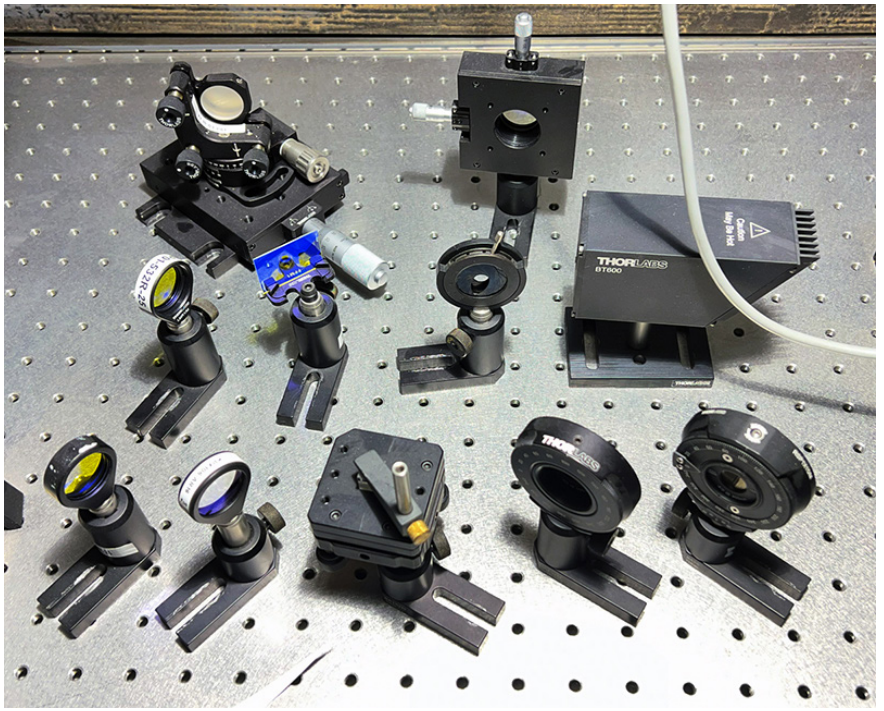
Kvantekrøll

Eksperimentelt oppsett



Moderne optiske elementer plassert på et *moderne* optisk bord.

Kvanteoptikk er et fagfelt hvor både teoretikere og eksperimental-fysikere utfolder seg. Ekspertisene er ofte svært forskjellige, og iblant blir diskusjoner mellom de to gruppene nokså absurd fordi det er til dels svært ulike erfaringer som ligger bak uttalelsene til teoretikere og eksperimental-fysikere. Jeg vil her fortelle litt om erfaringer *jeg* har gjort meg som eksperimental-fysiker fordi de etter min mening har vært sterkt medvirkende til at jeg har et annet bilde av lys/«fotoner» enn mine teoretiker-kollegaer. Jeg tror det er nyttig for alle å ha et mentalt bilde av hva som skjer i et *virkelig* "kvanteoptikk"-eksperiment.

I min studietid for femti år siden var det vanskelig å gjennomføre presise eksperimenter med lys. Linser og holdere var store, upresise, lite fleksible og litt uhåndterlige. De optiske elementene ble satt i holdere, montert på ryttere som igjen ble plassert i spesielle skinner som stod løst på optiske bord av stein. Det var i praksis håpløst å gjennomføre kompliserte optiske eksperimenter.

I dag er situasjonen en helt annen. Nå er det tilgjengelig hundrevis av ulike presise komponenter for optikk: holdere for linser, speil, stråledelere, filtre, polariasjonsfiltre, halvbølgeplater, kvartbølgeplater osv osv. Alt blir skrudd ordentlig fast på et optisk bord. Komponentene (se noen på fotgrafiet på forrige side) kan ved hjelp av ulike festeanordninger plasseres hvor som helst på det optiske bordet, og en optisk symmetriakse for alle komponentene blir automatisk loddrett på bordoverflaten (med mindre man ønsker noe annet).

I laboratoriet vi bygde ved Fysisk institutt for å studere «sammenfiltrede fotoner» brukte vi et optisk bord ca 280 cm langt, 140 cm bredt og 40 cm tykt. Overflaten var i stål gjennomhullet på langs og på tvers. Det var én tomme (ca 2.5 cm) mellom hvert hull, og hvert hull var gjenget slik at vi alltid kunne finne et skruehull som passet for en festeanordninger for de komponenten vi ønsket å bruke. Det optiske bordet veide over ett tonn, og ble plassert på spesielle solide sylinderformede føtter med støtdempere. Alle detaljer er nøye gjennomtenkt for å få mest mulig nøyaktighet og stabilitet. En bølgelengde for lys er bare 0.4 – 0.8 tusendels millimeter, og uønskede endringer som er hundredeparten av bølgelengden er nok til at resultatene blir forringet. For meg er derfor lysets bølgelengde en reell størrelse – ikke bare knyttet til «fotonets bevegelsesmengde» slik teoretikerne tenker i sin matematiske formalisme!

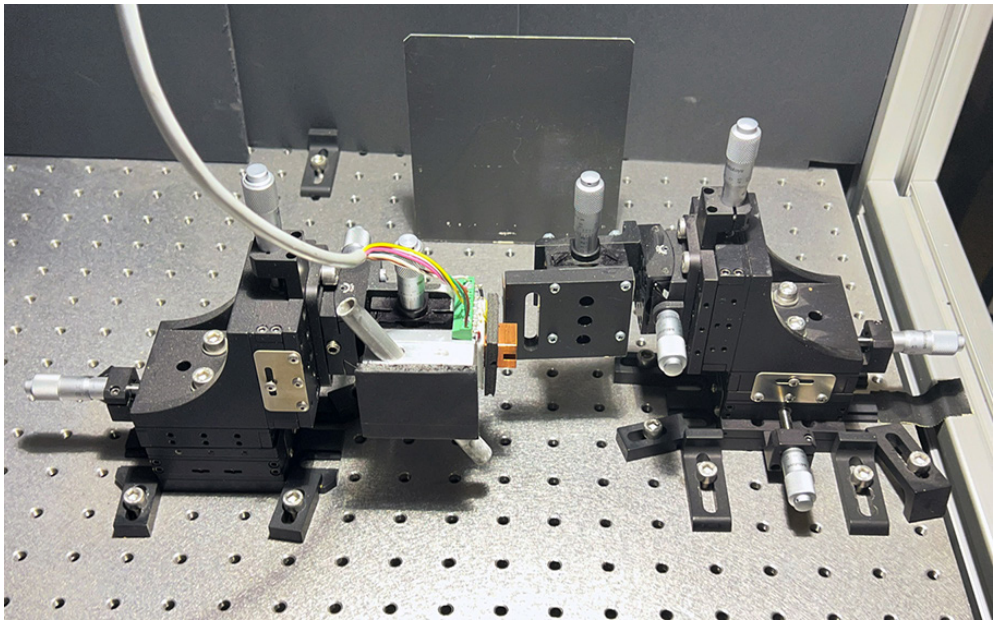
Omtrent alle optiske komponenter er antirefleksbehandlet (unntatt speil selvfølgelig), og komponentene er laget for å passe for de bølgelengdene de skal brukes ved. Selv en såkalt 50:50 stråledeler fungerer tilfredsstillende bare for et gitt intervall for bølgelengden. *Det er en fysisk prosess som ligger bak stråledeleren*, og denne fysiske prosessen er bølgelengdeavhengig.

Selv om vi i dag har utrolig mye godt utstyr å velge mellom, trenger vi fortsatt en masse erfaring og kunnskap til for at resultatet skal bli riktig bra. Diffraksjon for eksempel må vi ta hensyn til. En laserstråle holder

ikke samme diameter når den strekker seg over noen cm. Vi må planlegge nøye og gjøre tiltak for å få de eksperimentelle forholdene vi ønsker.

I dag finnes det en rekke gode hjelpemidler. For eksempel kan vi ved hjelp av en avansert «beam profiler» (med tilhørende dataprogram) måle hvor perfekt en laserstråle er. Strålen skal ha en gaussisk intensitetsprofil over et mest mulig perfekt sirkulært tverrsnitt. Selv middels dyre lasere kan være uegnet for presise målinger. Det finnes triks vi kan bruke for å forbedre laserens intensitetsprofil, men da må man kjenne til de detaljene som da kommer inn osv. I dag finnes det til og med avansert utstyr for å sjekke *bølgefronten* for pulset lys! (”Shack-Hartmann Wavefront Sensor”)

Ofte følger flere optiske komponenter etter hverandre. Da får vi reflekser fra enhver flate som laserstrålen går gjennom. Selv om overflaten er antirefleksbehandlet, er behandlingen ikke 100 % effektiv. Det utnytter vi, fordi vi da kan - med papir klippet til i en smal trekant (se foto på første side av denne kvantekrøllen) – med mye tålmodighet - sørge



Avansert posisjoneringsutstyr for å feste de små krystallene der ”de sammenfiltrede fotonene” ble skapt.

for at refleksen kommer så nær den inngående strålen som mulig *på forrige* optiske element - uten å komme direkte inn i strålegangen. En systematisk gjennomgang sikrer at de optiske elementene følger etter hverandre slik at laserstrålen går mest mulig perfekt rettlinjet gjennom eksperimentet (der det er aktuelt).

Prosedyrene nevnt ovenfor er gjennomførbare når vi tar utgangspunkt i en synlig laserstråle. Er bølgelengden utenfor det synlige området, må vi til med hjelpekikkerter som omdanner laserstrålen til synlig lys. Da går alt mye saktere, men likevel greit nok.

MEN når vi f.eks. har med «sammenfiltrede fotoner» å gjøre, der den totale intensiteten er svært liten i forhold til en laserstråle, er det bortimot umulig å verifisere at alt går 100% slik vi ønsker det. Vi må fjerne filtre for å bruke den opprinnelige laserstrålen til opplinjering og satse på at de sammenfiltrede fotonene vil følge samme vei som laserstrålen. Finjustering kan skje etter at filtrene er satt på plass (slik at kun de sammenfiltrede fotonene slipper gjennom), men finjusteringen er krevende og man må ha STOR tålmodighet.

Jeg lærte «håndtverket» *praktisk kvanteoptikk* da jeg jobbet ett år som frivillig i Quantop, det kvanteoptiske laboratoriet ved Niels Bohr instituttet i København i 2006. Jeg berømmer tålmodigheten til mine læremestre Jonas og Bo i denne tiden!

I vår egen lab har jeg hatt to særdeles dyktige eksperimentalister, nemlig Guillaume Adenier (i fire år) og Andreas Thörn (to år). Mange nær perfekte resultater jeg vil vise i mine kvantekrøll-betraktninger, står disse to bak. (- andre er fra André de Bruyn og mange er mine egne.)