atomske lupine. Sila s katero je elektron vezan na atom je večja od sile EM vala na elektron. Pri majhnih frekvencah EM vala Planck torej ni opazil izbijanja elektronov. Z večanjem frekvence EM vala se Rot E in s tem sila na elektron povečuje, kar omogoča izbijte elektrona. Pri visokih frekvencah EM vala pa je vezalna energija elektrona na atom večja od energije, ki jo elektronu s sunkom sile posreduje EM val. Zato imajo visoke frekvence manjšo sposobnost izbijanja elektrona kot vidna svetloba.

Foton

Obstaja pa razlika v razumevanju enačb $\mathbf{W} = f \cdot h$ in $\mathbf{W = k \cdot B^2 \cdot f}$. V Planckovi enačbi energijo fotona razumemo kot najmanjši delček svetlobe. Enačba se nanaša le na svetlobo, ne pa hkrati tudi na lastnosti elektrona. V enačbi $\mathbf{W = k \cdot B^2 \cdot f}$ pa pojem energije ni vezan le na lastnost svetlobe. B in f sta vezana na lastnosti svetlobe, k pa določa snovne lastnosti elektrona, to je njegov naboj, obliko krožnice v atomu in njegovo vezalno energijo.

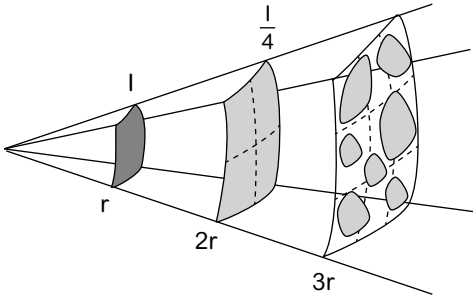
Vsiljena EM valovanja

Pri vseh frekvencah enaka amplituda magnetne gostote EM valovanj se pojavlja pri energijsko uravnoteženih valovanjih. Vsako valovanje ima lahko tudi vsiljena, to je energijsko obogatena stanja. V primeru energijsko obogatenih EM valovanj je amplituda magnetne gostote večja od kvantne amplitude magnetne gostote EM valovanj.

Močan viri svetlobe, na primer Sonce, izseva energijsko obogaten EM val, ki na izvoru presega kvantno magnetno gostoto. EM valu se z oddaljevanjem

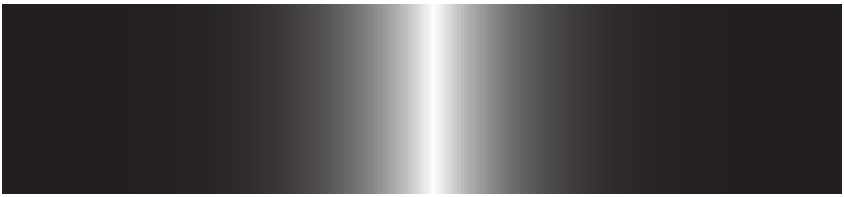
od vira veča površina, kot to kaže Slika 2 oziroma Slika 7. S tem se EM valu zmanjšuje energija na enoto površine in magnetna gostota.

EM val svetlobe si lahko predstavljam kot balon, ki se napihuje s svetlobno hitrostjo. Ko mu magnetna gostota pade na kvantno vrednost, se površina EM vala več ne povečuje. EM val se raztrga na posamezne zaplate (‚palačinke'), ki v nadaljevanju na poti ohranjajo svojo velikost in energijo, kot to kaže desni EM val na Sliki 7.



Slika 7 – EM val se na določeni razdalji raztrga v med seboj nepovezane sklope EM valovanja.

V bližini vira svetlobe se energijski tok zmanjšuje tako, da se zmanjšuje magnetna gostota EM vala. Ko magnetna gostota pade na kvantno vrednost, se le-ta neha zmanjševati. EM val se raztrga v ploskve naključnih površin. Od tu naprej jakost energijskega toka na enoto površine še vedno pada, vendar tako, da se ti avtonomni EM valovi z oddaljevanjem od vira svetlobe med seboj oddaljujejo. Slika 7 prikazuje eno valovno dolžino EM vala. EM valovanje pa je zaporedje v ‚verigo' med seboj povezanih EM valov, kot to kaže Slika 17.



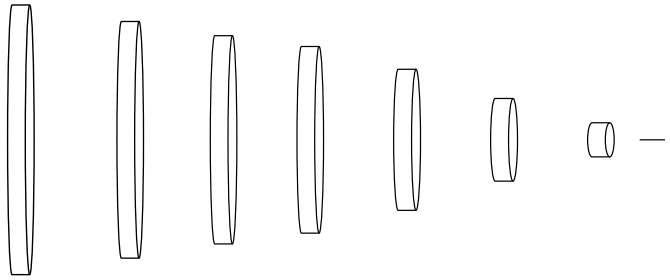
Slika 8 – Poskus Thomasa Younga kaže, da EM val pri potovanju skozi prostor ne spreminja svoje prostorske oblike.

Ohranjanje geometrijske zaokroženosti (velikosti) ploskev EM valov na njegovi poti potrjuje poskus, ki ga je Thomas Young izvedel v začetku 19. stoletja. Poskus kaže, da EM val skozi prostor potuje kot prostorsko zaokrožena energijska tvorba. Ko je Young spustil svetlobo skozi ozko režo, je na zaslonu za režo opazil ozek snop svetlobe. Prikazuje ga Slika 8. EM val ima torej energiji pripadajočo velikost in obliko, podobno kot jo ima snovni delec.

Energijska rekonstrukcija EM valov

Svetloba na poti zadeva v prašne delce ali druge ovire, ki energijsko osiromašijo EM valove. Tako energijsko osiromašenje se odrazi v zmanjšani površini EM vala, prikazani na Sliki 7. Kvantne zakonitosti svetlobnega vala poskrbijo, da se ohranja kvantna amplituda magnetne gostote EM valov na račun zmanjšanja površine EM vala, kot to kaže Slika 9. Površina diska predstavlja površino EM vala. Debelina diska pa simbolno predstavlja amplitudo magnetne gostote v tem EM valu.

EM val izgublja energijo tako, da se mu zmanjšuje površina, amplituda magnetne gostote vala pa se ohranja. Tak EM val z ohranjanjem magnetne gostote ohranja neokrnjeno sposobnost izbijanja elektrona iz elektronske lupine. Pojma foton kot kvanta svetlobe niti ne rabim, ker se površina EM vala zmanjšuje zvezno, ob tem pa s svojo konstantno magnetno gostoto ustvarja vedno enak učinek pri izbijanju elektronov iz atomske lupine.



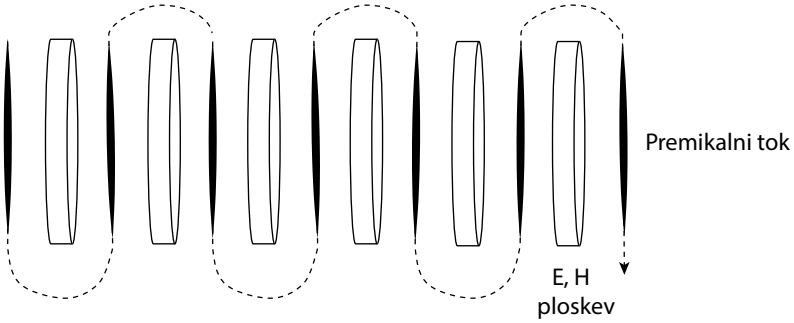
Slika 9 – Kadar EM val izgublja energijo, se mu zmanjšuje velikost, amplituda magnetne gostote vala pa se ohranja.

EM val mnogokje doživlja energijska osiromašenja. Na dnu oceanov ni svetlobe. EM val s prodiranjem skozi vodno plast izgublja svojo energijo. Izgublja jo tako, da EM val zmanjšuje svojo površino. Ne spreminja pa se mu amplituda magnetne gostote dokler EM val energijsko toliko ne oslabi, da preprosto izgine, kot to prikazuje Slika 9.

EM valovi so podvrženi energijskim osiromašenjem tudi v okoljih velike gravitacije. Kadar svetlobni val skuša zapustiti nebesno telo, gravitacijska sila ovira EM val pri dvigovanju iz gravitacije. EM val gravitacijo premaguje s silo na poti, pri čemer izgublja svojo energijo. EM valu ne uspe uiti iz črne luknje, ker za dvigovanje iz gravitacije porabi vso svojo energijo in se posuši, preden bi zapustil črno luknjo. EM valovi, ki pa jim uspe pobegniti z nebesnih teles z veliko gravitacijo, pa se jim ne zmanjša kvantna amplituda magnetne gostote EM valov.

Kvantni pojavi

V nadaljevanju združim Sliko 4 in Sliko 7 in ju narišem v obliki Slike 10. Diski na Sliki 10 prikazujejo električno in magnetno polje, ki se giblje od leve proti desni. Med EM polji teče premikalni tok.



Slika 10 – Prepletanje premikalnega toka in električnega in magnetnega polja

Na robu EM polja premikalni tok zaokroži okrog električnega in magnetnega polja in nadaljuje svojo pot na drugi strani EM polja.

Po zakonu o minimalni energiji se električno in magnetno polje skuša čim bolj razširiti po prostoru ter s tem zmanjšati magnetno gostoto in električno poljsko jakost, podobno, kot se razlije tekočina na ravni ploskvi.

Tudi premikalni tok teži k čim manjši energiji tako, da skuša krajšati svojo pot. Manjšo energijo predstavlja krajša pot premikalnega toka. S tem pa premikalni tok omejuje razširjanje električnemu in magnetnemu polju.

Oblika EM valovanja je kompromis med poskusom razširitve električnega in magnetnega polja po prostoru ter težnjo premikalnega toka po zoženju električnega in magnetnega polja. Snovne konstante ta optimum določijo pri določeni amplitudi magnetne gostote, ki je enaka za vse valovne dolžine svetlobe.

Kvantna fizika je pogosto predstavljena kot nekaj težko razumljivega, čeprav gre v primeru EM valovanja zgolj za težnjo narave k čim manjšemu energijskemu stanju električnega in magnetnega polja ter premikalnega toka. Podobne načina ustvarjanja kvantizacije lahko pričakujemo tudi na področju jedrske fizike.

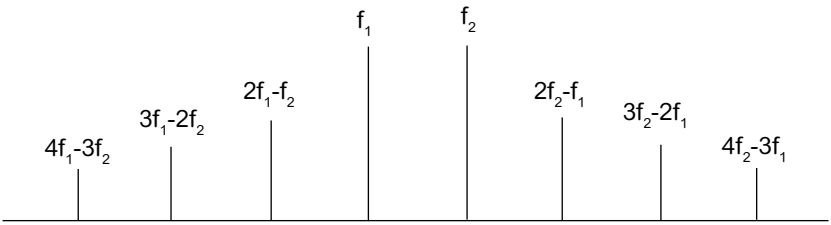
Koherenca svetlobe

Kadar se srečata dva EM vala, praviloma neopazno preideta drug skozi drugega. So pa primeri, kjer pa se električno in magnetno polje med EM valoma prepleteta na tak način, da EM polji vplivata drugo na drugo.

Intermodulacija v optičnem vodniku

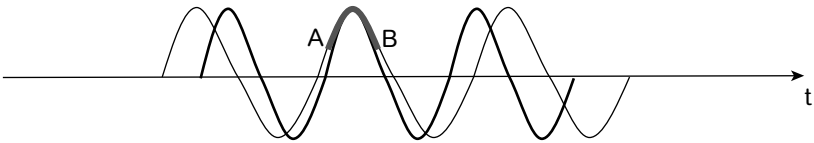
Kadar v optično vlakno vodimo svetlobo ene valovne dolžine, svetloba na izhod iz optičnega vlakna prispe brez popačenj. Če pa v optično vlakno vodimo dve podobni valovni dolžini svetlobe, na izhodu zaradi nelinearnega popačenja in intermodulacije dobimo poleg osnovnih dveh valovnih dolžin še več novo nastalih valovnih dolžin svetlobe, ki so od osnovnih valovnih

dolžin odmaknjene za razliko med osnovnima valovnima dolžinama Δλ, kot to kaže Slika 11.



Slika 11 – Kadar v optično vlakno vodimo dve valovni dolžini svetlobe (f1 in f2), na izhodu dobimo poleg osnovnih dveh valovnih dolžin še več novo nastalih valovnih dolžin svetlobe

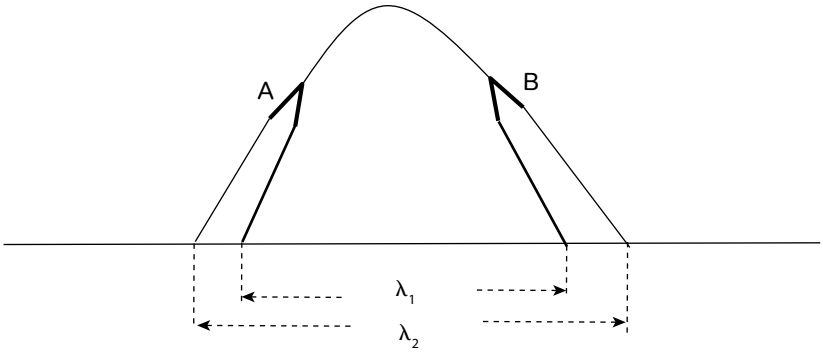
Vstopni frekvenci svetlobe (f_1 in f_2) v optično vlakno sta na Sliki 12 prikazani na časovni osi. EM vala (f_1 in f_2) sta podobnih valovnih dolžin in na relaciji od A do B tudi podobnih faz. Zelo podobni fazi EM valoma ne omogočata, da bi vala na relaciji od točke A do B ohranjala lastno električno poljsko jakost, magnetno gostoto, predvsem pa premikalni tok. Obe EM valovanji sta si tako podobni, da se na tej relaciji zlijeta v en sam EM val.



Slika 12 – Izenačeni fazi EM valoma ne dovoljujeta, da bi vala na relaciji od točke A do B ohranjala svoji električni karakteristiki. EM vala se na tej relaciji zlijeta v en EM val.

EM vala se zlijeta (koherentno povežeta) na delu njunih poti od točke A do B, tam kjer sta njuni fazi dovolj skladni. Ostali del poti žarka v optičnem vlaknu potujeta avtonomno, vsak za sebe.

Na delu njune fazne uskladitve, predvsem v točki A in točki B na Sliki 13, zaradi vzpostavljanja koherence, pride do popačenja oblike enega in drugega EM vala. Nelinearno popačenje EM valov pa v optičnem vlaknu ustvari pestre nove valovne dolžine EM valovanja, v obliki belega šuma.



Slika 13 – V točki A in B zaradi združitve dveh podobnih valov pride do popačenja oblike enega in drugega EM vala.

Nekatere od novonastalih frekvenc so naključno fazno usklajene s fazama osnovnih frekvenc, ki se vzdolž optičnega vlakna ponavljajo na lokacijah od točke A do B in te novonastale frekvence se krepijo na način, kot je prikazan na Sliki 16. To pa ustvarja novonastale valovne dolžine na razdaljah mnogokratnika razlik med osnovnima valovnima dolžinama $\Delta\lambda$.

Meritev dolžine koherentne verige EM valov

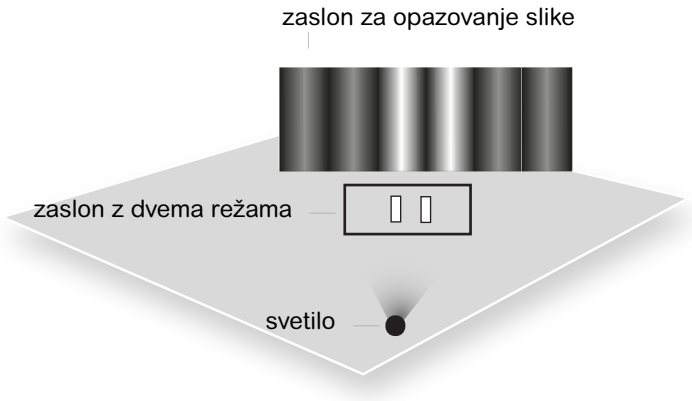
Na podoben način se koherentno lahko povezujejo vsa EM valovanja, tudi izven optičnih vlaken. Imeti morajo le dovolj podobno valovno dolžino in fazo. V sončni svetlobi opazimo dolge verige EM valovanj, ki so medsebojno koherentno povezane.

Kadar se na mokri površini znajde oljni madež, se svetloba odbija v obliki barvne mavrice. Odboj svetlobe se pojavlja tako na vrhu oljne plasti kot tudi na spodnji strani oljne plasti. Kadar je debelina plasti olja mnogokratnik valovne dolžine svetlobe, se na gornji plasti oljnega madeža srečata in koherentno povežeta oba odboja, kar krepi določeno valovno dolžino (barvo) svetlobe.

Odboj svetlobe na oljnem madežu omogoča merjenje dolžine koherentne verige EM valov. Z večanjem debeline oljne plasti se intenzivnost mavričnega odboja zmanjšuje. Koherentne verige EM valov postajajo prekratke, da bi se na vrhu oljnega madeža srečal začetek in konec koherentne verige istega vala. Tista debelina oljne plasti, pri kateri ravno še opazim skromne ostanke mavričnega odboja, predstavlja polovico dolžine najdaljših koherentnih EM valov, ki vpadajo na oljno plast.

Merjenje premera EM vala

Svetlobni EM val ima večjo ali manjšo površino, kot to prikazuje Slika 7 ali Slika 9. Površino EM vala lahko meri Youngov poskus z dvojno režo. Shema meritve je prikazana na Sliki 14.

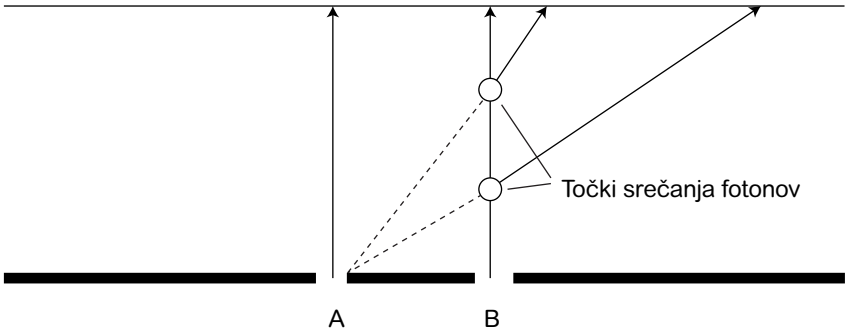


Slika 14 – Ko svetlobi omogočimo hkratno pot skozi dve reži, na zaslonu poleg dveh glavnih lis opazimo še stranske lise.

S svetilom posvetim na zaslon z dvema vzporednima režama.

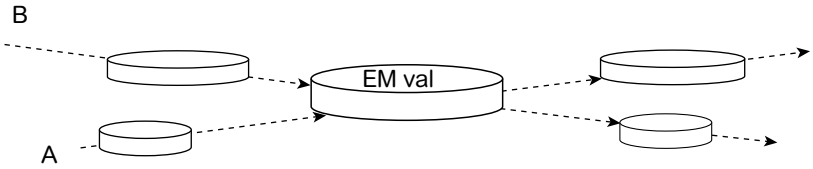
Ko je Young svetlobi omogočil hkratno pot skozi obe reži, je na zaslonu poleg dveh glavnih lis opazil še stranske lise, kot to prikazuje Slika 14.

Ko EM valovi potujejo skozi režo, bolj ali manj oplazijo rob reže. Na robu reže se EM val bolj ali manj popači. Popačeni, razbiti in energijsko oslabljeni EM valovi iz reže odletijo v različne smeri. Kljub zadevanju EM valov v rob reže, pa osnovni žarek ob primerni velikosti reže ostaja energijsko še vedno močan in svetel, kot to kaže Slika 14.



Slika 15 – EM val iz reže A prehaja skozi EM val iz reže B. EM vala se gibljeta drug skozi drugega. Ob prehodu pride med njima do medsebojne izmenjave energije.

Energijsko osiromašeni EM valovi prve reže, na Sliki 15 označeni črtkano, prehajajo skozi energijsko bogate EM valove druge reže, skozi žarek B. EM valovi se gibljejo drugi skozi druge. Ob prehodu enih EM valov skozi druge pride med njimi do koherentnih povezovanj in medsebojne izmenjave energije. Energijsko siromašne verige EM valov iz reže A se energijsko okrepijo, energijsko bogate verige EM valov iz reže B pa izgubijo del energije.



Slika 16 – Em vala A in B po srečanju ne ohranjata enake energije, ki sta jo imela pred srečanjem.

Slika 16 prikazuje po energiji in svoji površini manjši EM val, ki izhaja iz reže A in po energiji in površini večji EM val iz reže B. Njuno srečanje se na

osnovi koherentnega povezovanja preoblikuje v energijsko močnejši in po površini večji EM val, narisan v sredini slike. Pri tem srečanju nastajajo turbulence in popačenja EM valov. V primeru srečanj dovolj usklajenih EM valov, koherentne sile ta dva vala trajno povežejo v skupni in povezan EM val.

V primeru manjše skladnosti obeh EM valov, na primer, kadar je kot vpada med EM valoma prevelik, pa te turbulence EM val ponovno razkoljejo na dva vala, kot to kaže Slika 16. Pri tem pa ni nujno, da se ohranja energija enega in drugega vala v eni in drugi smeri. En EM val se lahko energijsko okrepi na račun drugega EM vala.

Črte na zaslonu Youngove meritve kažejo, da se EM valovi iz reže A okrepijo na račun energije žarka B. Stranske črte na Sliki 14 kažejo, da EM valovi ustvarjajo koherentne povezave in si ob srečanju izmenjujejo energijo le kadar so faze enega in drugega vala dovolj usklajene.

Na izmenjavo energije med žarkoma A in B ne kažejo le stranske črte, temveč tudi zmanjšana energija osnovnega žarka B. Meritve kažejo energijsko oslabitev žarka B, kadar se ta srečuje z energijsko šibkimi EM valovi iz reže A.

Youngov poskus omogoča merjenje površine EM valov

EM val za režo lahko interferira v obliki prikazanih črt na Sliki 14 le v primeru, kadar je EM val dovolj širok, da isti EM val hkrati vpade na obe reži. V poskusu Thomasa Younga morata biti reži dovolj blizu druga drugi, da del istega EM vala preide skozi eno režo in del tega EM vala tudi skozi drugo režo. Le na vhodu fazno usklajeni EM valovi se na drugi strani reže povezujejo v obliki prikazanih stranskih črt.

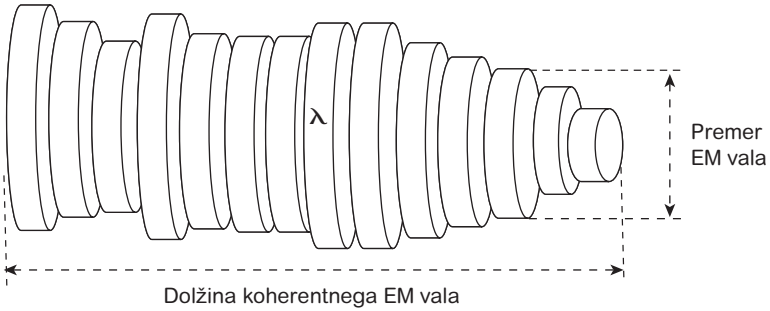
Kadar sta reži preveč razmaknjeni, bolj od širine EM vala, ju isti EM val ne more zaobjeti. V takih primerih ne opazimo značilne interference, ki jo prikazuje Slika 14.

S tem pa Youngov poskus nudi možnost merjenja širine EM valov. Večja, kot je razdalja med režama, manj EM valov hkrati zaobjame eno in drugo režo

in manj izrazite so stranske črte. Razdalja med režama, pri kateri opazimo medle obrise stranskih črt, predstavlja največjo širino opazovanih EM valov.

Na oljnem madežu lahko merimo dolžino koherentne verige EM valov, z Youngovem poskusom pa lahko merimo premer, s tem pa površino EM valov v koherentni verigi. Merimo torej velikost koherentnih EM valov svetlobe, ki potuje v paketu.

S pojmom *koherentni EM val* označimo verigo med seboj povezanih EM valov, kot ga prikazuje Slika 17.



Slika 17 – Koherentnemu EM valu lahko merimo velikost, tako dolžino, kot tudi premer.

Hitrost svetlobe

Maxwellove enačbe so težje razumljive celo poznavalcem fizikalnega ali elektrotehničnega področja. Pogosto enačbam zgolj zaupamo, ne da bi jim vsaj občasno preverili območje veljavnosti. To pa nam lahko zamegli razumevanje, kdaj in kje smemo enačbe uporabiti.

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_e \ .$$
$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \ .$$
$$\mathrm{Rot} \ \ \mathbf{H} - \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = j_e \ .$$
$$\mathrm{Rot} \ \ \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0 \ .$$

Enačbe vključujejo redkeje uporabljene matematične operatorje, na primer Rot E, zato so ti operatorji v nadaljevanju razloženi in ilustrirani na poenostavljenih primerih.

Voda, ki teče preko brzic, ima glede na naklon terena različne hitrosti. Podobno kot voda preko brzic se v EM valu pretakata električno in magnetno polje.

Različne porazdelitve jakosti električnega polja (E) v točkah prostora lahko razumemo kot naklone električnega polja v prostoru, preko katerih se pretaka magnetno polje. Večji ali manjši nakloni električnega polja v prostoru povzročijo različne pretoke magnetnega polja, to je različne časovne spremembe magnetnega polja, kar lahko opišemo v obliki.

$$\mathrm{Rot} \ \ \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0 \ .$$

Rot E opisuje, kako se v prostoru od točke do točke spreminja električno polje, δB/δt pa kako hitro se posledično spreminja magnetno polje.

EM val prikazuje diagram na Sliki 3. Maxwell je enačbe zapisal pred odkritjem teorije relativnosti, zato vektorska oblika Maxwellovih enačb ne vsebuje zakonitosti relativnosti. Zapisane so v Galilejevem koordinatnem sistemu. V vektorski obliki Maxwellovih enačb torej ne poznamo pojmov iz relativnosti, kot so skrček prostora (x‘) ali dilatacija časa (t‘).

V vektorski obliki Maxwellovih enačb z **dD/dt** in **dB/dt** opisujemo hitrost spreminja električnega in magnetnega polja v neki točki. Prostorsko razporeditev električnega in magnetnega polja, to je obliko krivulje na Sliki 3 in valovno dolžino EM vala pa opisujeta **Rot E** in **Rot H**.

Poenostavitev enačb na primeru

Maxwellove enačbe za ilustracijo na izbranem primeru lahko poenostavim tako, da se omejim zgolj na EM val, ki potuje v x smeri, kot to kaže Slika 3. V tem primeru nas zanimajo predvsem krajevne in časovne razmere na x osi koordinatnega sistema.

Četrta Maxwellova enačba se z usmeritvijo EM vala v smeri koordinate x poenostavi v obliko:

$$\mathbf{dE/dx + dB/dt = 0}$$

Funkcija Rot E se poenostavi v funkcijo odvoda dE/dx. Odvod električnega polja po prostorski koordinati x predstavlja strmino krivulje električnega polja v opazovani točki. Celotna funkcija dE/dx na x osi pa opiše geometrijsko obliko EM vala, s tem pa tudi valovno dolžino EM vala. Časovne razmere EM vala (frekvenco) pa opisuje funkcija dB/dt.

Vrednost člena **dE/dx** vzdolž valovne dolžine (Slika 3) v Galilejevem koordinatnem sistemu ni odvisna od hitrosti opazovalca. V členu **dE/dx** ni nobene spremenljivke ali matematične operacije, ki bi nakazovala, da hitrost opazovalca vpliva na obliko in valovno dolžino EM vala.

Drugače je s členom **dB/dt**. Hitrost opazovalca svetlobnega vala skladno z Dopplerjevim učinkom vpliva na frekvenco EM vala.

Člena **dE/dx** in **dB/dt** lahko ilustriram na še bolj predstavljivem primeru. Člen **dE/dx** predstavlja geometrijsko obliko neke krivulje, podobno kot jo ima brazda na gramofonski plošči. Hitrost vrtenja gramofonske plošče ne vpliva na geometrijsko obliko brazde. Ta je takšna kot je in ni odvisna od hitrosti vrtenja plošče. Podobno hitrost opazovalca ne vpliva na geometrijsko obliko (**dE/dx)** EM vala in s tem na valovno dolžino opazovane svetlobe.

Različne hitrosti vrtenja gramofonske plošče povzročajo različne frekvence gramofonske igle, podobno kot različne hitrosti opazovalca svetlobe povzročajo različne vrednosti člena **dB/dt** s tem pa frekvence svetlobe.

V Galilejevem koordinatnem sistemu vektorska oblika Maxwellovih enačb posledično določajo, da se ob konstantni valovni dolžini s hitrostjo opazovalca spreminja frekvenca svetlobe. To pa po enačbi **c = f** · λ kaže na to, da je hitrost svetlobe na ponoru odvisna od hitrosti opazovalca.

Lahko se postavim v izbrano točko na x osi in opazujem EM val. Zaznavam spreminjajoči polji E in B EM vala. Odločim se in stanje E in B polja odčitam vsakič, ko je EM val v valovni fazi π/6.

Opazovanje bližnje krajevne okolice E polja EM vala v fazi π/6, pokaže vrednost *dE/dx*. Opazovanje bližnje časovne okolice B polja EM vala, pokaže dB/dt v tej fazi valovanja.

Pri mirujočem viru svetlobe izmerim, kar izražajo Maxwellove enačbe, da je **dE/dx = - dB/dt**.

Pri gibajočem viru svetlobe se *dE/dx* ohranja, dB/dt pa se spremeni in je odvisen od hitrosti svetila. V enačbi **dE/dx = - dB/dt** se zaradi vpliva hitrosti opazovalca v opazovani točki torej spreminja člen *dB/dt*, ne spreminja pa se člen *dE/dx*. Ob spremenjeni hitrosti opazovalca v opazovani fazi EM vala *dE/dx* ni več enak-dB/dt. Pri različnih hitrostih vira moramo zapisati **Rot E <> -dB/dt**.

V enačbi se ne more spreminjati en člen ob konstantnem drugem členu. Pogoj enakosti v enačbi je torej lahko izpolnjen le pri eni sami hitrosti opazovalca, to je v primeru, kadar se vir svetlobe in opazovalec nahajata v istem sistemu opazovanja, to je kadar vir svetlobe miruje.

Maxwellove enačbe za primer gibajočega vira ali ponora svetlobe torej rabijo nadgradnjo, ki določa, kako hitrost vira ali ponora vpliva na polje EM vala.

Tenzorska oblika Maxwellovih enačb

V nadaljevanju vektorsko obliko Maxwellovih enačb nadgradim z zakonitostmi teorije relativnosti. V vektorski obliki Maxwellovih enačb krajevni parameter x nadomestim s parametrom x‘, skladno z relativističnim skrčkom prostora. Ravno tako časovni parameter zamenjam s parametrom t‘, ki ga določa relativistična dilatacija časa.

Za lažje razumevanje naredim še eno poenostavitev. Po teoriji relativnosti se prostor med dvema točkama v primeru oddaljevanja krči po zakonu:

$$\mathbf{x' = \gamma \cdot (x - vt)}$$

V primeru približevanja med njima pa se širi po zakonu:

$$\mathbf{x' = \gamma \cdot (x + vt)}$$

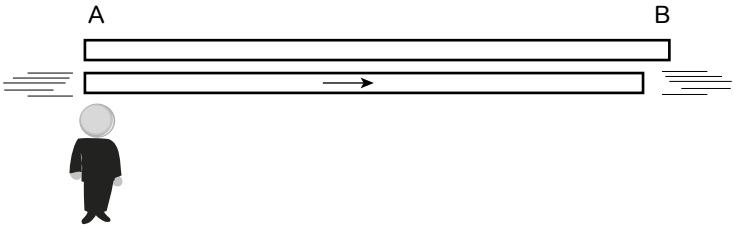
Enačbi poenostavim tako, da opazujem le majhne hitrosti opazovalca, na primer hitrosti, ki ne presegajo 1 km/s, kjer je vpliv hitrosti na γ manjši od10^{-10}.

Vpliv učinka hitrosti na γ pri majhnih hitrostih je za mnogo velikostnih razredov manjši od učinka ostalih faktorjev. Pri majhnih hitrostih faktor γ zato lahko zaokrožimo na 1 in dobimo poenostavljeni obliki enačb.

$$\mathbf{x' = x - vt} \text{ oziroma } \mathbf{x' = x + vt}$$

Osnove relativnosti

Osnovne značilnosti relativnosti prikazuje primer dveh enakih palic, pri katerih vsaka (v primeru mirovanja) meri natanko en meter.



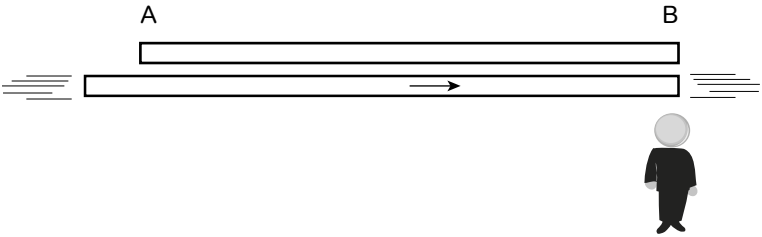
Slika 18 – Opazovalec enako dolgi palici zaradi gibanja vidi različnih dolžin.

Gornja palica na Sliki 18 miruje, spodnja pa se skupaj z opazovalcem, lociranim na levi strani palice, giblje v desno. Dolžino gornje palice opazovalec opazuje v trenutku, ko sta palici poravnani na levi strani.

Za opazovalca spodnja palica miruje, zato ostaja dolga 1 m, zgornja palica pa se opazovalcu zaradi približevanja točke B podaljša na dolžino **x' = x + vt.**

Razdalja x je v našem primeru 1 m, t pa je čas, v katerem svetloba preleti razdaljo 1 m, torej **t = v/c**. Opazovalec mirujočo palico vidi dolgo:

$$x' = 1 + v/c$$

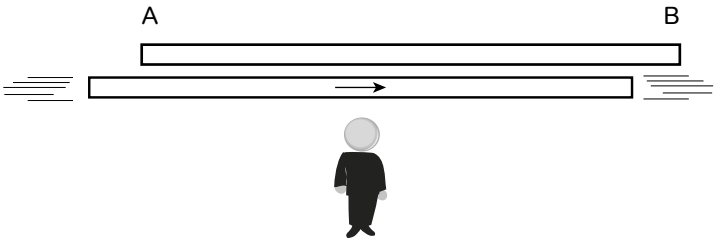


Slika 19 – Opazovalec gornjo palico vidi bodisi krajšo bodisi daljšo, odvisno, kje se nahaja.

V naslednjem primeru na Sliki 19 sta v trenutku opazovanja palici poravnani na desni strani. Tudi opazovalec se nahaja na desni strani svoje palice. Točka

A na gornjem metru se od opazovalca oddaljuje, zato bo opazovalec zaznal manjšo dolžino zgornje palice od enega metra, to je dolžino **x' = 1 - v/c**

V tretjem primeru na Sliki 20 se opazovalce nahaja na sredini spodnje palice in potuje z njo.



Slika 20 – Opazovalec vidi zgolj zamaknjeni enaki dolžini palic, če se nahaja na sredini palice.

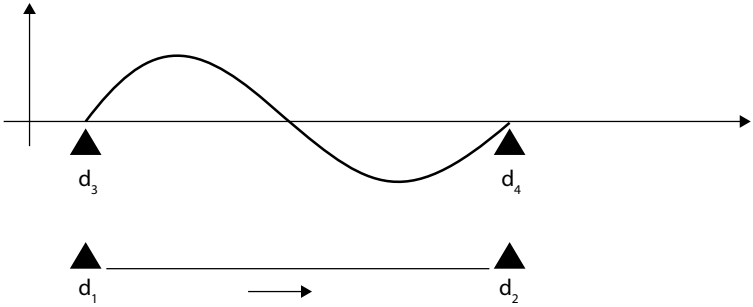
Razdalja opazovalca do točk A ali B je pol metra, zato opazovalec zazna razdaljo do točke A (**1/2 – v/2c**), do točke B pa (**1/2 + v/2c**).

Vsota obeh razdalj je **½ – v/2c + ½ + v/2c = 1**, kar pokaže, da gibajoči opazovalec vidi enako dolžino obeh palic, ne glede na hitrost spodnje palice in opazovalca na njej.

Valovna dolžina

V nadaljevanju namesto dveh palic opazujem valovno dolžino svetlobe, ki jo v enem primeru opazuje mirujoč opazovalec, v drugem primeru pa gibajoč opazovalec, kot to prikazuje Slika 21.

Na mirujočo podlago namestim dva senzorja EM polja na razdalji ene valovne dolžine svetlobnega vala, ki jih na Sliki 21 prikazujeta senzorja d_3 in d_4. Podobno gibajočemu opazovalcu na enaki medsebojni razdalji namestim dva enaka senzorja d_1 in d_2. Senzorja sta med seboj togo vezana, tako da ne moreta spreminjati medsebojne razdalje, se pa lahko gibljeta skupaj z opazovalcem.

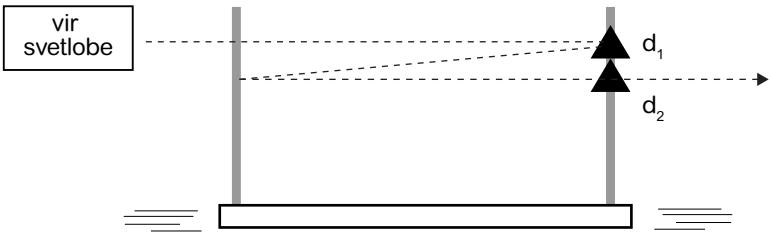


Slika 21 – Mirujoč in gibajoč opazovalec s senzorji merita EM polje, s tem pa valovno dolžino svetlobe.

Kadar se senzorja d_1 in d_3 nahajata v isti točki, v isti točki merita isto EM polje. Podobno kadar se senzorja d_2 in d_4 nahajata v isti točki, tudi senzorja d_2 in d_4 merita isto EM polje v isti točki.
Opazovalca namestim na sredino med detektorja d_1 in d_2. Posledično sta senzorja d_1 in d_3 po analogiji izračuna dolžine palic poravnani hkrati s poravnavo senzorjev d_2 in d_4, ne glede na hitrost opazovalca. Gibajoči opazovalec na Sliki 21 zazna enako valovno dolžino kot mirujoči opazovalec, $\lambda' = \lambda$, ne glede na hitrost gibanja opazovalca.

Primer enega opazovalca

Za še manj tveganja pri sklepanju poskrbimo, če točki A in B oziroma detektorja d_1 in d_2 združimo v isto točko. Detektorja na Sliki 21 lahko združimo tako, kot to kaže Slika 22.



Slik 22 – Meritev valovne dolžine svetlobe z istim detektorjem.

Dve polpropustni ogledali sta nameščeni na gibajoči voziček. EM val iz mirujočega vira potuje do detektorja d_1, se tam odbije nazaj do prvega polpropustnega ogledala, kjer se še enkrat odbije in potuje do detektorja d_2.

Detektorja d_1 in d_2 sta v isti točki in v tej točki je tudi opazovalec. Opazovalec hkrati opazuje odboj žarka ob detektorju d_1 in prihod žarka na detektor d_2. Dolžina žarka od detektorja d1 do detektorja d2 se zaradi hitrosti vozička ne spreminja, tako kot se ne spreminja med detektorji na Sliki 21. Posledično lahko povzamem, da je $\lambda' = \lambda$, ne glede na hitrost gibanja merilnega vozička in opazovalca na njem.

Valovna dolžina svetlobe se ne spreminja

Valovna dolžina svetlobe se ne spremeni niti v primeru vektorske oblike Maxwellovih enačb niti v primeru nadgradnje Maxwellovih enačb z zakonitostmi relativnosti. Dopplerjev učinek vpliva torej na frekvenco svetlobe, ne pa na valovno dolžino svetlobe.

Spreminjaje frekvence svetlobe s hitrostjo opazovalca ali vira svetlobe, ob konstantni valovni dolžini svetlobe, pa po enačbi $\mathbf{c} = \mathbf{f} \cdot \lambda$ pomeni, da je hitrost svetlobe na ponoru odvisna od hitrosti vira svetlobe glede na opazovalca.

Na temo opisanih miselnih eksperimentov se po nepotreben lahko razvijejo neskončne razprave. Po nepotrebnem zato, ker je vpliv hitrosti vira svetlobe na valovno dolžino svetlobe enostavno izmeriti. Do enoumnega odgovora lahko torej pridemo z neposrednimi meritvami. Vpliv hitrosti vira svetlobe na valovno dolžino svetlobe na ponoru namreč še ni izmerjen.

Za potrditev teze o vplivu hitrosti vira svetlobe na valovno dolžino svetlobe se lahko uporabi meritev, ki je bila opravljena leta 2007 in je opisana v članku »S. REINHARDT; *Test of relativistic time dilation with fast optical atomic clocks at different velocities*« in podrobneje opisana na Sliki 34.

Kot osnovo za meritev hitrosti svetlobe pa rabimo klasifikacijo instrumentov, ki pokaže, kateri instrumenti so občutljivi na frekvenco in kateri na valovno dolžino svetlobe. Do te klasifikacije pa lahko pridemo, če si podrobneje ogledamo lastnosti svetlobe v snovi in na odklonski mrežici.

Svetloba v snovi

Svetloba se lahko znajde v mediju, kjer se lomi, odbije, absorbira ali se uklanja na uklonski mrežici.

Lom svetlobe

Svetlobni EM val je za mnogo razredov večji od molekul snovi. Znotraj vsakega EM vala vidne svetlobe je velika množica molekul. Te molekule spremenijo prevodnost prostora za električno polje (dielektričnost) in prevodnost prostora za magnetno polje (permeabilnost).

EM val svetlobe po vpadu v snov, zaradi spremembe električne in magnetne prevodnosti, ni več v optimalnem energijskem stanju. Električne in magnetne sile v EM valu poskrbijo, da se EM po vpadu geometrijsko preoblikuje v za to snov optimalno energijsko stanje. Po vpadu v snovni medij se svetlobi posledično po prehodnem pojavu skrajša valovna dolžina in zmanjša hitrost. Ko svetloba izide iz medija, se postopek preoblikovanja EM vala dogodi v obratni smeri in svetlobi se povrne hitrost, s katero je svetloba vstopila v medij.

Enako vstopno in izstopno hitrost svetlobe v in iz medija kažejo lastnosti leč. Ostrina slike na teleskopu ni odvisna od hitrosti svetlobe.

Enako vstopno in izstopno hitrost svetlobe na leči v teleskopu pa ne smemo zmotno razumeti, kot vedno v vseh razmerah enako hitrost svetlobe. Ostra slika teleskopa dovoljuje le sklepanje, da je hitrost svetlobe na vstopu enaka hitrosti svetlobe na izstopu iz leče, ne dovoljuje pa sklepanja, da je hitrost svetlobe na vstopu v steklo in izstopu iz njega enaka svetlobni hitrosti.

V primeru loma svetlobe opažamo tudi snovi, kjer je lomni količnik svetlobe manjši od ena. V teh snoveh se hitrost svetlobe ne upočasni, ampak poveča nad svetlobno hitrost[6]. Ta ‚hitra svetloba' je poznana že celo stoletje in povzroča pestre razprave med fiziki.

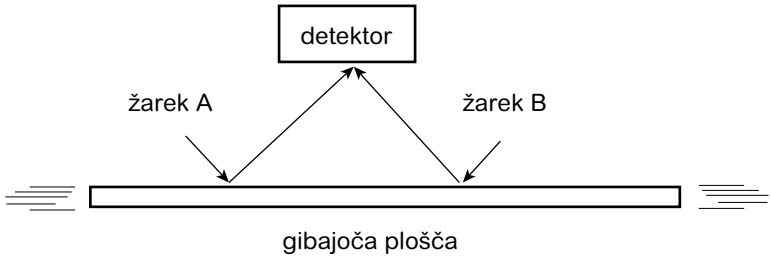
Odboj svetlobe

Ogledalo vsak EM val, ki prispe na parabolično ogledalo teleskopa, usmeri v žarišče teleskopa. Slike vseh nebesnih teles na teleskopu so ostre, ne glede na to, s kakšno hitrostjo svetloba vpade na ogledalo.

Optika teleskopa je lahko enaka za vse svetlobne žarke v primeru, če je odboj svetlobe simetričen. Simetrični odboj svetlobe na zrcalu teleskopa pomeni, da sta vpadna in odbita hitrost svetlobe enaki. Ne pomeni pa, da sta vpadna in odbita hitrost svetlobe enaki svetlobni hitrosti c.

Podobno kot pri lomu tudi pri odboju svetlobe najdemo pojave, ki presenetijo.

Na prečno gibajočo površino usmerim dva medsebojno sinhrona žarka koherentne svetlobe. Žarka ustvari laser tako, da le-ta en žarek razdeli v dva žarka, ki pod različnima kotoma padata na površino, kot to prikazuje Slika 23.



Slika 23 – Odboj svetlobe od gibajoče plošče.

[6] Daniel J. Gauthier, Duke University, and Robert W. Boyd, University of Rochester **Fast Light, Slow Light and Optical Precursors: What Does It All Mean?**

Žarek A vpada v smeri gibanja podlage, žarek B pa v nasprotni smeri gibanja podlage. Odbita svetloba na detektorju ustvarja interferenco, kar izkorišča **Canonov** brezkontaktni merilnik hitrosti podlage.

Detektor ne zazna interferenčnega utripanja obeh žarkov, kar pomeni enaki frekvenci obeh odbitih žarkov na detektorju.

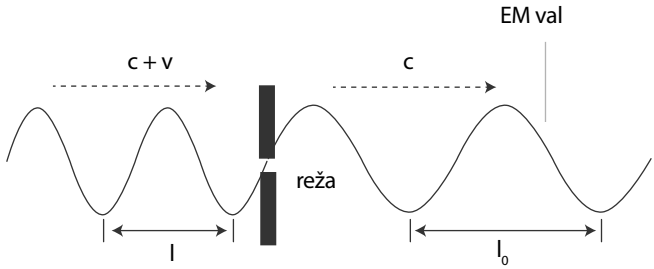
Detektor ob konstantni hitrosti podlage zaznava fazni zamik med žarkoma, ki je odvisen od hitrosti podlage. Fazna razlika med žarkoma na detektorju je lahko le posledica razlik valovnih dolžin odbite svetlobe. Različni valovni dolžini odbite svetlobe ob enaki frekvenci pa pomeni medsebojno različni hitrosti odbite svetlobe.

Uklonska mrežica

Svetlobni EM val ima določeno prostornino, kot kaže Slika 7, Slika 9 ali Slika 17. Tudi reža ima neko velikost. Izberem tako režo, ki je v velikostnem razredu svetlobnih EM valov in v režo usmerim svetlobo. EM val je prevelik, da bi neovirano prešel režo. Zadene ob njen rob, ta pa mu popači obliko električnega in magnetnega polja. EM val si po prehodu reže obnovi EM polje v obliko, kot mu jo določajo Maxwellovi zakoni.

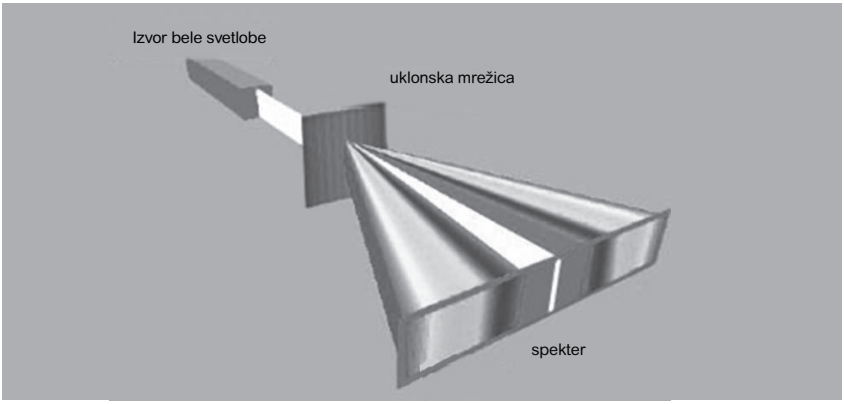
Huygensovo načelo pravi, da je vsaka točka valovne fronte vir novega krogelnega vala, ki nadaljuje pot z isto hitrostjo kot izvorni val. Kaj se zgodi, če svetloba na režo vpade s hitrostjo, ki ni enaka svetlobni hitrosti ? Ali svetloba v tem primeru sledi Huygensovem načelu in pot nadaljuje z enako hitrostjo, različno od svetlobne hitrosti ? Ali pa se reža obnaša kot vir svetlobe, ki svetlobo izseva s svetlobno hitrostjo. To vprašanje bi bilo brez pomena, če ne bi obstajala meritev, ki daje enoumen odgovor na to vprašanje.

V režo naj vstopa svetloba iz gibajočega vira svetlobe, na primer iz turbulentne sončeve korone. Hitrost te svetlobe zaradi turbulenc sončeve korone hipotetično ni nujno enaka svetlobni hitrosti. Meritev naj pokaže, ali svetloba režo zapusti s tako hitrostjo, s kakršno vstopa na režo, ali pa se ji na reži hitrost adaptira na svetlobno hitrost, kot to kaže Slika 24.



Slika 24 – Na reži svetloba svojo hitrost adaptira na c, kadar na režo vpade s hitrostjo, ki je različna od c.

Uklon svetlobe na uklonski mrežici prikazuje Slika 25. Za ta primer je zanimiva uklonska mrežica, ki prepušča svetlobo. Odbojne uklonske mrežice za ta primer niso zanimive.

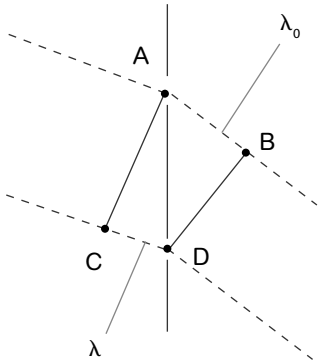


Slika 25 – Uklon svetlobe na uklonski mrežici.

Svetloba na Sliki 25 po prehodu uklonske mrežice na sredini ustvarja belo črto. To je uklon ničtega reda, ki vsebuje svetlobo vseh valovnih dolžin. Ob straneh je barvni spekter uklona prvega reda, kjer je uklon svetlobe odvisen od valovne dolžine svetlobe.

Svetloba naj na uklonsko mrežico vpada pod kotom. Vpadno valovno fronto svetlobnega žarka prikazuje linija AC na Sliki 26, frontna linija BD pa kaže odhajajočo fronto svetlobe po prehodu mrežice.

Žarek uklona ničtega reda se v laboratorijskih razmerah na uklonski mrežici ne lomi. Premočrtna pot žarka po prehodu mrežice je posledica enakega števila EM valov enake valovne dolžine, tako na relaciji AB, kot na relaciji CD.



Slika 26 – Ob prehodu mrežice se hitrost svetlobe adaptira na svetlobno hitrost, ob tem žarek bele svetlobe spremeni smer.

V nadaljevanju na mrežico usmerimo svetlobo iz turbulentnega vira svetlobe, na primer iz sončeve korone, ali iz pospeševalnika na Sliki 35, to je svetlobo hipotetično različnih hitrosti. Če se ob prehodu mrežice njena hitrost adaptira na svetlobno hitrost, ob tem žarek bele svetlobe uklona ničtega reda spremeni smer. Žarek se lomi.

Ob prehodu mrežice se svetlobi lahko spremeni hitrost, s tem pa tudi valovna dolžina, kot to kaže Slika 24. To pa povzroči, da razdalja AB na Sliki 26 pri enakem številu valovnih dolžin ni enaka razdalji CD, kar vpliva na uklon bele svetlobe.

Viri svetlobe v sončevi koroni imajo pestre hitrosti, kar pa lahko ustvarja različne uklone EM valov na uklonski mrežici. Posledica različnih uklonskih kotov svetlobe na uklonski mrežici pa je povečan raztros svetlobe bele lise.

Hipotezo o vplivu hitrosti vira svetlobe na hitrost svetlobe torej lahko potrdimo oziroma ovržemo z meritvijo. Če na uklonski mrežici zasledimo vpliv hitrosti vira svetlobe na uklon svetlobe ničtega reda, je le-ta lahko le posledica različnih hitrosti vpadne svetlobe na uklonsko mrežico.

> *Meritev 1 – Spremembo hitrosti svetlobe na uklonski mrežici potrdimo/ovržemo z meritvijo uklona ničtega reda svetlobe iz gibajočega vira svetlobe na uklonski mrežici. Primerjamo prepoznavnost bele lise svetlobe v laboratorijskih razmerah s prepoznavnostjo oziroma raztrosom bele lise, ki jo ustvarja svetloba s Sonca, to je vira svetlobe z velikimi turbulencami.*

Lastnosti uklonske mrežice dajejo možnost merjenja hitrosti svetlobe iz gibajočega vira svetlobe. Na uklonski mrežici na Sliki 24 lahko izmerimo spremembo valovne dolžine na uklonski mrežici. Frekvenca svetlobe je enaka pred in za uklonsko mrežico. Iz spremembe valovne dolžine in frekvence pa po enačbi **c = f. λ** lahko izračunamo spremembo hitrosti svetlobe na uklonski mrežici in posledično hitrost svetlobe pred uklonsko mrežico.

Metodo meritev je podrobno opisana v članku[7] ,*The impact of the light source movement on the EM properties of light*', ki sem ga leta 2011 objavil na WSEAS konferenci v Benetkah, kratek popvzetek[8] merilne metode pa je prikazan in opisan na Sliki 36 tega eseja.

Meritve hitrosti svetlobe

Poti do razkritij fizikalnih zakonitosti so pogosto dolge in prepletene, z mnogimi presenečenji kot s stranpotmi. To velja tudi za razkrivanje hitrosti svetlobe.

Znanosti še najmanj težav povzroča merjenje hitrosti svetlobe, ki prihaja z mirujočega vira svetlobe, to je v razmerah, ko se vir svetlobe in opazovalec nahajata v istem sistemu opazovanja.

Zgodovino meritev hitrosti svetlobe je leta 1997 opisal Philip Gibbs v članku »How is the Speed of Light Measured?«[9] Opisi omenjenih meritev so

---

7 http://www.frozman.si/pdf/WSEAS.pdf

8 http://www.frozman.si/pdf/The_properties_of_light.pdf

9 Philip Gibbs:– ''How is the speed of light measured?'' (1997)

razumljivi, zato jih le omenjam. Meritve kažejo, da svetloba v vakuumu vsakokrat zapusti vir svetlobe s hitrostjo 2.99792 10^8 m/s. To hitrost označujemo s konstanto c in jo imenujemo svetlobna hitrost.

Vse v članku navedene meritve so opravljene v razmerah, ko izvor in ponor svetlobe mirujeta v odnosu drug do drugega in ko na hitrost svetlobe ne vpliva niti magnetno polje niti gravitacija. Hitrosti vira svetlobe, magnetnega polja in gravitacijskega polja pa ne smemo podcenjevati, kar kažejo v nadaljevanju opisani primeri.

Vpliv magnetnega polja na hitrost svetlobe

Sončeve pege so posledica močnih magnetnih polj. Magnetno polje preusmeri žarke sončevega sevanja v različne smeri in s tem zmanjša vidno svetlost Sonca na mestu močnega magnetizma.

Na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani merimo vpliv magnetnega polja na lastnosti svetlobe na osnovi optičnih interferometrov. Za nekatere od teh meritev najdemo podobne meritve v literaturi, kar olajša merjenja. Analiziramo različne interpretacije že objavljenih rezultatov meritev v strokovnih člankih in na osnovi lastnih meritev skušamo razumeti lastnosti svetlobe.

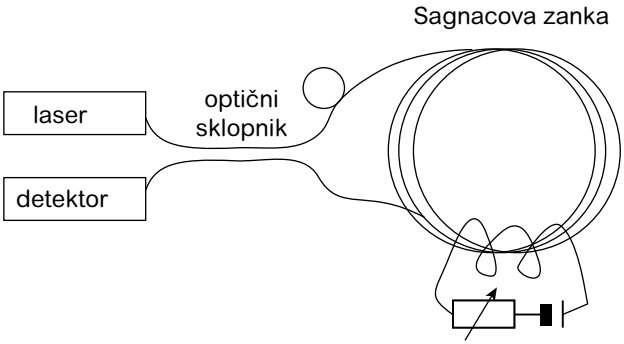
Vrste optičnih interferometrov

Za merjenje hitrosti svetlobe je primeren Sagnacov interferometer. Poznamo dve vrsti Sagnacovih interferometrov. Eni delujejo na osnovi odboja svetlobe od ogledal (prostozračna izvedba), drugi pa na osnovi optičnih vlaken in optičnega sklopnika (vlakenska izvedba).

Sagnacov interferometer, ki ga prikazuje Slika 27 deluje na osnovi optičnega sklopnika in enorodnega optičnega vlakna.

Optični sklopnik razdeli laserski žarek v dva žarka in jih pošlje v nasprotnih smereh v kolut optičnega vlakna. Ko žarka prepotujeta, optično vlakno v

kolutu, eden v eni smeri, drug v drugi smeri, jih isti optični sklopnik združi in usmeri proti detektorju. Detektor meri interferenco žarkov.



Slika 27 – Meritev vpliva magnetnega polja na hitrost svetlobe s Sagnacovih interferometrom.

Za potrebe meritve vpliva magnetnega polja na hitrost svetlobe v optičnem vlaknu uporabljamo 30 cm dolgo tuljavo, v kateri ustvarimo magnetno polje z magnetno gostoto 20 mT, impulzno za čas 15ms pa do 200 mT. S tem magnetnim poljem vplivamo na žarka svetlobe v optičnem vlaknu Sagnacovega interferometra.

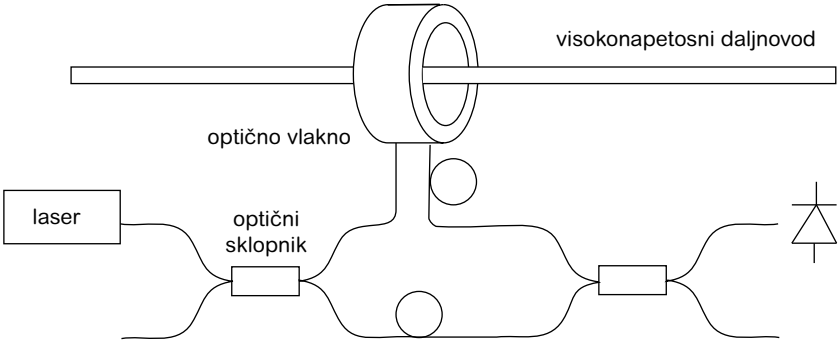
Uporabljamo laserski vir svetlobe tipa HP8168F z valovno dolžino 1550 nm. Svetlobni tok na izhodu iz interferometra merimo s spektralnim analizatorjem tipa AQ6317.

Kadar EM val svetlobe zaide v magnetno polje, pride do medsebojnega vpliva med električnim in magnetnim poljem svetlobnega vala in zunanjim magnetnim poljem. Ta pojav za svoje delovanje uporabljajo tudi industrijski merilniki.

Meritev električnega toka v daljnovodu

Za merjenje električnega toka v daljnovodu se uporablja Mach-Zehnderjev interferometer tako, da optično vlakno, v katerem potuje žarek, navijemo

okrog vodnika električnega toka. Na ta način svetlobni žarek vodimo skozi magnetno polje, ki ga ustvarja tok v daljnovodu. Meritev je opisana v članku *Optical Current Sensors for High Power*[10] in prikazana na Sliki 28.



Slika 28 – Meritev vpliva magnetnega polja na hitrost svetlobe z Mach-Zehnderjevim interferometrom.

Meritev pokaže različne čase prehoda žarka skozi optično vlakno v odvisnosti od gostote magnetnega polja, ki ga ustvarja električni tok daljnovoda. Nekatera strokovna literatura navaja, da so različni časi prehoda žarka v optičnem vlaknu lahko posledica spremembe dolžine optičnega vlakna po vplivom magnetnega polja (magnetostrikcije).

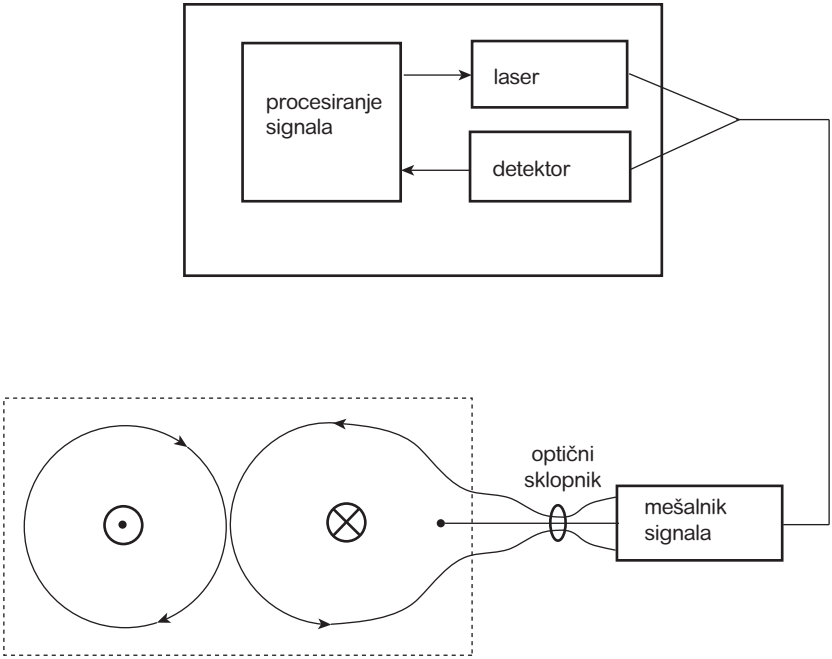
Ocena vzroka časovnega zamika

Odgovor na vprašanje vpliva magnetnega polja na čas prehoda žarka skozi optično vlakno nudi meritev, ki je opisana v patentu *Sensing unit for sagnac optical fibre current sensor*[11]. Meritev omogoča merjenje električnega toka v daljnovodu tako, da magnetno polje, ki ga ustvarja električni tok, vpliva

[10] Optical Current Sensors for High Power http://www.mdpi.com/2076-3417/2/3/602/pdf

[11] Sensing unit for sagnac optical fibre current sensor ttp://www.google.com/patents/EP2245426B1?cl=en

na časovni zamik enega in drugega žarka v optičnem vlaknu Sagnacovega interferometra. Način meritve prikazuje Slika 29.



Slika 29 – Meritev toka (vpliva magnetnega polja na hitrost svetlobe) s Sagnacovih interferometrom

Laser (17) svetlobo usmerja na optični sklopnik (21). Ta jo razdeli[12] v obeh smereh optičnega vlakna. Žarka se vrneta z različnima zakasnitvama, odvisno od električnega toka v vodniku in posledično magnetnega polja, ki ga ta tok ustvarja.

Laser oddaja 100 ns impulze, na detektorju pa merimo časovni zamik vrnitve impulzov enega in drugega žarka neposredno v nanosekundah. Merimo

[12] Sklopnik svetlobo razdeli v tri smeri zato, da v celotnem tokovnem območju lahko meri električni tok. Za naše razumevanje zadostuje spremljanje delitve žarka v obe smeri Sagnacovega interferometra.

čas zamika med žarkoma in ne interference. Izmerjen časovni zamik je linearno sorazmeren s tokom in magnetno gostoto, v kateri se nahaja optično vlakno.

Izmerjenega časovnega zamika med žarkoma ne moremo pripisati magnetostrikciji. Magnetno polje enako vpliva na dolžino optičnega vlakna za oba žarka, v eni in drugi smeri. Magnetostrikcija bi za enak faktor spremenila dolžino optičnega vlakna za oba žarka in s tem dolžine optičnih poti enega in drugega žarka.

Časovni zamik med žarkoma lahko nastane le zaradi razlik v hitrosti svetlobe tako, da magnetno polje drugače vpliva na hitrost svetlobe v enem in drugem žarku, odvisno od tega, ali svetlobni žarek potuje v smeri magnetnega polja ali v nasprotni smeri magnetnega polja.

Vpliv magnetnega polja na EM valovanje

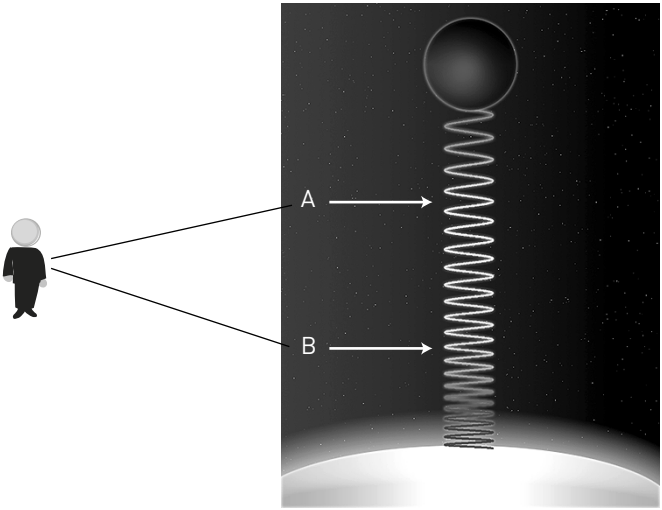
Magnetno polje na električni tok deluje s silo. Kadar se svetloba pojavi v magnetnem polju, magnetno polje s silo deluje na premikalni tok svetlobnega EM vala. Sila magnetnega polja s tem preoblikuje (popači) EM val. Popačena oblika EM vala pa vpliva na hitrost gibanja EM vala.

V Sagnacovem interferometru en žarek potuje v smeri zunanjega magnetnega polja, drug žarek pa v nasprotni smeri zunanjega magnetnega polja. Različni hitrosti svetlobe v eni in drugi smeri Sagnacovega interferometra kažeta, da pride do različne deformacije svetlobnega EM vala v primeru, kadar svetloba potuje v smeri zunanjega magnetnega polja od deformacije EM vala, kadar svetloba potuje v nasprotni smeri EM vala.

Deformacija svetlobnega EM vala, s tem pa različne hitrosti svetlobe pod vplivom zunanjega magnetnega polja, ni nujno vezana na gibanje žarka v snovi. Posledično sprememba hitrosti svetlobe v zunanjem magnetnem polju hipotetično lahko pričakujemo tudi v vakuumu.

Hitrost svetlobe v gravitacijskem polju

V literaturi opisan gravitacijski rdeči zamik spektralne črte (»Gravitational redshift«) govori o vplivu gravitacijskega polja na spremembo valovne dolžine svetlobe.



Slika 30 – Vpliv gravitacije na hitrost svetlobe.

Če je na Sliki 30 točka B območje večje gravitacije, točka A pa območje manjše gravitacije, literatura[13] navaja, da ima svetloba v točki A večjo valovno dolžino, kot v točki B.

Kako pa je s frekvenco? Pogostost prehodov EM valov skozi točki A in B lahko merimo s pomočjo merjenja časa, kadar pogostosti prehodov EM valov skozi točki ni možno neposredno primerjati. Kadar pogostost prehodov EM valov lahko primerjamo neposredno, brez ure, je merjenje časa odvečno in celo moteče.

Metode merjenja časa, merilni instrumenti in časovne enote (sekunde) so rezultat človeškega ustvarjanja, zato jih lahko oblikujemo in preoblikujemo

[13] Wikipedija; Gravitational redshift

na mnoge načine, s tem pa lahko izmerimo karkoli. Bolj zanesljivo se je posvetiti neposrednemu sledenju pogostosti dogodkov.

V primeru opazovanja pogostosti prehoda EM valov skozi točki A in B lahko te dogodke spremljamo neposredno. Svetlobo v točki A in B lahko hkrati opazuje opazovalec na Sliki 30. Brez uporabe ure opazi, da v točki A prehajajo EM valovi sinhrono z valovi v točki B. Če bi v prostor med točkama A in B prihajalo več EM valov, kot jih iz njega izhaja, nastane vprašanje nenehnega povečevanja števila EM valov na razdalji AB. Opazovalec na osnovi sinhronega prehajanja EM valov skozi točki A in B ugotavlja enako frekvenco EM valov v točkah A in B.

Hitrost svetlobe določa enačba $\mathbf{c = f \cdot \lambda}$, pri čemer je c hitrost svetlobe, f njena frekvenca in λ valovna dolžina. Ker literatura navaja, da se s spremembo gravitacijskega polja na poti svetlobe spreminja valovna dolžina svetlobe, ne spreminja pa frekvenca svetlobe, gravitacija vpliva na hitrost svetlobe.

Vpliv radialnega pospeška na hitrost svetlobe

Sagnacov interferometer omogoča merjenje vpliva radialnega pospeška na hitrost svetlobe. Kolut optičnega vlakna na Sliki 27 rotira. Eden od žarkov potuje v smeri vrtenja optičnega vlakna, drug žarek pa v nasprotni smeri. Časovni zamik med enim in drugim žarkom se linearno povečuje z dolžino vlakna, premerom koluta optičnega vlakna in kotno hitrostjo vrtenja koluta[14] $\mathbf{\Delta t = L \cdot D \cdot \omega / c^2}$

Interferenčni signal na izhodu interferometra ne utripa pri konstantni kotni hitrosti interferometra. To pomeni enaki frekvenci žarkov na detektorju.

Skladno s PTR zunanji mirujoč opazovalec vidi enaki hitrosti obeh žarkov. V času potovanja žarkov po optičnem vlaknu se detektor premakne. Pri-

[14] Basac Secmen, SIMULATION ON INTERFEROMETRIC FIBER OPTIC GYROSCOPE WITH AMPLIFIED OPTICAL FEEDBACK, September 2013, http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/1253657/index.pdf

čakovan časovni zamik med žarkoma zaradi premika detektorja, ob enaki hitrosti žarkov za zunanjega opazovalca, zaradi v steklu manjše hitrosti svetlobe znaša[15] $\Delta t = L \cdot \mathbf{D} \cdot \omega \cdot \mathbf{n^2/c^2}$ in ne $\mathbf{L} \cdot \mathbf{D} \cdot \omega/c^2$, kakršen je izmerjen.

Izmerjen časovni zamik žarkov v vlaknu $\Delta t = L \cdot \mathbf{D} \cdot \omega/c^2$ bi lahko ustvarila svetlobna hitrost žarka (c), ne pa za lomni količnik stekla zmanjšana hitrost žarkov v optičnem vlaknu (c/n).

Dilemo pojasnimo tako, da izberemo primeren sistem opazovanja. Ob pravilnem razumevanju pojava mora kateri koli sistem opazovanja dati enako razumevanje pojava. Razlike med sistemi opazovanja so v tem, da nekateri sistemi opazovanja pojav opišejo bolj nazorno in razumljivo, drugi sistemi pa z manjšo preglednostjo dovoljujejo celo zmotne razlage pojava.

Opazovalca postavimo v os vrtečega interferometra tako, da se opazovalec vrti skupaj z interferometrom. V tem sistemu opazovanja laserski izvor, detektor in optično vlakno mirujejo; tudi v primeru vrtenja interferometra. Kljub mirovanju opazovalec zazna časovni zamik med žarkoma.

Izvor časovnega zamika med žarkoma

Žarka v kolutu potujeta po krožnici. Na žarka delujeta radialna pospeška, ki sta posledica hitrosti svetlobe v ukrivljenem optičnem vodniku. Radialni pospešek na en žarek deluje v eni smeri, na drug žarek pa zaradi nasprotne smeri žarka v nasprotni smeri. Temu pospešku moramo prišteti še pospešek na žarek zaradi rotiranja interferometra, ki pa je enak za oba žarka.

Pospešek zaradi vrtenja interferometra se posledično pospešku enega žarka prišteva, od pospeška drugega žarka pa odšteva. Svetlobna žarka v optičnem vlaknu posledično občutita različna radialna pospeška.

---

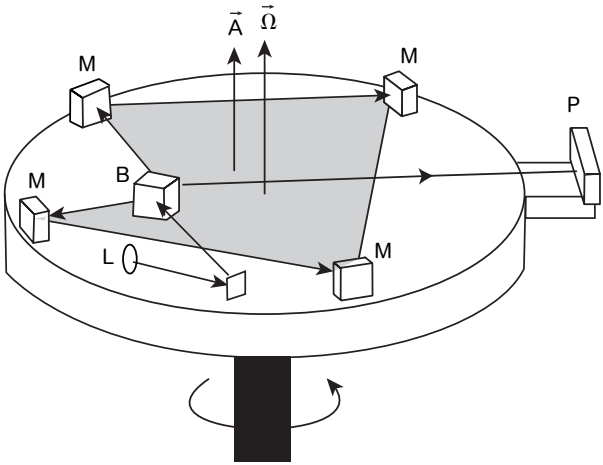
[15] Obodna hitrost interferometra znaša r. ω, sešteti obodni hitrosti obeh žarkov pa $\mathbf{D \cdot \omega}$. Žarek v vlaknu potuje $\mathbf{L \cdot n/c}$ sekund. Vlakno se torej domnevno podaljša za obodno hitrost interferometra krat čas potovanja žarka v vlaknu, kar znaša $\mathbf{L \cdot D \cdot \omega \cdot n/c}$ metrov. Če podaljšanje vlakna delimo s hitrostjo svetlobe v steklu, dobimo enačbo časovnega zamika $\mathbf{\Delta t = L \cdot D \cdot \omega/c^2}$ (L – dolžina optičnega vlakna, D – premer optičnega koluta, ω – kotna hitrost vrtenja koluta, n- lomni količnik stekla)

Različna radialna pospeška sta lahko odgovor na vprašanje izvora časovnega zamika med žarkoma. Meritev torej pokaže, da radialni pospešek, ki deluje na svetlobna žarka v optičnem vlaknu, vpliva na hitrost svetlobe v optičnem vlaknu.

Hitrost odbite svetlobe od prečno gibajoče podlage

Zasnova Sagnacovega interferometra na osnovi rotirajočih ogledal je prikazana na Sliki 31. Interferometer je sestavljen iz laserskega svetila (L), pol propustnega ogledala (B), ki žarek razdeli v dve smeri proti ogledalom (M) ter detektorja (P), ki na koncu prestreže žarka.

Interferometer se vrti. Žarka se zaporedoma odbijata od ogledal (M) tako, da en žarek potuje med ogledali v smeri vrtenja interferometra, drug žarek pa v nasprotni smeri vrtenja interferometra. Na koncu polpropustno ogledalo oba žarka združi in usmeri v isti žarek proti detektorju (P).



Slika 31 – Sagnacov interferometer na osnovi rotirajočih ogledal

Ob mirujočem interferometru žarka do detektorja prispeta sočasno. Ob vrtenju interferometra pa žarka do detektorja prispeta s časovnim zamikom.

Članek *Sagnac effect* v Wikipediji[16] opisuje, da žarka na Sliki 31 prikazanega interferometra, prispeta do detektorja s časovnim zamikom $\Delta t = 4 \cdot \mathbf{S} \cdot \omega / c^2$. S je površina ploščine med ogledali, ω pa kotna hitrost vrtenja interferometra.

Za merjenje časovnega zamika med žarkoma lahko uporabimo v članku THE POLARIZATION SAGNAC INTERFEROMETER FOR GRAVITATIONAL WAVE DETECTION[17] opisano merilno metodo. Laser oddaja signal v obliki impulzov. Na detektorju merimo čas, v katerem prispe posamezen impulz na detektor preko prvega in preko drugega žarka. Razliko časov merimo neposredno v časovnih enotah na primer nanosekundah.

Hipoteze o izvoru časovnega zamika med žarkoma

Strokovna literatura zmotno navaja, da časovni zamik med žarkoma povzroča približevanje enega ogledala enemu žarku oziroma oddaljevanje drugega ogledala od drugega žarka.

Kot prvo je ta razlaga v nasprotju s PTR. Približevanje žarka ogledalu namreč lahko razumemo le tako, da hitrosti žarkov do ogledal nista enaki svetlobni hitrosti. Po PTR ima svetloba glede na ogledalo vedno enako, to je svetlobno hitrost, kar izključuje možnost približevanja ali oddaljevanja ogledala žarku.

Kot drugo, se geometrijsko gledano ogledala glede na žarek gibljejo prečno. Približevanje ogledala žarku bi se moralo odraziti v različnih frekvencah enega in drugega žarka na detektorju, česar pa v meritvah ne zaznamo. Enakost frekvenc kaže interferenčni žarek na detektorju, ki ne utripa pri konstantni kotni hitrosti interferometra. Interferenca žarkov torej ne kaže na približevanje žarka k ogledalu.

---

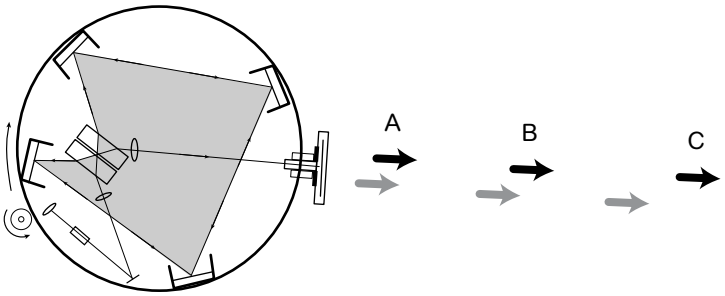
[16] Sagnac effect - Wikipedia - http://en.wikipedia.org/wiki/Sagnac_effect

[17] Peter T. Beyersdorf, THE POLARIZATION SAGNAC INTERFEROMETER FOR GRAVITATIONAL WAVE DETECTION January 2001 http://nlo.stanford.edu/system/files/dissertations/peter_beyersdorf_thesis_january_2001.pdf

Čas potovanja enega in drugega žarka

Pri Canonovem merilniku hitrosti podlage, opisanem na Sliki 23, je prikazano, kako prečna hitrost podlage vpliva na valovno dolžino odbite svetlobe ne pa na njeno frekvenco. V primeru opisanega Sagnacovega interferometra imamo podoben primer odbijanja svetlobe od prečno gibajočih ogledal kot v primeru Canonovega merilnika hitrosti podlage.

Pri interferometru, prikazanem na Sliki 31, je detektor (P) nameščen na čim večji oddaljenosti od polpropustnega ogledala (B). S tem so avtorji meritve povečali občutljivost interferometra. Večji časovni razmik med žarkoma na večji oddaljenosti detektorja od polpropustnega ogledala pa pomeni različni hitrosti **žarkov** na izhodu iz polpropustnega ogledala interferometra do detektorja, kot to kaže Slika 32.



Slika 32 – Različni časovni razmik med žarkoma na različnih oddaljenostih pomeni različni hitrosti žarkov.

Na Sliki 32 je časovni zamik med žarkoma **v točki A manjši od časovnega zamika na bolj oddaljeni točki B. Časovni zamik** med žarkoma pa je še večji v točki C. To pa je možno le pri različnih hitrostih žarkov, ki izstopata iz interferometra.

> *Meritev 2: Časovni zamik med žarkoma iz interferometra enkrat merimo blizu polpropustnega ogledala, v drugem primeru pa na večji razdalji od ogledala. Primerjava rezultatov meritve časovnega zamika med žarkoma, glede na Sliko 32 pokaže, ali sta/nista hitrosti svetlobe na izhodu iz interferometra med seboj enaki.*

Ponesrečeni poskusi meritev hitrosti svetlobe

Svetloba omogoča opazovanje okolice, prikriva pa nam svoje lastnosti. Poznamo nekaj neuspešnih poskusov merjenja hitrosti svetlobe v okoliščinah, ko svetloba prihaja z gibajočega vira svetlobe, gravitacije ali magnetnega polja.

Michelsonov interferometer

Ali eter vpliva na hitrost svetlobe, lahko merimo z Michelsonovim interferometrom. Meritev sta leta 1877 opravila Michelson in Morley [18] in pokazala, da eter ne obstaja in posledično eter ne more vplivati na hitrost svetlobe.

V začetnem navdušenju so avtorji v strokovnih člankih neprevidno in evforično pisali, da so na osnovi Michelsonovega interferometra izmerili v vseh razmerah enako hitrost svetlobe.

Na osnovi Michelsonovega interferometra ni bila nikoli merjena hitrost svetlobe, ki prihaja iz gibajočega vira svetlobe. Fiziki celo dvomijo, da bi ta interferometer zaznal spremembo vpadne hitrosti svetlobe. Sodobni članki (v Wikipediji [19] in drugod) zato ne navajajo, da bi Michelson-Morleyev

[18] Jose A. Fretre: 'Experiment Of Michelson-Morley And The Original Formula';.

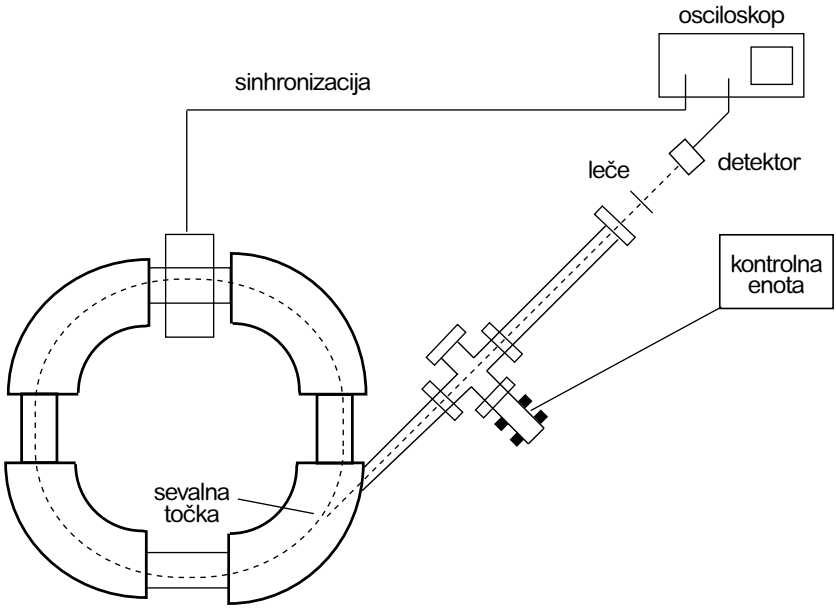
[19] 'Michelson–Morley Experiment' http://en.wikipedia.org/wiki/Michelson-Morley_experiment.

interferometer lahko zaznal hipotetično različne hitrosti svetlobe iz gibajočega vira.

Neutemeljene trditve izpred sto let pa so fizike celo odvrnile od prizadevanj, da bi poskušali objektivno izmeriti hitrost svetlobe iz gibajočega vira svetlobe.

Meritev svetlobe iz pospeševalnika

Novembra 2011 so v Moskvi[20] skušali meriti hitrosti svetlobe, ki jo seva ciklotron, prikazan na Sliki 33. Literatura jo omenja kot meritev hitrosti svetlobe iz gibajočega vira svetlobe.



Slika 33 – Ponesrečena meritev hitrosti svetlobe iz ciklotrona

[20] Measuring speed of the light emitted by an ultrarelativistic source – E. B. Aleksandrov, P. A. Aleksandrov, V. S. Zapasskii, V. N. Korchuganov, A. I. Stirin

Rezultat meritve je pokazal, da svetloba iz pospeševalnika izhaja s svetlobno hitrostjo. V ciklotronu imamo hitro gibajoče elektrone, ki sami ne ustvarjajo svetlobe. Imamo pa tudi glede na ponor svetlobe mirujoče magnete in njihovo mirujoče statično magnetno polje.

Ko elektron zaide v magnetno polje, v magnetnem polju ustvari turbulence. Razburkano magnetno polje se po prehodu elektrona umiri. V nekaterih primerih pa te magnetne turbulence ustvarijo EM val, odvisno od načina vzburjenja magnetnega polja.

Gibajoči elektron ustvarja turbulence v magnetnem polju, nima pa hitrost elektrona vpliva na hitrost nastalega svetlobnega EM vala. Hitrost EM vala določa magnetno polje. Hitrost svetlobe iz mirujočega magnetnega polja ciklotrona ni odvisna od hitrosti elektronov. Opisana meritev torej ne meri hitrosti svetlobe iz gibajočega vira.

Meritev hitrosti svetlobe v pospeševalniku

Gornja metodološka zmota je odpravljena v meritvi hitrosti svetlobe, ki je bila opravljena leta 2007 in je opisana v članku »S. REINHARDT; *Test of relativistic time dilation with fast optical atomic clocks at different velocities*«.

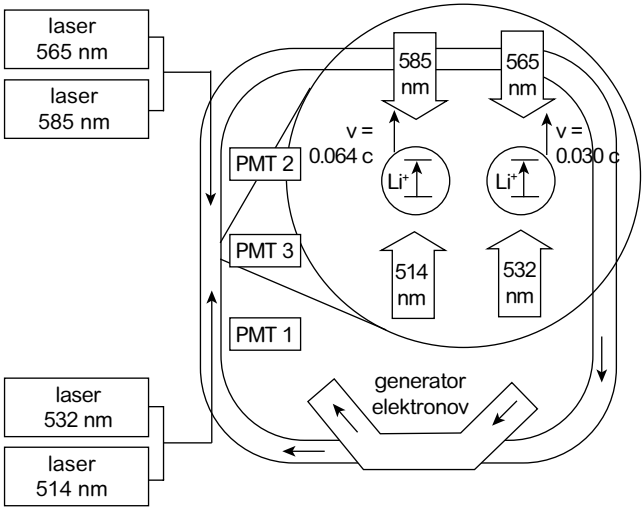
V cevi pospeševalnika na Sliki 34 potuje litijev ion v enem primeru s hitrostjo 0,03 c, v drugem primeru pa s hitrostjo 0,064 c. Ion na osnovi fluorescence izsevana svetlobo enkrat v smeri gibanja iona, drugič v nasprotni smeri gibanja Li iona.

V smeri gibanja iona v cevi pospeševalnika izsevajo laserske žarke. Merili so interferenco laserskega žarka s svetlobo, ki jo izseva Li ion. S tem so merili razliko frekvenc laserskega žarka in iz Li iona izsevane svetlobe.

Kateri žarek, laserski žarek ali žarek iz Li iona, ima višjo, kateri nižjo frekvenco, so določili na subjektivni osnovi pričakovanega rezultata.

Meritev ne vključuje objektivne metode za merjenja frekvence. Po drugi strani članek izmerjenih frekvenc posamično niti ne navaja. Nedosledna

metoda merjenja in izostanek navedbe ključnim rezultatov meritve pa ne dopušča, da bi to meritev razumeli kot znanstveno in utemeljeno.



Slika 34 – Še ena ponesrečena meritev hitrosti svetlobe iz ciklotrona

Meritev valovne dolžine

Merilnik na Sliki 34 omogoča merjenje valovne dolžine svetlobe iz Li iona s pomočjo spektralnega analizatorja. V objavljenem članku ni sledi, da bi avtorji meritve merili valovno dolžino svetlobe iz Li iona, čeprav jo je tehnološko preprosto izmeriti, preprosteje od merjenja frekvence.

Svetloba, ki jo izseva gibljivi vir svetlobe, spremeni le frekvenco, ne pa valovne dolžine, kot je to pojasnjeno na Sliki 21. Spektralni analizator po pričakovanjih ne zazna sprememb valovne dolžine v svetlobi z Li iona, ne glede na hitrost iona. Avtorji meritev so meritev valovne dolžine mogoče opustili ravno zaradi pričakovanja drugačnih rezultatov.

Meritev 3: Meritev valovne dolžine svetlobe iz Li iona na osnovi spektralnega analizatorja na osnovi merilnika, ki ga prikazuje Slika 34. Merimo in med seboj primerjamo valovno dolžino svetlobe, ki jo izseva Li ion enkrat v smeri gibanja iona, drugič v nasprotni smeri gibanja Li iona.

GPS in Razpadni čas mionov, ...

Objektivnih meritev hitrosti svetlobe v raznih okoliščinah torej ni. Zagovorniki PTR se zato oklepajo tudi ne metodološko dvomljivih načinov dokazovanja v vseh razmerah enake hitrosti svetlobe.

Razširjen primer pavšalnega in zmotnega ‚dokazovanja' v vseh razmerah enake hitrosti svetlobe je pogojevanje delovanja GPS sistema s PTR teorijo, kot je zavrnjeno v uvodu.

Kot pavšalni dokaz za veljavnost PTR se omenja tudi razpolovna doba mionov. Na Zemlji mioni nastajajo ob razpadu nabitih pionov v ozračju pod vplivom kozmičnih žarkov. Življenjska doba mirujočih mionov je 2,2 ms.

Frisch in Smith sta merila število mionov na dveh višinah (na vrhu gore in ob morju), med katerima je bilo 1900 m višinske razlike. Pokazalo se je, da sta ob morju izmerila več mionov, kot sta pričakovala na osnovi njihove življenjske dobe. Kadar se mioni na primer gibljejo s hitrostjo, ki je blizu svetlobne, v času razpadne dobe prepotujejo le 660 m. Domnevala sta, da ob morju zaznata več mionov zaradi daljše življenjske dobe, ki je posledica PTR in velikih hitrosti mionov.

Mioni lahko nastajajo na različnih višinah in izmerjen rezultat je prej posledica nepoznavanja razporeditve nastajanja mionov v različnih plasteh ozračja kot posledica zakonitosti PTR.

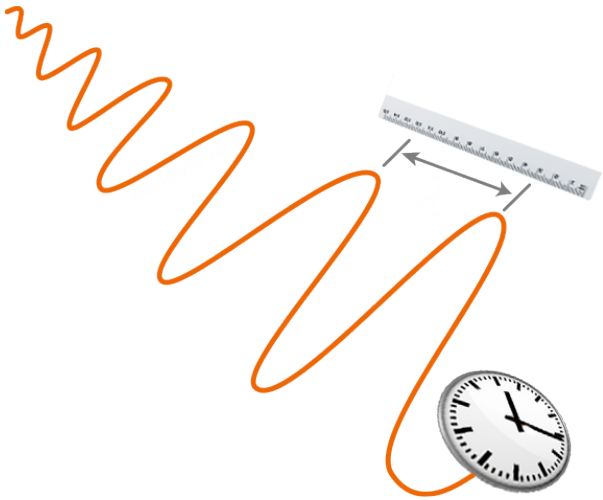
Ob nejasnih izhodiščnih je možno izoblikovati mnoge špekulativne zgodbe o nastajanju in umiranju mionov. Taka izhodišča, ki ponujajo množico mo-

žnih razlag, pa niso primerna za dokazovanje PTR in s tem v vseh razmerah enake hitrosti svetlobe.

Metode merjenja hitrosti svetlobe

Po svetu stotine forumov zagovarja v vseh razmerah enako hitrost svetlobe. Nobena druga znanstvena disciplina ni tako pod udarom in tolikokrat postavljena pod vprašaj. Za tako stanje je kriva stroka, saj hitrost svetlobe, ki prihaja iz vesolja ni verodostojno izmerjena, čeprav za take meritve obstajajo tehnološke možnosti.

Hitrost svetlobe lahko merimo na primer na osnovi ločenega in neodvisnega merjenja frekvence in valovne dolžine svetlobe.



Slika 35 – Hitrost svetlobe lahko izmerimo tako, da ji ločeno izmerimo frekvenco in valovno dolžino.

Frekvenco in valovno dolžino svetlobe iz istega vira lahko merimo ločeno z merilnima instrumentoma, od katerih je eden občutljiv na frekvenco svetlobe, drugi pa na valovno dolžino svetlobe.

Fabry-Pérotov interferometer

Fabry-Pérotov interferometer deluje po principu večkratnega odboja svetlobe med dvema polprepustnima ogledaloma. Na izhodu izide več vzporednih žarkov. Kadar so ti žarki v fazi, se interferenčno ojačijo. Interferenca je odvisna od razmika med ploščama in od valovne dolžine svetlobe, ni pa odvisna od frekvence svetlobe. Izmerjen odklon na FPI interferometru je funkcija valovne dolžine svetlobe f(λ). S FPI interferometrom torej avtonomno merimo valovno dolžino svetlobe.

Uklonska mrežica

Uklonska mrežica je občutljiva tako na frekvenco svetlobe kot na valovno dolžino svetlobe, kot je pojasnjeno na Sliki 26. Vzporedno in hkratno merjenje opazovane svetlobe s FPI interferometrom in uklonsko mrežico omogoča ločeno merjenje frekvence in valovne dolžine svetlobe.

Meritev hitrosti svetlobe iz kometa Hale-Bopp

Avtorji meritev svetlobe, ki jih najdemo v strokovni literaturi, so bili mnogokrat blizu odkritju hitrosti svetlobe iz gibajočega vira svetlobe. Morali bi le še opisati in objaviti rezultate meritev, pa so vsakič od tega odstopili. Tako vse do danes nimamo verodostojnega članka o meritvi hitrosti svetlobe iz gibajočega vira svetlobe.

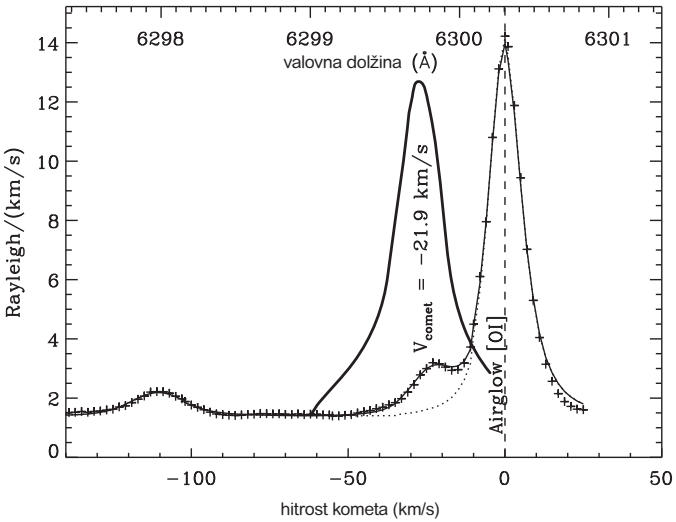
Na Univerzi Wisconsin [21] so marca 1997 opravili meritev hitrosti kometa Hale-Bopp s pomočjo FPI interferometra. Merili so spektralno črto valovne dolžine 6300,304A glave kometa. Rezultati meritev so prikazani na Sliki 36.

Vodoravna os nad diagramom kaže valovno dolžino. Navpična os predstavlja izmerjeno svetlost svetlobe pri izbrani valovni dolžini.

[21] Oddelek za astronomijo (Department of astronomy – WHAM); http://www.wisc.edu.

Rezultat meritve (desni vrh krivulje) kaže, da le neznaten del svetlobe zaradi hitrosti kometa spremeni valovno dolžino. Na Univerzi so kot vzrok za to navedli Rayleighov raztros. Svetloba iz kometa naj bi na poti skozi ozračje zadevala v snovne delce, ki jo absorbirajo in takoj nato oddajo z drugo valovno dolžino[22]. To absorbiranje in ponovna oddaja svetlobe v ozračju naj bi svetlobi vrnilo zamik spektralne črte iz po Dopplerju pričakovane, na raven, kot jo seva mirujoč vir svetlobe.

Če isto spektralno črto s kometa merimo s pomočjo merilnika na osnovi uklonske mrežice, merilnik pokaže pričakovan zamik spektralne črte brez Rayleighovega raztrosa. Rezultat meritve je na Sliki 36 dodan in prikazan v levi krivulji.



Slika 36 – Hitrost vira svetlobe ne vpliva na valovno dolžino svetlobe na ponoru. Vpliva pa na frekvenco svetlobe.

Spektrometer na osnovi uklonske mrežice pokaže hitrost kometa v razredu nekaj deset km/s[23] brez Rayleighovega raztrosa. Pokaže hitrost, kot jo lahko ocenimo tudi na osnovi optičnega opazovanja poti kometa.

[22] Rayleigh scattering, Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh_scattering.

[23] Anita L. Cochran, Teksaška univerza: 'Atomic Oxygen in the Comae of Comets' http://barolo.as.utexas.edu/anita/oxygen2.pdf.

Kadar isto svetlobo meri v komet usmerjen FPI interferometer, ne pokaže pričakovanega zamika spektralne črte[24], pokaže ga pa uklonska mrežica.

Merjenje spektralne črte s FPI interferometrom pokaže valovno dolžino svetlobe. Ne zaznavanje zamika spektralne črte pa kaže, da hitrost vira svetlobe ne vpliva na valovno dolžino svetlobe.

Spektrometer na osnovi uklonske mrežice zazna zamik spektralne črte po Dopplerjevem zakonu. Posledično rezultat meritve na osnovi uklonske mrežice lahko pripišemo spremembi frekvence svetlobe iz kometa.

Lastnosti svetlobe iz glave kometa Hale-Bopp so bile izmerjene v zadostni meri, da bi avtorji meritev rezultate meritev lahko sklenili v zapis: Meritev svetlobe s kometa s FPI interferometrom kaže, da hitrost svetila ne vpliva na valovno dolžino izmerjene svetlobe. Meritve iste svetlobe s pomočjo uklonske mrežice pa kaže, da hitrost svetila vpliva na frekvenco svetlobe po Dopplerjevem zakonu.

Sprememba frekvence svetlobe ob nespremenjeni valovni dolžini skladno z enačbo $\mathbf{c = f \cdot \lambda}$ pomeni, da hitrost vira svetlobe vpliva na hitrost svetlobe na ponoru.

> *Meritev 4: Komet je primeren za merjenje hitrosti svetlobe. Poznamo hitrost vira svetlobe, po drugi strani pa na njem ni turbulenc. S FPI interferometrom merimo valovno dolžino. Frekvenco iste svetlobe merimo na osnovi uklonske mrežice.*

[24] 'Large Aperture 6300A Photometry of Comet Hale-Bopp' http://wisp.physics.wisc.edu/~jpmorgen/hale-bopp/index_old.html oziroma http://www.psi.edu/~jpmorgen/pdf/jpmorgen02_hale-boppOI_poster.pdf.

Pomen razumevanja hitrosti svetlobe

Razumevanje hitrosti svetlobe lahko industriji olajša razvoj na področju merilnih naprav. Še večji pomen pa ima pravilno razumevanje hitrosti svetlobe na razumevanje vesolja.

Hitrost Sončeve korone

Meritve hitrosti nebesnih teles so v zgodovini postregle s kar nekaj presenečenji, ki so izhajale iz napačnih predstav o hitrosti svetlobe. Omenim lahko meritve hitrosti sončeve korone[25] opravljene v prejšnjem stoletju v Indiji, Rusiji, ZDA, na Japonskem, … Mnogi članki razlagajo, da je Sončeva korona zelo mirna, brez turbulenc, kar ne drži. V Sončevi koroni so stalne turbulence plazme s hitrostjo nekaj deset km/s, v primeru Sončevih izbruhov pa tudi do 1000 km/s.

Hitrosti sončeve korone so merili na osnovi merjenja spektralnih črt z FPI interferometri, ta pa meri valovno dolžino spektralne črte, ki pa se s hitrostjo korone ne spreminja. V meritvah niso zaznali pričakovanih sprememb valovne dolžine spektralne črte. To pa so zmotno razlagali kot mirujočo sončevo korono.

Temna energija

Ob eksploziji supernove nastane svetloba, ki izgine v nekaj tednih ali mesecih. Pri svetlobi iz supernove se povečuje rdeči premik spektralne črte.

---

[25] Delone, Makarova, Yakunina: 'Evidence for Moving Features in the Corona from Emission Line Profiles Observed During Eclipses', Moskva, 1987.

Raju, Singh, Muralishanker: 'Fabry-Parot Interfereometric Observation of the Solar Corona in the Green line', Indijski inštitut za astrofiziko, Indija, 1997.

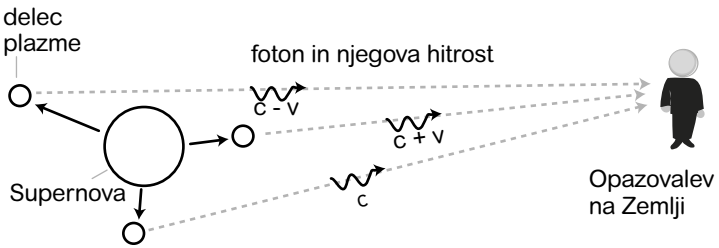
Delone, Divlekeev, Smirova, Yakunina: 'Interferometric Investigations of the Solar Corona During Solar Eclipses and Problems for Future', Inštitut za astronomijo Sternberg, Moskva, 1998.

Nenehno povečevanje rdečega premika spektralnih črt svetlobe iz supernove literatura pojasnjuje kot nenehno pospeševanje supernove. Obstajal naj bi nek neznani vir, ki naj bi supernovo nenehno pospeševal. Fiziki ga imenujejo temna energija, čeprav ne vedo, kaj naj bi to bilo.

Literatura navaja, da vse supernove pospešujejo stran od Zemlje. Ker Zemlja ni privilegirana v vesolju, lahko sklepam, da tako sliko pospešenosti supernove vidijo tudi vsi drugi opazovalci, vsak seveda v smeri stran od sebe, glede na naključno lokacijo opazovalca v vesolju.

Ali supernova sploh pospešuje, če jo vsak opazovalec vidi pospeševati stran od sebe? V razmišljanjih moramo dopustiti možnost, da je pospeševanje supernove lahko le navidezno.

Svetloba se zaradi hitrosti plazme, ki jo ustvari supernova ob eksploziji, giblje s svetlobno hitrostjo glede na delce v plazmi, iz katerih je izsevana. Glede na opazovalca na Zemlji se giblje hitreje ali počasneje od le-te, odvisno kam in s kakšno hitrostjo se je gibal delec plazme, ki je oddal opazovano svetlobo. Svetloba se, gledano s ponora, giblje s svetlobno hitrostjo, spremenjeno za hitrost vira svetlobe.



Slika 37 – Temna energija bo v celoti pojasnjena, ko bo izmerjena hitrost svetlobe iz gibajočega vira.

Svetloba, ki prihaja iz supernove, ima lahko hitrost 1,01 c, kadar delček plazme, ki odda svetlobo, odleti ob eksploziji proti opazovalcu na Zemlji s hitrostjo 0,01 c. Kadar delec plazme ob eksploziji odleti stran od Zemlje s

hitrostjo 0,01 c, bo svetloba proti opazovalcu na Zemlji potovala s hitrostjo 0,99 c.

Sliko supernove dobivamo postopoma. Na supernovi, ki je od Zemlje oddaljena milijone svetlobnih let, se lahko dogodi hipna eksplozija, ki pa jo na Zemlji zaradi različnih hitrosti svetlobe ne opazimo kot hipni pojav. Čim bolj je supernova oddaljena, toliko bolj različne hitrosti svetlobe na poti do opazovalca časovno razvlečejo svetlobni pojav.

Daljše trajanje eksplozije supernove opažamo zaradi različnih hitrosti svetlobnih žarkov iz supernove na poti do Zemlje in ne zaradi trajanja same eksplozije. Četudi se eksplozija supernove dogodi hipno, jo zaradi različnih hitrosti svetlobe na Zemlji lahko opazujemo tedne, mesece ali celo leta.

Na Zemljo najprej prispe svetloba z rdečim frekvenčnim zamikom, kasneje z vijoličnim frekvenčnim zamikom spektralnih črt. Spreminjanje frekvenčnega zamika torej ni posledica pospeševanja supernove, ampak posledica postopnega prihajanja svetlobe na Zemljo iz različno hitrih delcev plazme.

Tako razumevanje supernove pa ne potrebuje pojma temna energija. Pojem temne energije je nastal kot posledica zmotnega razumevanja hitrosti svetlobe.

Komentarji in mnenja

Esej je vreden temeljitega razmisleka. Ne le, da na enostaven in razumljiv način opozarja na protislovja, ki so vgrajena v same temelje sodobne znanosti, podaja tudi razlago in zamisli, ki presegajo ta protislovja. Do pomembnih spoznanj se torej še vedno da priti s svinčnikom, papirjem in zdravo pametjo, brez dragih raziskovalnih projektov! S tekstom se ni mogoče ne strinjati. Resnično vznemirljivo! Kljub temu da v podrobnostih sodobne fizike ne poznam, vse bolj dojemam, da fizika ne potrebuje le lepotne, temveč celovito prenovo. Prepričan sem, da se bo fizika razvijala, v tej knjižici pokazani smeri, da bo takšna fizika enostavnejša, globlja in bolj vseobsegajoča. S spoštovanjem in zavistjo,

Mag. Janez Berce

Res se daješ, celemu svetu. Esej sem prebral in ostal skoraj brez sape. Izjemno. Notri je nekaj nejasnosti, a v celoti gledano je to eden od najbolj svežih vetrov v sto letih. V kolikor se bo začel prožiti plaz, ki mu daješ eno prvih pomembnih kep, bo veliko sproščenih napetosti. Naj bo usoda mila s teboj.

Mag. Gregor Cuzak

Z marsičem v tekstu se ne morem strinjati. Valovna dolžina in frekvenca ne moreta biti neodvisni, sicer bi bil svet čisto drugačen. Kot pedagog pa se zavedam, da mnoga vprašanja v tekstu potrebujejo bolj prepričljiv odgovor, kot ga ponujajo običajne razlage v učbenikih in člankih. Pričujoča knjižica me je opozorila na marsikatere probleme, ki se zdijo strokovnjaku samoumevni, laiku pa ne. Tudi opravičila za neujemanje med nekaterimi astronomskimi meritvami ne znam stresti iz rokava!

Prof. dr. Mitja Rosina

Pri branju Eseja so me pritegnili nekateri originalni pogledi na naravne pojave v vesolju, ki jih odlikujejo preprostost in razumljivost. Ti pogledi praviloma izhajajo iz veljavnih meritev. Knjižica je zanimiva, kjer ponuja enostavno razlago za različne rezultate meritev istega pojava na primer meritev Dopplerjevega premika spektralnih črt svetlobe s Sonca. Različni rezultati meritve so posledica merilne metode. Avtor na osnovi rezultatov meritev ugotavlja, da je hitrost svetlobe odvisna od hitrosti vira svetlobe. To pa bi pomenilo, da ne velja Einsteinova teorija relativnosti v obliki, kot je sedaj zapisana.

Prof. dr. Gorazd Kandus

Zahvala

Esej o svetlobi je nastal ob burnih razpravah o razumevanju svetlobnih pojavov ter v razlikah med razpravljavci v razumevanju rezultatov že opravljenih meritev svetlobe na različnih znanstvenih institucijah po svetu. S sogovorniki smo imeli in imamo v marsičem različne poglede. Zahvala sogovornikom gre predvsem za konstruktiven, pester in strpen dialog kljub različnim pogledom, ki je ravno zaradi razlik v pogledih še posebej zanimiv.

Prve pogovore o teoriji relativnosti sva pred deset in več leti imela s fizikom mag. Gregorjem Cuzakom, ki se mu za to prisrčno zahvaljujem.

Prisrčna hvala prof. dr. Mitji Rosina in prof. dr. Gorazdu Kandusu za mnoge dneve, ki smo jih namenili pogovorom o konceptualnih in pedagoških aspektih različnih meritev lastnosti svetlobe.

Zahvaljujem se doc. dr. Boštjanu Batagelju za gostoljubje v Laboratoriju za sevanje in optiko na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani, za strokovno pomoč pri merjenju ter spremljanju in vrednotenju merilnih rezultatov.

Zahvaljujem se prof. dr. Marku Uršiču, prof. dr. Janezu Beštru in prof. dr. Tomažu Zwittru, dr. Marku Bavdažu za usmerjanje v strokovno literaturo ter občasne pomoči pri poglabljanju v skrivnosti svetlobe.

Zahvaljujem pa se tudi kolegom, med katerimi naj omenim mag. Janeza in Tonija Berceta ter mnogim drugim sogovornikom.