

Naturvidenskab

Undersøgelse af mulighederne for kommunikation med superluminal hastigheder ved brug af en FTIR-opstilling

Forskerspirer 2011

Superluminal udbredelse af lys? Lys, der udbreder sig re end lysets hastighed? Lys, hvormed man kan kommunikere superluminalt? Tog Albert Einstein fejl, da han i begyndelsen af 1900-tallet postulerede, at intet kunne væge sig hurtigere end lysets hastighed?

Jakob Hautop

3.G, HTX Hillerød

Email: jakobhautop@gmail.com

10/31/2011

Indholdsfortegnelse

Indledning.....	1
Projektets formål	4
Projektets videnskabelige og teknologiske perspektiver	4
Projektets metode og hypotese	5
Udførelse af projektets eksperiment	6
Projektets relevans og innovative værdi:.....	7
Gennemførelse af projektet og forskningsmiljø:.....	7
Tak til..	8
Referencer	8

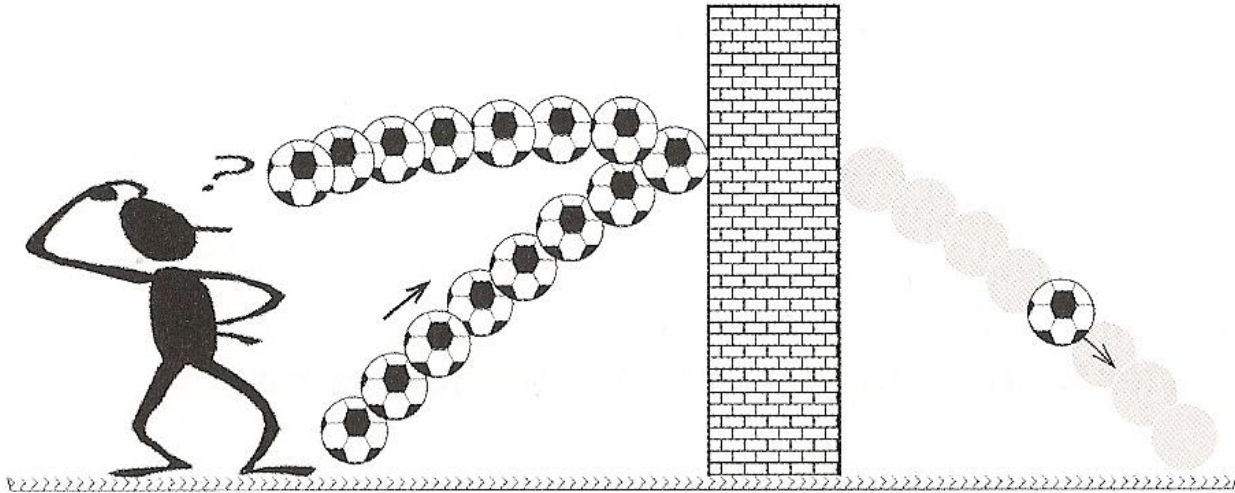
Indledning

Vi lever i et informationssamfund, hvor enorme strømme af data bliver transporteret fra A til B via lysledere under jorden. Overførelsen af digitale data sker ved, at vi sender lysimpulser igennem optiske fiberkabler med lysets hastighed. Her er signalets hastighed tilnærmelsesvis konstant. Metoden, man i dag opnår høj transmissionshastighed med kaldes optisk multipleksing. Her ”pakkes” informationer ved forskellige bølgelængder på den optiske fiber⁽⁵⁾. Dette projekt vil foreslå en metode hvormed man udnytter ultrahurtigt lys til at kommunikere med. For at forstå denne metode, må læseren dog først have kendskab til den superluminale tunnel effekt og evanescente bølger – hvilket kort vil blive beskrevet nedenfor.

Introduktion til den superluminale tunnel effekt og evanescente bølger

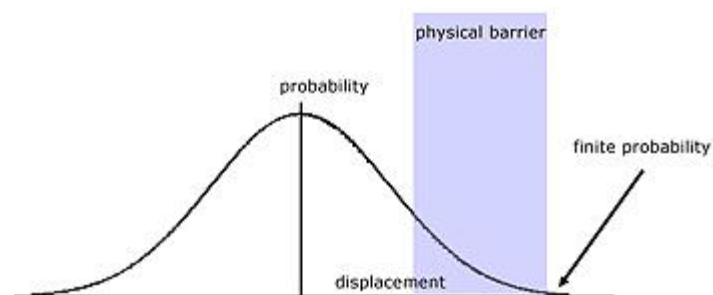
I kvantemekanik forstås det således at alting beskrives med sandsynligheder og naturen derfor nogle gange kan opføre sig ”unaturligt” og lader selv det mest usandsynlige ske⁽⁶⁾. Et eksempel på dette er tunnel effekten. Tunnel effekten bruges til at forklare fænomener hvor partikler ”overkommer” potential barrierer og lige pludselig ikke længere befinder sig, hvor de burde.

En analogi for dette kunne være en mand der spiller bold op af en væg. Hvis manden sparker bolden uendeligt mange gange ind i væggen vil bolden på et tidspunkt befinde sig på den anden side:



Figur 1⁽²⁾: Illustration af bold-analogien

Forklaringen på dette er at der hele tiden vil være en sandsynlighed for at bolden befinder sig på den anden side af væggen⁽³⁾:



Figur 2⁽³⁾: Hvordan sandsynlighed overkommer potential barriere

For at overkomme potentialbarrieren "låner" partiklen energi i uendeligt kort tid – givet ved Heisenbergs usikkerhedsprincip:

$$\Delta E \Delta t \geq h \Leftrightarrow \Delta t > \frac{h}{\Delta E}$$

Sender man lys mod en potentialbarriere vil det med en hvis sandsynlighed opføre sig som bolden og tunnelre gennem potential barrieren. Jo større potential barriere – dvs. jo mere energi der skal til

– desto hurtigere vil tunneleringen finde sted⁽⁶⁾. Evaniscente bølger er navnet for det lys som tunneler gennem en barriere⁽²⁾.

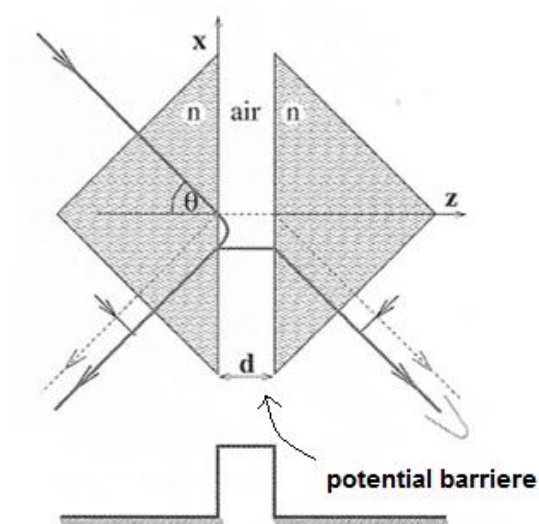
Uoverensstemmelse med andre teorier og behovet for forskning i evaniscente bølger

Kan lys bevæge sig hurtigere end lysets hastighed? Lys hvormed man kan kommunikere superluminalt? Tog Albert Einstein fejl, da han i 1905 postulerede at intet kunne væge sig hurtigere end lysets hastighed?

Denne slags spørgsmål er blevet diskuteret teoretisk siden tyske forskere i 1994 transmitterede Mozarts 40. symfoni gennem en såkaldt tunnel barriere, med en hastighed på 4,7 gange lysets hastighed i vakuum. Dermed præsenterede forskere for første gang deres seneste

forskningsresultater omkring undersøgelser af evaniscente bølger. Evaniscente bølger er lys, der tvinges til at tunnelere, og dermed propagere hurtigere end lysets hastighed⁽²⁾.

Selvom emnet superluminal tunnel effekter er yderst kontroversielt og fascinerende i dets natur, er forskningsaktiviteten på feltet dalet drastisk siden 1990'erne^(4;2). Der mangler grundforskning i disse evaniscente bølger og hvordan de fungerer. Den mængde viden, som vi kunne udvide naturvidenskaben med ved at forske i emnet, kunne både rokke ved nogle af vores aller bedste teorier og samtidigt give os muligheden for at anvende evaniscente bølger til hurtigere kommunikation som aldrig før⁽²⁾.



Figur 3⁽²⁾: Den såkaldte FTIR-opstilling som de tyske fysikere brugte

Projektets formål

Hensigten med dette projekt er at lave grundforskning i mulighederne for reel superluminal kommunikation ved brug af evanescente bølger.

Projektets kortsigtede mål:

- At opsætte en FTIR-dobbelt-prisme opstilling der kan måle evanescente bølgers hastighed
- At undersøge hvordan evanescente bølgers hastighed afhænger af barriere-længde, prismets brydningsindeks, indgangsvinkel i prismet og signalets frekvens
- At undersøge hvordan udgangssignalets intensitet varierer som funktion af barriere-længde og prismets brydningsindeks

Projektets langsigtede mål:

- At beregne optimale værdier for prismets brydningsindeks, indgangsvinklen og signalets frekvens således at der opnås maksimal transmissionsdistance af superluminale evanescente bølger.
- At opsætte og udføre lignende forsøg med en quarter-wavelength-lattice opstilling og en undersized-hollow-waveguide opstilling.

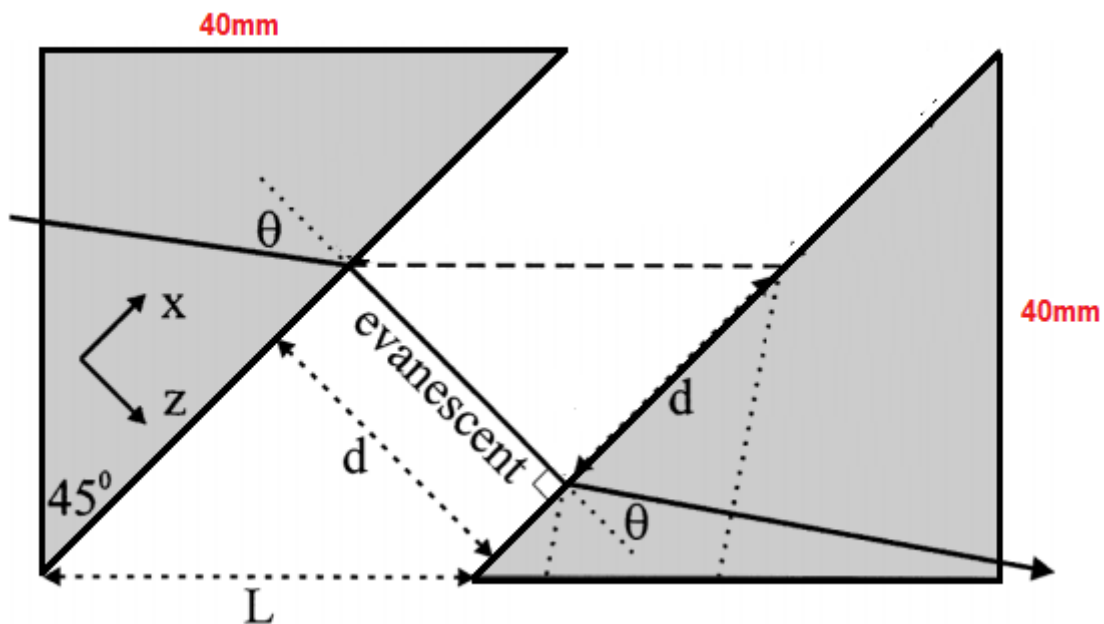
Projektets videnskabelige og teknologiske perspektiver

Inden for videnskaben vil projektet både gavne vores forståelse af kvanteoptiske tunneleffekter, samtidigt med at det vil præsentere, for nogle personer, yderst kontroversielle resultater – netop fordi superluminale hastigheder ikke er tilladte i Einsteins specielle relativitetsteori. Dette projekt vil med sit videnskabelige formål give os ny viden omkring evanescente bølger og deres egenskaber. Ved at undersøge og lære mere omkring de superluminale lysbølgers egenskaber kan man forestille sig, at man finder nye teknologiske anvendelser af disse. Eksempelvis ultrahurtig optiske kommunikation. Projektet skal udføre grundforskning på et hildtil umiddelbart overset felt, hvor der er rig mulighed for både at afkræfte den hypotetiske overbevisning om at evanescente bølgers opførsel er analog til kvantemekanisk tunnelering samtidigt med at vi udvider vores forståelse af gamle teorier, f.eks. Einsteins specielle relativitetsteori.

Projektets metode og hypotese

Lysets hastighed ændres alt efter, hvilket materiale det udbreder sig i – jo højere brydningsindeks, desto lavere hastighed og vice versa. I overgangen mellem materialer vil lys brydes med en brydningsvinkel, der afhænger af materialernes relative brydningsindeks samt indgangsvinklen. Snells lov om lysets udbredelse i forskellige stoffer siger, at alle materialer har en kritisk vinkel, hvorved lys ikke længere kan gå fra stof 1 til stof 2, men i stedet spejle sig langs faseovergangen⁽⁵⁾.

Ved en kritisk vinkel fungerer faseovergangen analogt med en kvantemekanisk potential-bareiere. Derfor vil det meste af lyset propagere almindeligt og spejles, mens en lille del vil tunnelere gennem faseovergangen. Lyset, der tunnelere, vil bevæge sig superluminalt i prismegabet og være evanescent. I projektets eksperimentielle fase vil evanescente bølger blive dannet ved brug af en FTIR-dobbelt-prisme opstilling (Frustrated Total Internal Reflection)⁽²⁾:



Figur 4⁽¹⁾: Forsøgsopstillingen

Det meste af lyset, der bliver sendt igennem prisme 1, vil blive reflekteret i hypotenuse-fladen og propagere tilbage og ud af prisme 1 igen. Den del af lyset som fortsætter og tunnelerer igennem faseovergangen med luften i prismegabet og udbreder sig videre ind i prisme 2, som er materielt og dimensionelt ækvivalent med prisme 1. Ved forskellige længder L måles tidsforskellen mellem femto-laser pulser.

Det antages, at de evanescente bølger bevæger sig efter den korteste vej mellem prisme 1 og 2 og derfor ortogonalt langs længden d . Hastigheden i prismegabet bestemmes som længden d divideret med tiden, det tager for signalet at propagere i prismegabet. Tiden beregnes vha. tidsforskellen mellem femto-laser pulsene.

Udførelse af projektets eksperiment

1. Bestemmelse af brydningsindeks for en 40x40mm ZnTe prisme.

Lys med en vilkårlig bølgelængde sendes igennem prismet hvor ind- og udgangsvinklen notes. Dette gentages 20 gange hvor θ_{ind} varieres med 6 grader i intervallet $[0; \pi]$. Herefter beregnes brydningsindekset med Snells lov:

$$n_{luft} \cdot \sin \theta_{ind} = n_{ZnTe} \cdot \sin \theta_{ud} \Leftrightarrow n_{teflon} = \frac{n_{ZnTe} \cdot \sin \theta_{ind}}{\sin \theta_{ud}}$$

Bemærk at brydningsindekset for luft er 1. Middelværdien af de beregnede brydningsindekser benyttes til at beregne den kritiske vinkel for ZnTe prismet – også ved brug af Snells lov:

$$n_{ZnTe} \sin \theta_{kritisk} = n_{luft} \sin \theta_{luft} \Leftrightarrow \theta_{kritisk} = \sin^{-1} \left(\frac{n_{luft}}{n_{ZnTe}} \right)$$

2. Beregning af udbredelsehastigheden i prismegabet som funktion gabets længde.

Femtosekunds-lys pulser sendes kontinuerligt gennem FTIR-dobbelt-prisme opstillingen med en vinkel, der er større end den beregnede kritiske vinkel for ZnTe prismet. Afstanden mellem de to identiske ZnTe prismer varieres ved at trække dem fra hinanden. Dette gøres med en halv millimeter ad gangen. For hver gang afstanden L ændres, optages pulsens feltstyrke som funktion af tid og plottes på en (E,t)-graf. Ud fra (E,t)-grafens beregnes tidsforskellen, Δt , mellem pulsene ved forskellige længder L . Hastigheden i gabet bestemmes med formlen:

$$v_g = \frac{d}{t_g} = \frac{L \cdot \cos \theta_{ind}}{\Delta t_c + \frac{L}{c} \left(1 - \frac{n_{ZnTe}}{2} \right)}$$

Med hensyn til formlen se med fordel figur 4.

3. Signalets egenskabers indflydelse på udbredelseshastigheden.

Der vælges ud fra forrige forsøg en afstand L , hvor signalet propagerer evanescent mellem prismerne. I dette forsøg holdes denne afstand konstant. Nu varieres henholdsvis indgangsvinklen og signalets frekvens, og hastigheden bestemmes som før. Det forventes at Δt_c vil ændre sig.

4. Brydningsindeksets påvirkning af udbredelseshastigheden.

I dette delforsøg anvendes prismen af forskellige materialer, der ligesom ZnTe også bruges til optiske THz teknologier. Eksempelvis Galium-Selenid, der har et højere brydningsindeks end ZnTe⁽⁷⁾.

Projektets relevans og innovative værdi:

Indtil videre findes der ikke nogle langdistance kommunikationsformer, som anvender evanescente bølgers superluminale egenskaber. Inden for forskning i optiske kommunikationsteknologier fokuseres der hovedsageligt på at optimere antallet af forskellige bølgelængder, som man kan transmittere i én optiske leder på samme tid. Kommunikation med superluminale hastigheder virker, med en naiv tilgang til emnet, i fuldstændig modstrid med Albert Einsteins specielle relativitetsteori, der hviler i kausalitetsprincippet⁽²⁾, og som derfor ekskluderer kommunikation ved hastigheder højere end lyset – hvorfor netop at feltet er forholdsvis overset.

Fordi udbredelsen af evanescente bølger er analog til den kvantemekaniske tunneleffekt, giver det ikke mening at anvende Einsteins makroskopiske teori og relativistiske beregninger ved denne form for superluminal kommunikation⁽²⁾.

Indtil videre vides det ikke, hvor langt man egentligt kan transmittere evanescente bølger. Ved at projektets førnævnte formål bliver opfyldt – kan projektet besvare spørgsmål omkring mulighederne for superluminal optisk kommunikation^(4;2).

Gennemførelse af projektet og forskningsmiljø:

Projektet kan udføres på DTU Fotonik ved lån af laboratorium og udstyr. Undertegnet udførte i midten af september 2011 pilotforsøg, som viste superluminale hastigheder i prismegabet. Disse pilotforsøg bekræftede projektets potentiale og realiserbarhed. Projektet skal udføres under vejledning af Mikkel Heuck, der er ph.d.-studerende på instituttet. Projektets tidsramme vil være 2-3 måneder inklusiv tid til databehandling.

Tak til..

Mikkel Heuck, ph.d.-studerende ved DTU Fotonik

Anders Clausen, Lektor ved DTU Fotonik

Jonas Christian Due Buron, ph.d.-studerende ved DTU Fotonik

..der alle har hjulpet og vejledt mig gennem mit projekt.

Referencer

- 1) Carey, John j. m.fl.: *Noncausal Time Response in Frustrated Total Internal Reflection?*. I: Physical Review Letters, 1990, s. 1-4 (Artikel)
- 2) Nimtz, Günter og Astrid Haibel: *Zero Time Space, How Quantum Tunneling Broke the Light Speed Barrier*. 1. udg. WILEY-VCH, 2004. (Bog)
- 3) *a-levelphysicstutor.com*. Set: <http://www.alevelphysicstutor.com/images/quantum/tunneling.jpg>. 28.10.2011.
- 4) Winful, Herbert: *Nature of "Superluminal" Barrier Tunneling*. I: Physical review Letters, 2003 (Artikel)
- 5) DTU Fotonik: *Optiske Horisonter*. 1. udg. Polyteknisk Forlag, 2010. (Bog)
- 6) Mølmer, Klaus: *Kvantemekanik, atomernes vilde verden*. 1. udg. Aarhus Universitetsforlag, 2010. (Bog)
- 7) Science daily: *Nanoparticles Used In Solar Energy Conversion*. Udgivet af ScienceDaily (Aug. 9, 2002). Internetadresse: <http://www.sciencedaily.com/releases/2002/08/020809071535.htm> - Besøgt d. 17.10.2011 (Internet)