

Franc Rozman

Svetloba v magnetnem polju

Povzetek

Kadar EM polje (svetlobe) zaide v zunanje magnetno polje, sta električno in magnetno polje svetlobe izpostavljeni zunanjemu magnetnemu polju. Cilj meritve je izmeriti vpliv zunanjega magnetnega polja, ki deluje na svetlobo v optičnem vlaknu, kako le-to vpliva na hitrost svetlobe v vlaknu. Članek opisuje način merjenja, rezultate meritev in interpretacijo rezultatov.

Uvod

V naravi opažamo pojave, ki kažejo na to, da magnetno polje vpliva na hitrost svetlobe.

Tak pojav je na primer sončeva pega. Sončeve pege so na lokaciji močnih magnetnih polj. Pojasnimo jih lahko na osnovi krivljenja poti svetlobe v magnetnem polju. Krivljenje svetlobe pa je posledica vpliva magnetnega polja na hitrost svetlobe.

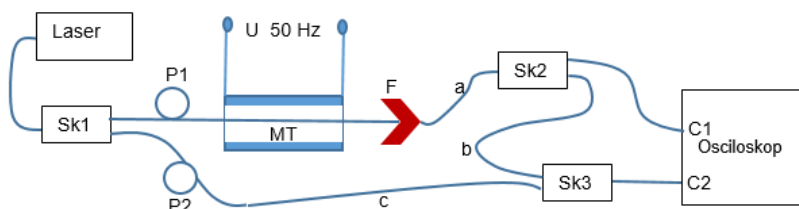
Drug pojav bi lahko bile radijske motnje v avtoradiu, kadar se peljemo pod električni daljnovodom. Daljnovod ukrivlja poti radijskih valov v ritmu frekvence električnega toka v daljnovodu.

S to meritvijo odgovorimo na vprašanje, v kakšni meri magnetno polje vpliva na hitrost svetlobe v optičnem vlaknu.

Meritev ne daje dokončnega odgovora o vplivu magnetnega polja na svetlobo v vakuumu. Za tako meritev bi morali izvesti snov (optično vlakno), ki jo uporabljamo pri meritvi.

Shema meritve

Meritev zasnujemo tako, da ločeno merimo vpliv magnetnega polja na polarizacijo svetlobe in ločeno na fazni zamik oziroma hitrost svetlobe.



Slika 1

Laser odda svetlobo proti optičnemu sklopniku Sk1, kjer se svetloba razdeli v dva kraka. Po gornjem kraku svetloba potuje preko polarizatorja P1, skozi magnetno tuljavo, skozi polarizacijski filter F in preko sklopnika Sk2 na prvi vhod osciloscopa C1.

Na polarizatorju P1 polarizacijo svetlobe usmerimo tako, da filter F prepusti vso svetlobo, kadar v tuljavi ni magnetnega polja. Kadar pa je svetlobno vlakno izpostavljeno magnetnemu polju, se glede na

Faradayev pojav¹ spreminja polarizacija svetlobe skladno s spreminjanjem magnetnega polja. Filter odstrani (poreže) polarizacijo, ki jo ustvarja Faradayev pojav.

Tuljavo priključimo na električno napetost frekvence 50 Hz in s tako frekvenco niha tudi magnetno polje.

V ritmu 50 Hz se spreminja polarizacija svetlobe pred filtrom F. Ko filter odstrani (poreže) vse odmike polarizacije, v točki a na Sliki 1 dobimo po amplitudi nihajoč svetlobni signal, ki ga opazujemo na prvem vhodu C1 osciloscopa. Amplituda svetlobnega signala pred filtrom je ves čas enaka, za filtrom pa zmanjšana za del svetlobe, ki jo filter odstrani. Kanal C1 na Sliki 2 prikazuje, v kakšni meri magnetno polje vpliva na polarizacijo svetlobe, kadar magnetno tuljavo priključimo na izmenični električni tok.

Spodnji krak optičnega vodnika vodimo preko polarizatorja P2 na optični sklopni Sk3, kamor dovedeno tudi signal iz optičnega sklopnika Sk2. Polarizator P2 nastavimo tako, da signala b in c na optični sklopnik Sk3 prispeta z enako polarizacijo. Svetloba v optičnih vlaknih b in c imata enako polarizacijo, ne glede na spreminjanje magnetnega polja v tuljavi. S tem zagotovimo, da svetlobni signal na vhodu c2 v osciloskop ni odvisen od sprememb polarizacije svetlobe v magnetni tuljavi.

Hipotetična primera vpliva magnetnega polja na hitrost svetlobe:

Magnetno polje ne vpliva na hitrost svetlobe

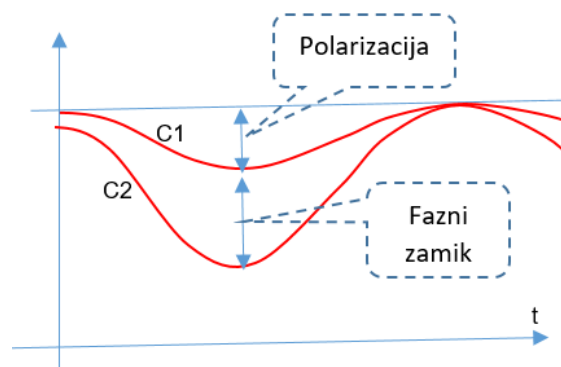
V tem primeru so razmere na Sk3 neodvisne od magnetnega polja v tuljavi. Signal, ki ga opazujemo na vhodu C1 se preslika na vhod C2 osciloscopa brez sprememb. Oba kanala C1 in C2 kažeta enaki vrednosti sprememb signalov. Oba kanala bosta kazala enaki spremembi polarizacije svetlobe glede na Faradayev pojav.

Magnetno polje vpliva na hitrost svetlobe

Ča v optičnem vlaknu v magnetnem polju prihaja tako do sprememb polarizacije, kot tudi sprememb hitrosti svetlobe, bo optični sklopnik Sk3 zaznal fazni zamik, odvisen od jakosti magnetnega polja. Vsota vplivov polarizacije in faznega zamika se bo kazala na vhodu C2 osciloscopa, kot to kaže Slika 2.

Pričakovani rezultati meritev

Na kanalih C1 in C2 osciloscopa lahko pričakujemo signala, kot jih prikazuje diagram na Sliki 2.



Slika 2

C1 prikazuje nihanje signala v ritmu spreminjanja magnetnega polja, kot posledica Faradayevega pojava. Interferenca kot posledica faznega zamika svetlobe v magnetnem polju se prišteje interferenci, ki nastane kot posledica spremembe polarizacije.

Iz obeh krivulj na osciloskopu razberemo, v kakšni meri k interferenci prispeva polarizacija svetlobe, v kakšni meri pa fazni zamik svetlobe, ki nastane kot posledica vpliva hitrosti svetlobe na fazni zamik svetlobe.

Ocena zaupanja v meritev

Na merilne rezultate vplivajo dejavniki:

Sprememba temperature okolice lahko vpliva na dolžino optičnega vlakna. Meritev opravljamo s kratkimi optičnimi vlakni, posamezen cikel merjenja

¹ Faradayev pojav

https://sl.wikipedia.org/wiki/Faradayev_pojav

pa traja le neka deset ms. Okoliščine omogočajo zagotavljanje temperaturno stabilnih pogojev merjenja.

Naključne spremembe dolžine vlakna zaradi mehanskih premikov niso verjetne. V meritvi ni gibljivih ali premikajočih delov.

Naključne polarizacije svetlobe v optičnem vlaknu je lahko drug hipotetičen moteč dejavnik. Ker v meritvi ni gibljivih ali premikajočih delov, se med meritvijo polarizacija nekontrolirano ne spreminja. Če pa bi se spreminjala v gornjem kraku, pa jo filter F poreže.

Meritev ni rizična glede zaupanja v izmerjene rezultate.

Merilni rezultati:

Še ni izmerjeno. Pričakuje se vpliv magnetnega polja na hitrost svetlobe.

Interpretacija izmerjenih rezultatov

Merilni rezultati kažejo, da z jakostjo magnetnega polja vplivamo na hitrost svetlobe v optičnem vlaknu.

Vpliv magnetnega polja na hitrost svetlobe ima dve možni razlagi.

Razlaga A: Leta 2005 je o vplivu magnetnega polja na hitrost svetlobe v svojem članku² 'Theory for the Faraday effect in optical fiber' opisal Japonski fizik Toshihiko Yoshino. Domneva, da magnetno polje vpliva na lomni količnik svetlobe, le ta pa posredno na hitrost svetlobe. Svoje domneve ne utemeljuje.

Razlaga B pravi, da magnetno polje vpliva neposredno na EM polje svetlobe, brez vmesnega vpliva preko lomnega količnika stekla.

Obe domnevi ocenim preko enačbe lomnega količnika.

$$\vec{n} = \vec{f}(\vec{H})$$

Če velja razlaga A, ima to za posledico, da moramo lomni količnik opredeliti kot vektor, ki je vektorska funkcija magnetnega polja.

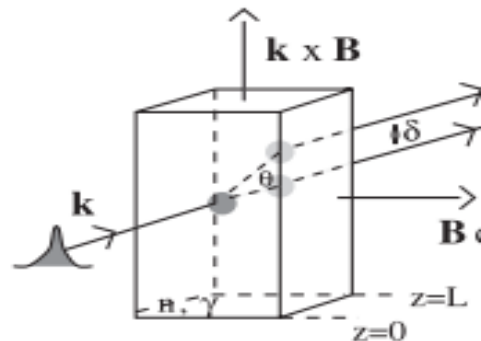
² Toshihiko Yoshino - Theory for the Faraday effect in optical fiber, J. Opt. Soc. Am. B/ Vol. 22, No. 9/September 2005

Zgradbi molekule stekla ne moremo pripisati vektorskih lastnosti lomnega količnika. Magnetno polje v ničemer ne vpliva na tiste lastnosti molekul stekla, ki mu določajo lomni količnik. Lomni količnik je snovna lastnost in jo določa enačba $n=(\mu_r \epsilon_r)^{-1/2}$. Magnetno polje v steklu ne vpliva na μ_r , ne vpliva na ϵ_r , niti ne spreminja strukture stekla v smislu polariziranja molekul.

Opažen vpliv magnetnega polja na hitrost svetlobe je torej lahko le posledica neposredne interakcije med magnetnim poljem EM vala in zunanjim magnetnim poljem.

Izvor vpliva magnetnega polja na hitrost svetlobe

Magnetno polje vpliva na hitrost svetlobe. To kaže tako že omenjen članek Toshihiko Yoshino, kot tudi članek³ 'Manipulating Light with a Magnetic Field'. Ta drugi članek opisuje, kako magnetno polje spremeni smer žarka, kar prikazuje Slika 3. Spremembo smeri žarka je vedno posledica sprememb hitrosti žarka.



Slika 3

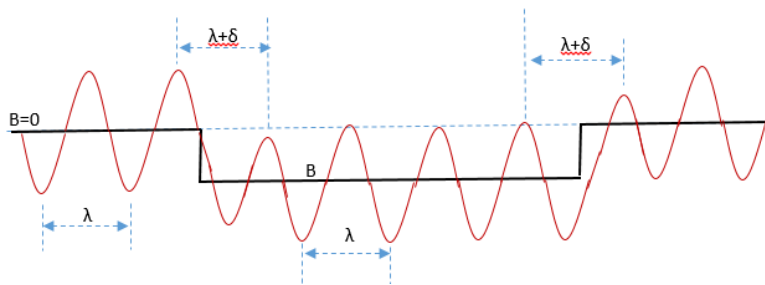
Vpliv magnetnega polja na hitrost svetlobe si lahko predstavljamo na osnovi superpozicije magnetnega polja EM vala in zunanjega magnetnega polja, kar prikazuje Slika 4.

Magnetno polje EM vala po Maxwellovih enačbah nima in ne more imeti enosmerne komponente magnetnega polja. Leva stran Slike 4 kaže, kako

³ Manipulating Light with a Magnetic Field <https://ipmmc.cnrs.fr/UserFiles/File/Tiggelen-Rikken%20.pdf>

magnetno polje EM vala niha okrog nične v rednosti magnetnega polja v razmerah, ko je zunanje magnetno polje enako nič ($B=0$).

V nadaljevanju EM val zaide v zunanje magnetno polje B . Zunanje magnetno polje in magnetno polje EM vala se seštevata. EM val po prehodnem pojavu niha okrog enosmerne komponente magnetnega polja.



Slika 4

V prehodnem pojavu pa se EM valu popači sinusoida magnetnega polja. To popačenje sinusoida pa v času prehodnega pojava vpliva na spremembo valovne dolžine EM vala.

Začasna sprememba valovne dolžine pa pomeni začasno spremembo hitrosti svetlobe in s tem spremembo smeri žarka, kot to kaže Slika 3.

Na Sliki 3 magnetno polje na žarek deluje prečno. Magnetno polje pa lahko deluje tudi v vzdolžni smeri žarka.

Vzdolžna smer zunanjega magnetnega polja vpliva na Rot funkcijo magnetnega polja v Maxwellovih enačbah. Sprememba Rot funkcije preoblikuje EM val, s tem pa vpliva na valovno dolžino svetlobe in posledično na hitrost svetlobe.

Primeri kažeta dve različni neposredni obliki interakcije med zunanjim magnetnim poljem in magnetnim poljem EM vala, ter izmerjenega vpliva teh interakcij na hitrost svetlobe v magnetnem polju.

Zaključek