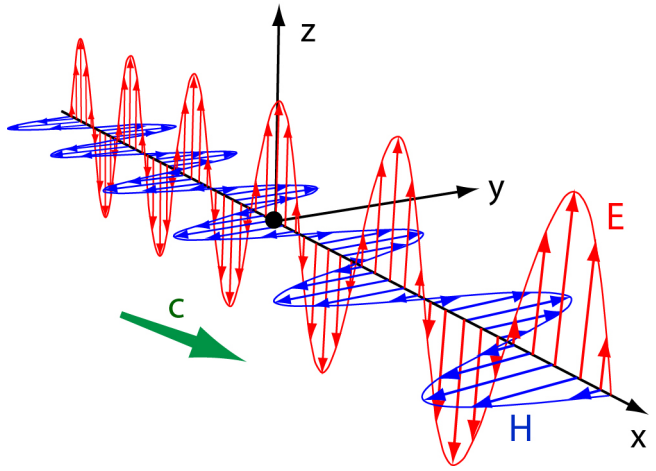
Kvantekrøll

Polarisasjon og deteksjon



En elektromagnetisk bølge er et elektromagnetisk felt der elektrisk og magnetisk felt varierer som en harmonisk funksjon og feltet er omtrent det samme (men forskjøvet i tid) i et tid-rom-intervall på flere bølgelengder.

En vanlig illustrasjon er vist i figuren ovenfor. Mange misforstår en slik figur, derfor vil jeg gå i detalj. Anta at du selv er plassert i punktet markert med en sort flekk, og at den elektromagnetiske bølgen kommer inn fra negativ x-akse og beveger seg videre i positiv x-akse-retning (slik som indikert med grønn pil). Anta at du har et måleinstrument som kan måle (kontinuerlig) retningen og tids-variasjonen i det elektriske feltet til bølgen. Anta videre at maksimal tidsvariasjon av det elektriske feltet alltid er vertikalt. Da vil det elektriske feltet i din posisjon variere harmonisk i tid. Og siden du vet at bølgen beveger seg med konstant hastighet, kan du slutte at bølgen ved ETT tidspunkt vil variere harmonisk dersom vi forflytter oss langs x-aksen. Da har du den røde kurven.

Anta at du også har et måleinstrument der du kan måle kontinuerlig det magnetiske feltet. Du vil da finne at det magnetiske feltet alltid er horisontalt rettet og varierer harmonisk med tiden. Igjen kan du slutte at det magnetiske feltet ved ETT tidspunkt vil variere harmonisk når vi forflytter oss langs x-aksen (blå kurve).

Du vil også finne at det elektriske feltet har maksimum ved samme tid som det magnetiske feltet.

En bølge der det elektriske feltet alltid har sin største verdi i vertikal retning, kalles «lineært vertikalt polarisert». En bølge med størst elektriske feltet alltid i horisontal retning, kalles «lineært horisontalt polarisert». I prinsippet kan vi ha alle mulige retninger for lineært polarisert bølge.

Dersom en venn hadde gjort tilsvarende målinger, men vært plassert et annet sted i yz-planet (men samme x-verdi som oss), ville vennen fått de samme resultatene som oss – forutsatt at han/hun holdt seg innenfor en viss grense. Utenfor denne grensen vil samsvaret avta mer eller mindre raskt. Grensen kaller vi bølgens ***transversale koherens-lengde.***

Ingen fysiske bølger er ensartet i all evighet. Dersom vi sammenligner tidsvariasjonen min med tidsvariasjonen til min venn dersom vennen forflytter seg x antall bølgelengder framover, vil vi igjen finne identiske måleverdier – inntil en ny (ikke skarp) grense. Denne grensen kalles bølgens ***laterale koherens-lengde.***

Tilbake til en fullstendig lineært polarisert bølge, a la det vi har i figuren vår.

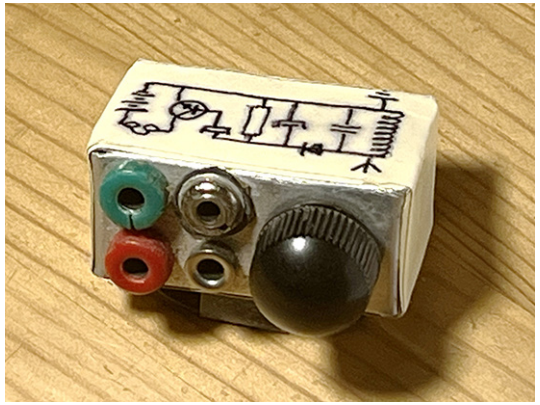
Det er vanligvis vanskelig å dreie polariseringen til lineært polariserte elektromagnetiske bølger, men for synlig lys finnes det materialer der fasehastigheten til bølgene varierer med polarisasjonen. Betrakter vi skrift eller en rette streker gjennom en krystall av kalkspat, ser vi et «dobbeltbilde». Skjærer vi opp slike stoffer med høy presisjon i tykkelsen, kan vi lage «halvbølgeplater». Sender vi lineært polarisert lys gjennom en slik

«halvbølgeplate», kan polariseringen dreies på en kontrollert måte. Resultatet er entydig (deterministisk). Vi brukte halvbølgeplater for riktig bølgelengde i våre eksperimenter med «sammenfiltrede fotoner».

***

Jeg startet med å si «Anta at du har et måleinstrument som kan måle (kontinuerlig) retningen og tids-variasjonen i det elektriske feltet til bølgen.» Er det mulig? Det kommer an på frekvensen til bølgen.

Da jeg gikk på realskole og gymnas, bygget jeg meg en liten radio (se bildet) hvor jeg kunne ligge i senga om kvelden og lytte til radioen. Jeg trengte bare et batteri, en antenneledning fra en utvendig antenne, og («høyohmige») høretelefoner, så funket alt – selv om innmaten til radioen var ytterst enkel (se skjemaet på toppen av radioen). Jeg bodde på Eigerøy utenfor Egersund, og lyttet til Stavanger radio som sendte på 1313 kHz med en sendereffekt på 100 kW.



Med de måleinstrumentene vi har tilgjengelig i dag - ville det overhodet ikke vært vanskelig å måle tidsvariasjonen og retningen for både elektrisk og magnetisk felt, i de elektromagnetiske bølgene fra «mellombølgesenderen» på mitt hjemsted. Da ville vi fullt ut kunne få bekreftet det vi ser i figuren. Ved mye høyere frekvens er det langt vanskeligere å gjøre slike målinger, men *i prinsippet* er det mulig.

Senere, da jeg i min hovedoppgave brukte 9.5 GHz elektromagnetiske bølger (for Elektron Spin Resonans spektroskopi, ESR) var det igjen full fokus på hvordan bølgene vandret i bølgeledere og hvordan vi målte dem. Det var full kontinuitet i feltene mhp rom og tid (i bølgens bevegelsesretning), og polariseringen var essensiell for geometrien til bølgelederne.

Hvorfor nevner jeg dette her? Fordi mange mangler denne bakgrunnen. De får et svært mangelfullt bakteppe når vi snakker om elektromagnetiske bølger. Mange tenker ikke en gang på at det inni hver mobiltelefon finnes en antenne og at den må tilpasses frekvensene som brukes. De tenker heller ikke på hvordan «basestasjonene» er laget, antennene som inngår i dem - og at all den utrolige «tidsmultipleksingen» gjør det mulig at mange samtaler kan bruke en og samme frekvens i overføringene. Det siste er mulig fordi talefrekvensene er SVÆRT mye lavere enn frekvensene som brukes i mobiltelefon-kommunikasjonen. Det er mye gøyal fysikk som inngår!!!

Forholdet mellom frekvensene for mikrobølgene jeg brukte i ESR og frekvensen for mellombølgeradio er i størrelsesorden 10^4. Forholdet mellom frekvensene for synlig lys og frekvensen for mikrobølgene i ESR er også i størrelsesorden 10^4. Det betyr at jeg anser ikke synlig lys som en vesentlig forskjellig elektromagnetisk bølge enn de andre elektromagnetiske bølgene jeg har nevnt.

Det er derfor meningsløst for meg når man innen kvantefysikk opererer for eksempel med «det er 44 % sannsynlighet for at fotonet blir detektert». Det bygger på en oppfatning at fotonene er udelelige og har en teoretisk bestemt energi. For meg kan elektromagnetiske bølger i prinsippet ha nesten en vilkårlig amplitude – men at de er delelige. Det essensielle er hvor kraftige bølgene er i utgangspunktet og hvor mye de intensiveres/reduseres i fysiske prosesser underveis før de når detektoren.

Kvantekrøll

I våre eksperimenter med «sammenfiltrede fotoner» brukte vi lys med 810 nm bølgelengde. Våre svært følsomme detektorer var av typen «avalanche detectors». De gir typisk en temmelig ensartet puls hver gang de responderer, på en lignende måte som et snøskred. Det kan trille noen snøballer nedover en li uten at det blir noe skred av det, men plutselig kommer skredet og gir en voldsom effekt.

Slik er det også med våre avanlache detektorer. Dersom de elektromagnetiske bølgene som når detektoren har liten intensitet, vil de lokale responsene i detektoren ikke føre til noe skred. Vi får ingen kraftig puls. Men kommer vi over en viss grense, er sjansen for skred mye større.
Etter at skred må detektoren nullstille seg før den åpner opp for mulighet for nye skred. Den prosessen er innebygget i detektorene vi får kjøpt.

Når vi gjør våre eksperimenter med «sammenfiltrede fotoner» justerer vi effekten på «pumpelaseren». Da går vi fra svært få deteksjoner per sekund til så mange at detektorene ofte ikke klarer å nullstille seg ordentlig før neste skred. Vi selv velger å justere intensiteten på pumpelaseren slik at vi får høyest mulig deteksjons-frekvens, men ikke så høy at detektorene får nullstilt seg før neste gang de responderer.

De som ikke kjenner alle disse detaljene, kan lett få feilaktige oppfatninger av «måleprosessen».

PS: Polariseringen av elektromagnetiske bølger kan også være ”sirkulær” og ”elliptisk”. Ved en sirkulær polarisering vil retningen til det elektriske (og det magnetiske) feltet endre seg som en skrulinje i bølgens bevegelsesretning. Skrulinjen kan være høyredreid eller venstredreid. Ved en elliptisk polarisering har vi en mellomting mellom lineær og sirkulær polarisering.