

TELEPORTERING: EN REALISTISK MULIGHET?

Et essay om kvantefysikk

Av Gry Merete Tveten

Teleportering er et fasinende tema som reiser grunnleggende spørsmål omkring rom og tid, så vel som om hva det vil si at noe er et objekt og i ytterste konsekvens omkring identitetsspørsmålet. Kvanteteleportering er en teknologi som eksisterer i dag, og i en forstand kan den sies å virkelig dreie seg om teleportering i den typiske science fiction forstanden av ordet: Transport fra punkt x i rommet til punkt y uten at det som transporteres eksisterer på mellomliggende punkter. Først tar vi et blikk på kvantefysikk, siden dette er teorien man bruker til å forklare fenomenet og som har inspirert forsøkene på å få til denne formen for teleportering.

En av de mest fasinende teoretiske forutsigelsene i kvantefysikken er sammenfiltring (engelsk “entanglement”). Einstein et. al.(1935) formulerte et paradoks som kalles EPR paradokset etter forfatterne. Denne artikkelen skapte stor debatt da den tydeliggjorde hvordan kvantefysikkens beskrivelse av verden skiller seg fra den klassiske fysikkens. Herunder vil fotoner, energipakker av den typen lys består av, brukes som eksempel. Alle partikler, også fotoner, har både bølge- og partikkelegenskaper. En partikkel eller flere partikler kan gis en fullstendig beskrivelse av en bølgefunksjon og vi vil herunder kalle dette for tilstanden til partikkelen eller systemet av partikler vi ser på. To partikler av samme type er uadskillelige i følge kvantefysikken og siden de kan beskrives som bølger kan de også interferere. I tillegg til at to bølgepakker som beskriver partikler kan forsterke eller svekke hverandre, eksisterer fenomenet sammenfiltring. To fotoner danner en sammenfiltret tilstand dersom de to fotonenes samlede tilstand ikke kan beskrives ved å gi en beskrivelse av hvert fotonens tilstand for seg. Matematisk vil dette si at

funksjonen som beskriver systemet av to fotoner ikke kan faktoriseres som to funksjoner hvor hver av disse beskriver kun det ene av de to fotonene. Så lenge de to fotonene er isolert fra omverdenen vil det fortsette å være en relasjon mellom disse på grunn av sammenfiltringen, uansett hvilken avstand det måtte være mellom dem. Dersom du har en tilstand hvor de to fotonene er maksimalt sammenfiltrede vil dette kalles en Bell tilstand (Leinaas 2004:56). Det fins fire forskjellige Bell tilstander for to fotoner og før man foretar en måling på et sammenfiltret par vil det være umulig å forutsi hvilken av de fire tilstandene som vil bli målt. En måling i kvantefysikk påvirker systemet slik at det blir projisert ned i den tilstanden man måler det i. En måling som projiserer paret sammenfiltrede fotoner ned i en Bell tilstand kalles en Bell måling.

La oss se på et tenkt forsøk som involverer et sammenfiltret par fotoner. Slike sammenfiltrede par av fotoner dannes typisk ved at man sender en laserstråle mot en spesiell type krystall, gjerne med så lav intensitet at det kun er ett foton i laserstrålen om gangen. I krystallet er det så en viss sannsynlighet for at fotonet splittes i to fotoner som beveger seg i hver sin retning, la oss kalle det ene fotonet A og det andre B. Vi kan foreta en måling på foton A (eller like gjerne B) etter at det har beveget seg en stor avstand fra krystallet. Som alltid i kvantefysikk kan vi på forhånd liste opp alle mulige utfall av målingen vi foretar og sannsynligheten for å få et gitt måleresultat, men vi kan ikke si med sikkerhet hvilket resultat en bestemt måling vil gi oss. På grunn av sammenfiltringen forventer vi at det er en relasjon mellom måleresultatet fra måling på foton A og B. Dersom man foretar målingen på lik måte i A og B vil resultatet fra A forutsi resultatet i B. I klassisk fysikk antok man at en ideell måling ikke vil påvirke systemet

man studerer. Da man likevel så at målinger foretatt hadde en innvirkning på systemet gikk man ut fra at det var grunnet mangler ved måleinstrumentet eller menneskefeil. I kvantefysikk derimot tar man i betraktning at en måling består i å påvirke det man måler på via kreftene som fins i naturen. Selv en ideell måling hvor instrument- og menneskefeil kan utelukkes vil gjøre noe med systemet. I vårt tilfelle projiserer vi bølgen ned i en gitt tilstand ved å foreta en måling enten i A eller B. Det vil si at når vi måler på A lærer vi samtidig hvilken tilstand B er i etter målingen siden systemet av to fotoner beskrives av en tilstand.

Så hva har dette med teleportering å gjøre? Denne delen av artikkelen er inspirert av Nicolas Gisin's foredrag ved Cern i 2004. Si du har en tilstand du ønsker å teleportere og kaller denne for F. Denne lar du vekselvirke med et av de to sammenfiltrede fotonene dine i punkt A, som fremdeles er adskilt i tid og rom fra punkt B. Vi foretar en måling i punkt A som forteller oss noe om hvordan fotonet fra den sammenfiltrede tilstanden og F har vekselvirket. Denne målingen forandrer både fotonet fra den sammenfiltrede tilstanden og tilstanden som skal teleporteres F, slik at disse ikke lenger eksisterer i samme form. Til gjengjeld har du informasjon om måleresultatet. Nå vil fotonet i punkt B være i en tilstand som er direkte relatert til hva slags vekselvirkning fotonet i A ble utsatt for.

Dersom man overfører informasjon fra punkt A til B om hvilken måling du gjorde, kan dette brukes for å foreta en ny måling i B som er slik at du i B får tilbake funksjonen F som du ønsket å overføre. Merk at for å kunne gjøre dette trenger vi å overføre med vanlig datahastighet noen bit om hva slags måling vi gjorde i A til B for at vi skal vite hva vi skal gjøre med tilstanden for å få F, og derfor ikke kan gjøre dette raskere enn lysets hastighet. Det er også viktig at det ikke er materie eller energi som blir teleportert, men tilstanden. Foreløpig har man kun lyktes i å teleportere fotontilstander, men i prinsippet bør det være mulig å overføre tilstander til mer komplekse objekter, som for eksempel ioner. Dette er langt vanskeligere å gjennomføre eksperimentelt, og krever at du fra A til B overfører langt større datamengder enn for overføringen i forsøket som involverer fotoner.

I prinsippet er det ikke bare fotoner som kan danne en sammenfiltret tilstand, men alt som oppfører seg kvantefysisk og som man kjenner bølgefunksjonen til. Stort sett vil det si objekter som er små nok til at deres bølgenatur er observerbar. Dette innebærer elektroner, protoner og sannsynligvis ioner. Enkelte forskere arbeider også med å en dag kunne teleportere biologiske molekyler som proteiner og virus, men ingen tidshorisonter for slik teknologi antydes. Du trenger bare to bit for å beskrive en måling utført på fotontilstander, mens teoretiske beregninger

tilsier at en måling for å overføre et proton ville måtte beskrives med så mange bit at det med dagens datautstyr ville ta en times tid å overføre fra A til B. Tilsvarende estimat, dersom man kjente en full kvantefysisk beskrivelse av et menneske, er at det å overføre den klassiske informasjonen om mennesket vil ta lenger tid enn alderen på universet i dag (Teleportation Q&A).

Det er i dag gjort flere forsøk som viser at sammenfiltrering fortsatt eksisterer etter at foton parene er adskilt med stor avstand. Alain Aspect (1981) var først ute med å demonstrere hvordan sammenfiltrering gir ikke-lokale virkninger som beskrevet ovenfor. Hvert måleinstrument hvor man målte de to fotonene var adskilt med noen meter. I nyere tid har tilsvarende forsøk blitt gjort hvor man har adskilt fotonene over 50 km uten å ødelegge sammenfiltreringen (Stucki 2002). Forsøk innen feltet arbeider også for å vise med sikkerhet at fenomenet ikke kan skyldes en felles årsak eller skjulte variabler. Man har i stor grad klart å vise dette men noen smutthull trenger fremdeles å tettes. Caroline Thompsons artikkel fra 1996 (nettversjonen ble revidert sist i 2004) er et godt eksempel på kritikk av ikke-lokal tolkning av kvantefysikken som den beskrevet ovenfor.

Det er ikke en gang mulig å teleportere protoner i dag, langt mindre noe større, som et virus. Tanken om at et menneske skal kunne teleporteres er fremdeles en svært usannsynlig tanke. Det ville kreve en kvantefysisk beskrivelse av et helt menneske og utrolig rask dataoverføring. La oss likevel anta, siden dette tydeliggjør hva sammenfiltrering i kvantefysikk kan ha å si for forståelse av tid og rom, at det i en framtid med raskere datamaskiner og flinkere fysikere er mulig å teleportere et helt menneske. Det som skjer vil være noe som dette: Forsøkspersonen vekselvirker med en sammenfiltret tilstand i punkt A, vi måler og får ut informasjon. Da vi gjør dette vil hele forsøkspersonen slutte å være det den var og gå over i en helt annen, forvirrende tilstand av materie. Etter noen dagers dataoverføring til punkt B vet vi endelig nok til å gjenopprette tilstanden som realiserer vår forsøksperson igjen.

Vil vi nå virkelig kunne si at dette er samme person som den vi plasserte i punkt A? Husk, punkt B er et stykke unna i rom og vi brukte lang tid på å teleportere tilstanden som representerer vedkommende dit. Det er ikke sikkert at man vil gå med på at et virus som blir overført fra A til B er det samme. Dersom vi vedgår at dette er den samme personen som nå står i B, hva kan det så bety for vår forståelse av tid og rom? Det er ingen kontinuerlig linje i tid-rom mellom forsøkspersonen før og etter forsøket. Vanligvis vil man kreve at det er en slik kontinuerlig linje for å si at man i to tilfeller har med samme ting å gjøre. Si

jeg har glemt solbrillene mine hjemme, men når jeg kommer på kontoret ligger det et helt likt par på pulten min. Gitt at ingen andre kan ha kommet meg i forkjøpet med å kjøre brillene til kontoret vil det være naturlig å si at dette må være et annet par briller av samme type som hjemme. Likedan vil det være naturlig å si at forsøkspersonen ikke lenger er den hun var, bare en av samme sort som før forsøket. Eller kanskje vi kan si at personen har beveget seg fra A til B, men i form av informasjon. Vil dette være det samme som å si at alt som er, egentlig er informasjon?

Disse spørsmålene kan det være verdt å dvele ved litt lenger. Si teleporteringen ovenfor tar noen dager. I dette tilfellet vil man nok ikke beskyldte fysikeren for å ha begått drap. Men la oss si at dataoverføringen tar mye lengre tid enn forventet grunnet litt dataproblemer, nærmere bestemt noen år. Forsøkspersonen er borte og dagene går. Selv om forsøkspersonen skulle dukke opp igjen etter disse årene blir det med ett vanskeligere å godta at det er den samme forsøkspersonen. Derfor vil grundige undersøkelser bli foretatt. DNA vil bli testet og familie vil måtte bekrefte at de kjenner igjen vedkommende. Alle undersøkelser bekrefter at forsøksperson har riktig DNA og personlige trekk som minner om gamle hendelser, intelligens og humor.

Med all sannsynlighet vil vi måtte godta at forsøkspersonen er den samme, og beskyldningen om drap vil være ute av verden. Vi må altså godta at forsøkspersonen vår ikke eksisterte som menneske i en gitt tidsperiode, samtidig som hun er den samme før og etter denne perioden. I tillegg har forsøkspersonen kommet seg fra en posisjon i rommet til en annen uten å ha vært på mellomliggende punkter. Det vil si at begrep som tid og rom kanskje ikke er så viktig for vår oppfattelse av virkeligheten som vi tror. Det er mulig å beskrive det som skjer på en måte uten å berøre vårt syn på tid og rom. La oss si at da forsøkspersonen forsvant gikk hun bare over i en annen form, nemlig informasjon, og deretter ble hun omvandlet igjen til menneske. Det er det samme som å si at det vi teleporterer er identisk med informasjon. Materien som realiserer den teleporterte er uvesentlig, for all materie skiftes ut under teleportering uten at dette gjør noe med forsøkspersonens identitet. Det er kun informasjonen som beskriver vedkommende som spiller en rolle. Neste gang du sitter ved en datamaskin kan du selv fundere over hvorvidt du vil godta at ting som i framtiden lagres på en datamaskin kanskje er like virkelige som deg selv. Alternativt kan du kanskje gi din forståelse av tid og rom en liten kvanterevisjon.

-
- Aspect, A. et. al. 1981. *Experimental Tests of Realistic Local Theories via Bell's Theorem*, Phys. Rev. Lett. 47, 460.
- BBC News Online science. 2004. *Q&A on Teleportation*. Editor D. Whitehouse <<http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/3777589.stm>>.
- Bennett, C. H. 1993. *Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen channels*. Phys. Rev. Lett 70 1895-1899.
- Einstein, A. et. al. 1935. *Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?*. Phys. Rev. 47 777.
- Leinaas, J. D. 2004. *Non-Relativistic Quantum Mechanics, Lecture notes – FYS 4110*, <<http://www.uio.no/studier/emner/matnat/fys/FYS4110/h05/undervisningsmateriale/LectureNotes.pdf>>.
- Gisin, N. 2004. *Quantum teleportation: Principles and Application*. Cern video webcast: a036519 og a036521. <<http://agenda.cern.ch/fullAgenda.php?ida=a036519>> og <<http://agenda.cern.ch/fullAgenda.php?ida=a036521>>.
- Stucki, D. et al. 2002. *New Journal of physics* 4 41.1-41.8.
- C. H. Thompson. 1996. *The Chaotic Ball: An Intuitive Analogy for EPR Experiments*. Found. Phys. Lett. 9, 357.

For den som er interessert i mer informasjon kan Stanford Encyclopedia of Philosophy, særlig introduksjonen til kvantefysikk være en nyttig, samt at Bell tilstander og kvanteinformatikk er omtalt med egne artikler: Ismael, J. 2004. *Quantum Mechanics*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Høstutgave 2004. <<http://plato.stanford.edu/entries/qm/>>