

Hedi Bel Habib

Komplementaritetsprincipen, en icke-positivistisk princip

Syftet med den här artikeln är att klara upp vissa missförstånd beträffande Bohrs komplementaritetsprincip, vilka uppstår i diskussionen mellan Zalma Puterman (FT 1981:4) och Ingemar Nordin (FT 1982:3 och 1984:1). Det finns i Putermans och Nordins diskussion vilsedande föreställningar om komplementaritetsprincipen, vilka är en väsentlig källa till missförstånd. Dessutom bygger dessa föreställningar på inexakta referenser till Bohrs eget verk.

I FT 1981:4 beskriver Puterman hur Bohr framställde komplementaritetens idéer på följande sätt: "Idéen framställdes ursprungligen i samband med kvantmekanikens uppkomst och utveckling, i första hand Heisenbergs osäkerhetsrelationer. Låt oss därför börja med en kortfattad framställning av denna relation" (s 24). Detta sätt att presentera komplementaritetens idéer förutsätter att Heisenbergs osäkerhetsrelationer leder fram till en formulering av komplementaritetsprincipen. På grund av denna parallell mellan osäkerhetsrelationerna och komplementaritetens idéer drar Nordin slutsatsen att komplementaritetsprincipen bygger på omöjligheten att samtidigt bestämma, med samma exakthet, läge och hastighet hos en elektorn. Det är därför han skriver:

Komplementaritetsprincipen är nämligen på ett fundamentalt sätt beroende av det positivistiska vetenskapsidealet. Komplementaritetstanken förutsätter att "en vetenskaplig" egenskap eller storhet endast kan tillskrivas ett system då det i princip är möjligt (d v s ej uteslutet av någon naturlag) att observera eller mäta egenskapen i fråga. I det fall då vi preparerat en partikel så att vi kan verifiera att partikeln verkligen har det läge vi tilldelat den, så utesluter Heisenbergs relation att vi också kan preparera dess hastighet på samma sätt. Enligt komplementaritetsprincipen blir då en hastighetstilldelning ett otillåtet beskrivningssätt(. . .) Det finns inga experimentsituationer som tvingar oss att använda båda beskrivningarna samtidigt och som därmed skulle vålla problem för teorin (FT 1982:3, s 43-44).

Det utmärkande för diskussionen mellan Nordin och Puterman är att varken den ene eller den andre citerar Bohr eller på ett klart sätt refererar till hans skrifter. Dessutom kan vi fråga oss om det är i enlighet med forskningsetik att Nordin tillåter sig bedöma Bohrs berömda teser på grundval av Putermans vilseledande beskrivning av dessa. Jag tror, att när det gäller sådana väsentliga grenar av forskningsområden, bör vi ställa stränga krav på exakta referenser. Genom dessa krav kan vi undvika missförstånd och förenklade versioner av fundamentala vetenskapliga satsen.

I denna artikel skall jag delvis diskutera Putermans och Nordins "reciproka inexakthet" vid framställningen av komplementaritetsprincipen. I samband med detta skall jag försöka påvisa att komplementaritetsprincipen, som den framställdes av Bohr är en icke-positivistisk sats. En fördjupad diskussion av komplementaritetsprincipens epistemologiska status skulle kräva att vi går igenom kvantfysikens utveckling punkt för punkt. En sådan diskussion skulle behöva mer än en artikel. Det är därför jag skall begränsa mig till en framställning av de viktigaste punkterna, vilka i Bohrs formulering visar att komplementaritetsprincipen inte är ett uttryck för ett positivistiskt vetenskapsideal, utan snarare är en grundsats på vilken hela den nutida "kvantelektrodynamiken" bygger.

1. Kvantpostulat som grund för komplementaritetsteori

Putermans första vilseledande framställning av komplementaritetsprincipen är att han presenterar den på grundval av Heisenbergs obestämthetsrelationer. I hans artikel finns det inga citat ur Bohrs skrifter, som detta påstående kan bygga på. Om vi nu tittar i "Kvantpostulat och atomteorins senaste utveckling" (Bohr 1967) kan vi konstatera att Bohr framställer komplementaritetsteorin *på grundval av kvantpostulat* och inte på grundval av obestämthetsrelationer:

I motsats härtill hävdas i artikeln, att själva *grundpostulatet om verkningskvantums odelbarhet från klassisk ståndpunkt* är just ett irrationellt element, som oundgängligen kräver resignation med hänsyn till orsaksbeskrivningen i tid och rum. Till följd av sammanlänkningen mellan fenomen och iakttagelse hänvisar detta oss till en beskrivning som är att beteckna som *komplementär*, i den bemärkelsen att varje given tillämpning av klassiska

begrepp utesluter samtidigt användningen av andra klassiska begrepp, som i andra sammanhang är lika nödvändiga för att belysa fenomenen (Bohr 1967, s 15).

Enligt kvantpostulatet uppvisar varje atomprocess ett drag av diskontinuitet som är fullständigt främmande för de klassiska teorierna och karakteriseras genom Plancks verkningskvantum. Kvantpostulatet har inom kvantteorin samma teoretiska konsekvenser som ljushastigheten i relativitetsteorin:

I relativitetsteorin inser man, att ändamålsenligheten med den skarpa åtskillnad mellan rum och tid som våra sinnen kräver endast beror av att de vanligen förekommande relativa hastigheterna är små i förhållande till ljushastigheten. På samma sätt kan man säga att kvantteorin fått oss att inse, att ändamålsenligheten med hela vår kausalitetsuppfattning av rum och tid blott beror av verkningskvantums litenhet i förhållande till de verkningar som det rör sig om vid de vanliga sinnesförmåelserna. I verkligheten ställer oss kvantpostulatet beträffande beskrivningen av atomära fenomen inför uppgiften att utveckla en "komplementaritetsteori", vars frihet från motsägelser endast kan bedömas genom att väga definitions- och iakttagelsemöjligheterna mot varandra (Bohr 1967 s 48).

Här är det mycket viktigt att förstå varför Bohr formulerar sin komplementaritetsteori på grundval av kvantpostulatet. Det gäller framför allt begreppen "definitions- och iakttagelsemöjligheterna", som enligt Bohr måste vägas mot varandra.

Hos Puterman och Nordin finns det en tendens att betrakta "definitions- och iakttagelsemöjligheterna" som om de vore desamma som Heisenbergs obestämdhetsrelationer. Denna språkförbistring leder till absurda slutsatser, vilka är ett tecken på brist på exakta kunskaper i fysik. Puterman hävdar t ex att det är obestämdhetsrelationerna som sådana som bestämmer vad en fysikalisk teori kan eller inte kan beskriva. Då drar Nordin slutsatsen: "Men detta argument leder inte till komplementaritetsprincipen med mindre än att man antar att möjligheten till mätning bestämmer vad man kan beskriva, dvs ett verifikationskriterium" (FT 1984:1, s 39). Här finns det uppenbarligen en sammanblandning mellan kvantmetoderna och kvantteorins vetenskapsteoretiska grundprinciper. Heisenbergs osäkerhetsrelationer gäller den reciproka inexaktheten i mätningss procedurer, vilken uppstår från de klassiska begreppens tillämplighet på

mikrofysiska storheter. Osäkerhetsprincipen är en metodologisk sats som betecknar de kvantmekaniska mätningarna, och som sådan kan den inte motivera komplementaritetsprincipen.

Det utmärkande för komplementaritetsprincipen är insikten om en principiell motsättning mellan kvantpostulat och de klassiska begreppen. Så länge vi håller oss till de klassiska begreppen, står vi i ett oundvikligt dilemma mellan våghypotes och partikelhypotes beträffande ljusets natur. Många fysiker, bl a Max Born och Schrödinger trodde att det skulle vara möjligt att överbygga kvantpostulatet och komma fram till en beskrivning av atomfenomenen enligt de klassiska teoriernas riktlinjer. Men så här framställer Bohr komplementaritetsprincipen på grundval av kvantpostulatet:

Överhuvud taget är vågmekniken, liksom matristeorin, enligt denna uppfattning att betrakta som en till kvantteorins natur anpassad, symbolisk omskrivning, som endast kan tolkas genom en *explicit användning av kvantpostulat*. I övrigt kan de två formuleringarna av växelverkanproblemet i betraktande av deras utgångspunkter – respektive våg- och partikeluppfattningen av de fria partiklarna – betecknas som *komplementära*. Detta förhållande orsakar också den skenbara motsättningen som uppstår vid användningen av energi-begreppet i de båda teorierna (Bohr 1967, s 63).

Här måste vi säga att begreppen ”definitions- och iakttagelsemöjligheterna” i Bohrs komplementaritetsprincip inte har något att göra med verifikationistiska antaganden. Själva grunden för komplementaritetsprincipen är, att det på grundval av endast verifikationskriteriet är omöjligt att välja mellan de två konkurrerande hypoteserna: våghypotes och partikelhypotes. Enligt en positivistisk föreställning är validiteten hos en hypotes beroende på dess verifikation genom experiment. Den komplementära uppfattningen är exakt den motsatta, d v s att komplementaritetsprincipen innebär att de möjliga experiment som utförs är beroende av vilken typ av teori man använder.

2. Komplementaritetsprincipen, en icke-verifikationistisk princip

Komplementaritetsprincipen utesluter det positivistiska verifikationsidealets krav på en obegränsad verifierbarhet av hypotesernas validitet. Utan denna samordnade princip, som faller utanför verifikationsfältet och som skiljer mellan de olika teoriernas möjligheter, kan

vi inte tillskriva partikelhypotesen och våghypotesen en validitet på grundval av experiment. Eftersom ljuset i olika experimentella situationer uppvisar olika motstridiga egenskaper, måste de olika teorierna om ljus betraktas som två olika aspekter av samma fenomen.

Begreppet komplementaritet skiljer sig från det positivistiska verifikationskriteriet, vilket skulle kräva att man väljer mellan våghypotes och partikelhypotes på grund av verifikationsprincipen. I ett positivistiskt perspektiv skulle vågteori och partikelteori betraktas som icke-valida, eftersom båda kan verifieras. Medan verifikationsprincipen kräver en entydig korrespondens mellan hypotes och experiment, medför komplementaritetsprincipen att våra möjliga experiment inom atomfysiken är beroende av vilken typ av teori som används av observatören. När han studerar t ex ljus måste han definiera om han kommer att observera fenomenet med avseende på vågteori eller partikelteori.

I motsats till det positivistiska verifikationskriteriet enligt vilket det är mätningmöjligheterna som sådana som bestämmer vad en hypotes skall kunna beskriva, innebär komplementaritetsprincipen att det är mätningmöjligheterna som är beroende av vilken typ av teoriram som används. I detta avseende kan inte den reciproka inexaktheten i mätningprocedurer utgöra bas för komplementaritetsprincipen, utan snarare är det komplementaritetsprincipen som bildar grund för osäkerhetsrelationernas möjligheter i mätningprocedurer.

För att tydligare visa innebörden i denna sats kan vi dra parallellen med relativitetsteoriens uppkomst. År 1881 påbörjade de amerikanska fysikerna Michelson och Morley en berömd serie experiment för att bestämma ljushastigheten i olika riktningar relativt jordens rörelse. Till sin stora förvåning fann de att ljushastigheten var densamma i alla riktningar. Emellertid visar Galilei-transformationerna att ingen kropp kan ha samma hastighet relativt två observatörer som befinner sig i en likformigt relativ rörelse, och att den relativa hastigheten beror på observatörens rörelseriktning. Detta resultat avslöjar att ljushastigheten är oberoende av observatörens rörelse och att den inte går att relatera till mätningen av den med avseende på de klassiska transformationslagarna. Einstein antog, då han lade fram sin speciella relativitetsprincip att ljushastigheten är en fysikalisk invariant, som har samma värde för alla observatörer. Enligt den speciella relativitetsprincipen kan galileitransformationslagarna inte vara korrekta, när vi tillämpar dem på elektromagnetiska fenomen. Här kan vi inte säga att

den speciella relativitetsprincipen bygger på omöjligheten att mäta ljushastigheten med avseende på galileitransformationslagarna, d v s verifikationskriteriet. Snarare är det relativitetsprincipen som förklarar varför man inte kan göra det, genom att postulera att ljusets hastighet bildar den övre gränsen för alla materiella kroppar.

På samma sätt tolkar Bohr den reciproka inexaktheten i mätning-procedurer som uttrycks av obestämdhetsrelationer, då han framställer sin komplementaritetsprincip genom att på ett explicit sätt använda kvantpostulatets krav på komplementaritet:

Med hänsynstagande till kvantpostulatets krav på komplementaritet tycks det verkligen möjligt att med hjälp av de symboliska metoderna åstadkomma en motsägelsefri beskrivning av de atomära fenomenen som kan uppfattas som en naturlig generalisering av den vanliga kausala rum-tidsuppfattningen (Bohr 1967, s 71).

I detta perspektiv är komplementaritetsprincipen ”en motsägelsefri tolkning av de kvanteoretiska metoderna”, genom vilka de klassiska begreppens begränsning kommer till uttryck på ett komplementärt sätt.

3. Komplementaritetsprincipen och kvantelektrodynamikens komplementära karaktär

Sammanfattningsvis kan vi säga att komplementaritetsprincipen avser att beskriva en situation i vilken vi kan se på en och samma händelse utifrån två olika teoriramar. Från en positivistisk synpunkt är komplementaritetsprincipen otänkbar, eftersom verifikationskriteriet kräver att en och samma händelse entydigt måste ses utifrån en och samma teoriram. Nordins påstående att komplementaritetsprincipen är ett uttryck för Bohrs positivistiska vetenskapsideal bygger på språkförbistring mellan de filosofiska tolkningarna av kvantpostulat och själva kvantfysikens teoretiska grundprinciper. Nordins misstag är att han betraktar komplementaritetsprincipen som Bohrs personliga tolkning av kvantfysiken. Han skriver

Kvantmekaniken kan i sig själv inte visa någon fundamental komplementaritetsprincip som vi kan finna exemplifierad över hela det vetenskapliga fältet. Det enda som återkommer, ständigt i samma roll och över hela fältet, är Bohrs eget positivistiska kunskapsideal från fysiken (FT 1982:3, s 45).

Hela denna uppfattning bygger på bristande kunskaper om den nutida fysikens grundsatser och utveckling. Nordin glömmer att komplementaritetsprincipen har blivit en väsentlig del av kvantmekanikens senaste utveckling. Den klassiska fältteori, elektrodynamiken, har förenats med kvantteori till en teori som betecknas kvantelektrodynamiken, och som beskriver all elektromagnetisk växelverkan mellan atompartiklar. Denna teori inbegriper både kvantteori och relativitetsteori och var den nutida fysikens första "kvantrelativistiska" modell. Kvantelektrodynamikens slående drag är att den kombinerar två begrepp, det elektromagnetiska fältet och fotonerna som elektromagnetiska vågors partikelmanifestationer. Då fotoner också är elektromagnetiska vågor, och då dessa vågor är vibrerande fält, måste fotonerna vara manifestationer av elektromagnetiska fält. Därav begreppet "kvantfält", d v s ett fält som kan forma sig till kvanta eller partiklar.

Med kvantfältbegreppet har den nutida fysiken utvecklats i det bohrska komplementaritetsperspektivet. Fältet är ett kontinuum i rummet, som ändå har en diskontinuerlig struktur. De båda, till synes oförenliga, begreppen förenas alltså, och man ser att de bara är olika aspekter av samma verklighet i Bohrs komplementära perspektiv.

Litteratur

- Bohr, N "Causality and Complementarity", *Philosophy of Science* 4, 289-298, 1937.
- Bohr, N *Atomfysik och mänskligt vetande* Aldus/Bonniers, Stockholm, 1959.
- Bohr, N *Atomteori och naturbeskrivning* Aldus/Bonniers, Stockholm, 1967.
- Einstein, A & Infeld, L *Fysikens utveckling* Natur & Kultur, 1965.
- Gerholm, T R *Fysiken och människan* Bonniers, Stockholm, 1962.
- Gerholm, T R *Från naturfilosofi till modern fysik*, Almqvist & Wiksell, Stockholm, 1971.
- Heisenberg, W *Der Teil und das Ganze* München, 1969, Eng övers *Physics Beyond*, London, 1971.
- Jordan, P "Die Quanten-Mechanik und die Grundprobleme der Biologie und Psychologie" *Naturwissenschaften* 10, 815-824, 1932.
- Nordin, I "Komplementaritet och 'kropp-själ'-problemet" *Filosofisk tidskrift* 3, 1982.
- Nordin, I "Kvantfysik och kvantmystik" *Filosofisk tidskrift*, 1, 1984.
- Puterman, Z M "Komplementaritetsprincipen" *Filosofisk tidskrift* 1, 1981.
- Schrödinger, E *What is Life?* Cambridge 1944, på svenska, Stockholm, 1949.