

Ingemar Nordin

Determinism i atomåldern?

En presentation av några filosofiska problem i kvantmekaniken.

1. Inledning

Den deterministiska principen har uppfattats på olika sätt av olika filosofer. Exempelvis betraktade Kant den som ett slags rationalitetsprincip. Han såg den som en förutsättning för förnuftet. Grovt uttryckt ansåg Kant att det var med hjälp av denna princip som medvetandet bearbetade de förmimmelser och intryck som kom utifrån. Orsak och verkan var något som vi använde för att kategorisera omvärlden. Orsakskategorien var en nödvändig betingelse för att överhuvudtaget kunna erfara något.

Man kan också se principen som en metodologisk regel. Den är då en uppmaning att alltid söka en orsak till de händelser och fenomen som man är intresserad av. En sådan regel är inte sann eller falsk utan bara bra eller dålig.

Men det som kanske främst intresserar vanliga människor är förmodligen det ontologiska, eller metafysiska antagandet att världen är deterministisk. Och jag skall här endast diskutera denna tes. Vad jag söker är inte de transcendentala förutsättningarna för förmimmelser, utan snarare då strukturen hos tingen i sig. Inte heller är metodregler det primära målet, även om de ontologiska antagandena naturligtvis har betydelse för hur metodregler utformas. Det kan t ex vara lite svårt att förstå varför det skulle vara bra att leta efter orsakerna till varje fenomen såvitt man inte samtidigt tror att allting faktiskt har en orsak som man kan leta efter. Den deterministiska tesen är ett antagande om världen, en sats som antingen är sann eller falsk.

Jag kan inte tänka mig ett bättre sätt att bedriva metafysiska studier än genom att kritiskt jämföra de filosofiska förslagen med våra bästa empiriska vetenskaper. Att vara determinist i atomåldern har, som jag hoppas kunna visa, intressanta kunskapsteoretiska och ontologiska konsekvenser. Och det är konsekvenser som jag själv, efter en tillväjningsperiod på några år, finner inte bara acceptabla utan rent av attraktiva.

2. Kvantmekanik och dolda variabler

Basen för den moderna atomteorin är den sk kvantmekaniken (KM), och det är i huvudsak denna teori som inneburit problem för en strikt deterministisk

världsbild. Vi skall därför titta lite närmare på den moderna atomfysiken och dess betydelse för våra metafysiska teorier.

Men redan då man ger sig i kast med den fysikaliska teorin stöter man på de första bekymren. En närmare granskning av KM visar nämligen att teorin sällan ger några enkla och okomplicerade svar på våra frågor om materiens natur. Problemet med KM är att trots dess uppenbara fruktbarhet när det gäller att förutsäga atomära fenomen och trots att stor enighet råder om dess matematiska formulering, så är oenigheten närmast total bland dem som intresserar sig för *tolkningen* av själva teorin. Vilken modell eller bild av mikrovärlden ger oss KM? Vad är egentligen en atom enligt KM?

Saken är nämligen den, att KM i stort sett endast ger oss en *statistisk* beskrivning av atomen. Den ger oss testbara förutsägelser av exempelvis den sannolika förekomsten och intensiteten hos olika materiella ämnens spektrallinjer och dylikt. Men vad är det för mekanismer som ger upphov till de individuella energiövergångarna och varför har spektrallinjerna olika intensitet? KM ger inget klart besked. Det ligger då nära till hands att tänka sig att vi istället bör söka efter en mer djupgående teori som också kan beskriva mikrosystemens individuella uppförande; en teori i analogi med exempelvis Newtons mekanik. KM skulle då snarast kunna jämföras med termodynamiken eller klassisk statistisk mekanik. En sådan, till KM underliggande teori, brukar man kalla för "dold-variabel teori".

Om världen är deterministisk, så kan inte den probabilistiska KM vara sista ordet. Det måste helt enkelt finnas en sådan "dold", underliggande teori. D v s determinism *förutsätter* att KM ger en ofullständig beskrivning av verkligheten. Men om det å andra sidan vore så att ingen mer djupgående teori *kan* uppställas, så skulle det vara omöjligt att försvara en deterministisk syn på världen. Så svaret på frågan huruvida världen kan vara deterministisk enligt KM, beror på huruvida KM är förenlig med dolda variabler.

Finns det då några kvantmekaniska skäl som kan tänkas tala emot möjligheten av dolda variabler? Är den moderna atomteorin oförenlig med den deterministiska tesen?

Jag gissar att en och annan läsare höjer ett förvånat ögonbryn inför denna frågeställning. KM ger enligt vad jag tidigare hävdade en rad rent statistiska förutsägelser. Och det enda som nu fordras för att öppna möjligheten till en strikt deterministisk världsåskådning är att visa att denna statistiska teori är förenlig med antagandet att det finns en underliggande kausal mekanism som orsakar de statistiska distributionerna. Hur skulle KM kunna utesluta något sådant? Är inte tanken på ett sådant motbevis ganska orimlig redan från början?

Inte alls, ty liksom nästan all kritik är attackerna mot dolda variabler baserade på ett antal underförstådda premisser. I det här fallet är dessa premisser sammanflätade med tolkningen av själva KM och med andra

vetenskapliga teorier. Varken den deterministiska tesen eller KM kan diskuteras helt fritt från andra teorier eller från synen på vetenskapen som sådan.

Jag skall försöka illustrera detta genom att helt kort presentera två bevis som framförts mot dolda variabler. Det ena argumentet vilar ytterst på ett visst vetenskapsideal. Det andra argumentet går ut på att visa att antagandet om determinism i KM kommer i konflikt med relativitetsteorin. Låt oss börja med det första som också är det äldsta.

3. Bohrs argument

Upphovsmannen till detta bevis mot dolda variabler är den danske fysikern Niels Bohr. Och det är väl kanske framför allt hans idéer som åsyftas när fysiker i allmänhet påstår att determinism är oförenlig med KM. Centralt för Bohrs sätt att se är hans tes om att klassiska begrepp som t ex läge och hastighet hos en partikel inte samtidigt kan förutsägas exakt. Anledningen till detta är, enligt Bohr, ett kvantmekaniskt spridningsfenomen som omöjliggör en godtyckligt noggrann preparering av både partikelns läge och hastighet. Detta spridningsfenomen är matematiskt beskrivet av Heisenbergs sk "osäkerhets-" eller "obestämdhetsrelationer". Enligt dessa finns det en nedre gräns för hur liten spridningen kan vara i en grupp av partiklar som alla preparerats på samma sätt (en sk ensemble). Om alla partiklar har ungefär samma position vid en viss tidpunkt, så måste spridningen av deras hastigheter vara mycket stor, och omvänt. Detta gör, menar Bohr, att det är omöjligt att operationellt förutsäga (definiera) både läge och hastighet samtidigt för en enskild partikel. För antag nämligen att vi verkligen kunde preparera en partikel så att den med full säkerhet kommer att befinna sig på en given plats en viss tid efter preparationen, och att den då också har en bestämd hastighet. Om det funnits en sådan typ av preparering, så skulle vi då också kunna använda den för att preparera en ensemble av likadana partiklar. Men detta skulle motsäga den kvantmekaniska förutsägelsen om en minsta möjliga spridning.

Bohrs utförliga argumentering (se Bohr 1961 s 43 ff) för det fysikaliskt omöjliga i att exakt förutsäga storheter av den här typen är ganska övertygande och det har så vitt jag vet aldrig utförts något experiment som kunnat vederlägga denna tes. Vi kan därför åtminstone tillsvidare acceptera Bohrs resonemang så långt. Men är detta ett bevis mot att det skulle kunna finnas en vetenskaplig deterministisk teori "bakom" KM?

Bohr tycks anse det. Han tar nämligen följande positivistiska tes som mer eller mindre självklar: Möjligheten av en operationell definition, dvs ett angivande av under vilka experimentella betingelser ett objekt har en viss

fysikalisk egenskap, är en förutsättning för att vi skall få använda den i en fysikalisk teori. Omätbara (läs: oförutsägbara) storheter är inte tillämpbara (meningsfulla) i vetenskapliga teorier. Tanken är den att varje vetenskapligt begrepp i princip måste vara reducerbart till observerbara begrepp. En vetenskaplig teori har endast en uppgift, nämligen att utgöra en systematisk sammanfattning av den mänskliga erfarenheten och teorier bör alltså inte gå utanför det som experimentellt kan bestämmas. Detta är Bohrs underförstådda vetenskapsideal.

Låt oss då se vad deterministen har att rätta sig efter. Om man vill hålla fast vid idén om att världen ändå i grund och botten är deterministisk och att detta bör avspegla sig i vetenskapen, tycks det således som om man då också måste acceptera ett annat vetenskapsideal än Bohrs. Det måste vara ett vetenskapsideal som tillåter teorier att åtminstone ibland anta existensen av entiteter eller storheter som inte alltid kan verifieras experimentellt. Man kanske inte tycker att vetenskapens enda uppgift är att utgöra en sammanfattning av det som kan erfaras, utan anser att man måste få anta existensen av vissa icke-observerbara storheter av förklaringskäl eller helt enkelt därför att de kanske finns. I så fall kan man försvara möjligheten av dolda variabler gentemot Bohr. De dolda variablerna, om de existerar, är då inte bara dolda i förhållande till KM (d v s ej behandlade i teorin), utan de är dolda i en mer bokstavlig mening; de är inte observerbara ens i princip.

För en realist som t ex Einstein är detta en fullt respektabel möjlighet. Det är enligt denna syn möjligt att anta att varje enskild partikel växelverkar med en fluktuerande omgivning som vi ännu inte lärt oss förstå och som vi kanske aldrig kan behärska helt. Kanske är världen sådan att inget annat än statistiska förutsägelser är möjligt för de atomära fenomenen. Men detta betraktas på intet sätt som ett argument mot att partiklarna faktiskt ändå bör beskrivas i termer av bestämda lägen och hastigheter. Ty vetenskapen bör sträva efter att ställa upp deterministiska, vetenskapliga teorier om enskilda partiklars egenskaper och uppförande. KM kanske sammanfaller, om vi har otur, med den bit av verkligheten som faktiskt står inom mänsklig makt att kontrollera och förutsäga, men enligt realisten ger teorin inte desto mindre en ofullständig bild av världen.

Det kan vara av intresse att här notera sambanden mellan kunskapsteori, vetenskapsideal och vetenskaplig ontologi. Kopplingen mellan kunskapsteori och ontologi tycks åtminstone i det här sammanhanget ske via vetenskapsidealet. När Bohr hänvisar till att alla vetenskapliga entiteter skall vara mätbara, så utgår han med all sannolikhet från ett underförstått antagande om att vetenskapen syftar till att fastställa säkra, verifierbara eller åtminstone sannolika påståenden om världen. Alla vetenskapliga teorier skall ha ett starkt empiriskt stöd. Detta i sin tur grundar sig naturligtvis på det kunskaps-teoretiska antagandet att empiriska påståenden faktiskt kan verifieras (i

någon mening) av vår sinneserfarenhet. Och vetenskapsidealet leder till att vetenskapen absolut inte bör befatta sig med icke-observerbara entiteter, i den mån nu sådana begrepp ens kan ges en meningsfull innebörd. (Kravet på vetenskapen som verifierbar kunskap är ju som bekant också nära förbundet med att man tar verifierbarhet som ett meningskriterium.)

Likasa kan man tänka sig andra former av "justificationism" (hur man nu skall översätta denna något klumpiga Popperianska term till svenska) som, om de vore involverade i den kvantmekaniska debatten, förmodligen också skulle infört begränsningar av den kvantmekaniska ontologin av liknande skäl.

Men om man förkastar detta vetenskapsideal med verifierbar eller sannolik kunskap som mål, så blir situationen en annan. I Poppers fall är förkastandet av det traditionella filosofiska vetenskapsidealet baserat på en skeptisk inställning till möjligheten av säker kunskap om världen. Han påpekar i stället att alla intressanta vetenskapliga teorier är och bör vara hypotetiska till sin natur. Ju innehållsrikare en teori är, desto mer sårbar och osannolik (i någon mening) är den. Hans vetenskapsideal medför snarast att vetenskapliga teorier skall göra så många nya förutsägelser som möjligt och att därför det existerande empiriska stödet, relativt sett, bör vara så litet som möjligt. Detta ideal kan sedan motivera en positiv inställning till det man ibland kallar "teoretiska" termer. Så en skeptisk inställning till evident eller verifierbar kunskap kan via vetenskapsidealet motivera liberalism på det ontologiska planet. Ja, det är t o m så att ett sådant vetenskapsideal direkt uppmuntrar till ontologiska ställningstaganden (djärva hypoteser), medan verifikationism gynnar en negativ eller neutral syn på de ontologiska problemen.

Så långt vetenskapsidealens kamp. — Det andra beviset är av en annan sort och är kanske rent tekniskt mer komplicerat. Ytterst går argumentet ut på att visa att det inte går att förena dolda variabler med relativitetsteorin. Man vet naturligtvis redan att klassisk KM inte kan vara förenlig med relativitetsteorin när de involverade systemens hastigheter närmar sig ljushastigheten. Men i det tankeexperiment som vi nu skall diskutera är systemens hastigheter en irrelevant faktor och kan antas vara hur låga som helst. Så en inkonsistens med relativitetsteorin i detta sammanhang är ganska oväntad.

4. Lokalitetsargumentet

En primitiv form av dold-variabel teori är att anta att alla partiklar alltid har ett bestämt värde på alla sina egenskaper och att detta värde inte kan påverkas kausalt av den metod vi använder för att mäta egenskaperna. Man kan också uttrycka antagandet så här: *Givet* att vi kände till den dolda variabelns värde (ett villkor som, om Bohrs argument är riktigt, aldrig i

praktiken kan uppfyllas), så skulle vi kunna förutsäga resultatet av en mätning på denna egenskap utan att behöva ta hänsyn till vilken metod vi använder för att mäta.

Detta är givetvis ett orimligt antagande eftersom det är ett ganska vanligt fenomen, även inom klassisk fysik, att en mätning också innebär att vi manipulerar systemet. Givet en fullständig teori kan vi dock alltid räkna fram det orörda systemets tillstånd genom att vi exakt känner till de fysikaliska processer som en indirekt mätning involverar.

En kanske rimligare teori vore att i stället anta att givet de dolda variablerna kan vi förutsäga en mätning på en viss egenskap Q , oberoende av vilka *andra* egenskaper, P eller R , vi väljer att mäta samtidigt på samma system. Men inte heller detta är möjligt. Man kan nämligen visa att det finns ett visst kontextuellt beroende mellan egenskaper i KM . Det finns storheter Q , P och R i KM som är sådana att om vi står inför valet att antingen mäta Q i en (Q, P) -mätning eller att mäta Q i en (Q, R) -mätning, så måste det ibland hända att Q -värdena i de två fallen skiljer sig åt. För en åskådlig presentation av dessa resultat, se Gardner (1972).

Jaha, säger den dolda-variabel teoretikern då, detta visar ju bara att vår mätning på exempelvis R kan påverka den dolda variabeln som bestämmer värdet på Q -egenskapen. Eller finns det mer bakom det här?

Jo, det finns det faktiskt. Och det är här problemet med lokalitet kommer in. (Lokalitetsargumentet mot dolda variabler framfördes första gången av J S Bell (1964). Det har också framförts som ett argument mot realism i allmänhet av B d'Espagnat (1979).)

Antag nämligen att systemet i fråga är ett s k två-partikelsystem. D v s vi betraktar par av partiklar som en gång växelverkat med varandra. Vidare antar vi att partiklarna rör sig åt olika håll efter växelverkan (deras hastigheter är irrelevanta). Man kan nu visa att fenomenet med kontextuellt beroende kvarstår, även då Q och (P, R) respektive refererar till var sin partikel. D v s Q -värdet hos partikel I kan vara *beroende* av huruvida vi samtidigt mäter P eller R hos *den andra partikeln*. Enligt teorin gäller detta oberoende av hur långt ifrån varandra de båda partiklarna är i mätögonblicket.

Låt mig försöka illustrera detta med ett analogt exempel. Antag att vi har en maskin på en fabrik som producerar leksaksbollar. Den är konstruerad så att den gör bollarna två och två i taget. Den gör bollar i bara två storlekar, liten och stor. Men gummit som står till förfogande för varje par är begränsat till ett bestämt kvantum så att det bara räcker till en liten och en stor boll varje gång. Vidare är det så att en av bollarna alltid är vit och den andra röd. Bollarna rullar ut i två rännor, I och II, en boll i vardera rännan. Produktionen av bollarna är sådan att det är 50% chans att en boll i en viss ränna är liten, och 50% chans att den är röd. Om nu denna modell skall illustrera de

kvantmekaniska förhållandena ovan, måste vi anta att det dessutom finns vissa statistiska villkor, V, som måste vara uppfyllda för relationen mellan färg och storlek. Vi kan ju tänka oss att den relativa färgåtgången av vit, respektive röd färg inte får överskrida ett visst maximivärde och att maskinen därför är anpassad så att exempelvis inte alla stora bollar blir vita. Det går ju åt mer färg till en stor boll än till en liten.

Antag att rännorna leder in i två rum där två granskare sitter med sina instrument och för statistik över bollproduktionen. Antag vidare att de instrument varje granskare har till sitt förfogande är så invecklade och komplicerade att ställa in, att han bara kan observera en egenskap, storlek eller färg, åt gången. Vissa saker kan kontrollör I förutsäga om vad kontrollör II kan observera, och tvärt om. Om exempelvis I observerar en vit boll vid sin ränna, så vet han att om II också observerar färgegenskapen hos den andra bollen, så observerar II en röd boll. På samma sätt är det med storleken. Dessutom kan I enligt V göra vissa statistiska förutsägelser om vad II observerar när han observerar en annan egenskap än I gör.

Om nu de statistiska villkoren är av den kvantmekaniska natur som jag diskuterat ovan, kan vi exempelvis identifiera egenskapen "färg hos boll i ränna I" med Q, och "färg" och "storlek hos boll i ränna II" med P och R respektive. V implicerar då att värdet på Q är beroende av vilken egenskap, P eller R, II väljer att mäta. Detta förhållande har med rätta upprört fysiker och filosofer. Och skälet till det står främst att finna i det faktum att relativitetsteorin under viss omständigheter tycks förbjuda ett sådant beroende.

Låt mig emellertid först helt kort försöka exemplifiera hur en ickeklassisk statistik kan implicera ett sådant här beroende. För att göra det hela lite mer åskådligt skall vi nöja oss med att betrakta fyra möjliga experimentserier med bara sex observationer i varje. Antag att V ger oss de exakta proportionerna för de olika egenskaperna hos dessa korta serier. Beteckna proportionen med $P(x,y)$, där x kan vara röd (r), vit (v), liten (l) eller stor (s) för bollarna i ränna I, och y är motsvarande för bollarna i ränna II. Enligt våra förutsättningar är $P(r,v) = P(v,r) = 1/2$ och $P(r,r) = P(v,v) = 0$. Vidare kan vi räkna ut att exempelvis $P(r,l) + P(r,s) = 1/2$. Antag att vår statistiska teori, V, nu också kräver att $P(l,r) = 1/3$ och $P(r,l) = 1/6$. Fyra experiment är som sagt tänkbara på de sex paren, men endast ett av dem kan verkligen utföras.

Antag att vi vill kontrollera $P(l,r)$ -förutsägelsen och att experimentet skulle gett följande resultat A:

storlek hos I	s l s l s l
färg hos II	v r v v r r

Om vi i stället hade gjort ett (färg, färg)-experiment som är förenligt med vad vi skulle få enligt A, så måste resultatet bli B:

färg hos I	r v r r v v
färg hos II	v r v v r r

Vidare, storlekarna på I i A ger att ett (storlek, storlek)-experiment skulle ge C:

storlek hos I	s 1 s 1 s 1
storlek hos II	1 s 1 s 1 s

Storlekarna på II i C ger storlekarna hos II i ett (färg, storlek)-experiment:

storlek hos II	1 s 1 s 1 s
----------------	-------------

Men för att $P(r, 1) = 1/6$ så måste två färger i I-serien byta plats jämfört med B-experimentet, exempelvis de två första:

	? ?
färg hos I	v r r r v v
storlek hos II	1 s 1 s 1 s

D v s färgen hos de två första bollarna i I-serien är beroende av om vi gör en färgobservation eller en storleksobservation vid II. (Alternativt skulle vi naturligtvis kunna säga att det i stället är någon av storlekarna vid II som är beroende av vad slags experiment vi gör vid I. Men problemet med lokalitet kvarstår.)

Det är lätt att övertyga sig om att vi inte kan undvika problemet om vi i stället tänker oss andra tillåtna kombinationer av resultat i A - mätningen. Lite svårare är det kanske att se att begränsningen till sex bollpar är ovidkommande i sammanhanget. Men även om det är N bollpar, där N är ett godtyckligt stort tal, gäller rent klassiskt med de övriga villkor vi ställt upp: $P(1, r) = P(1 \& v, r \& s) = P(v, s) = 1/2 - P(r, s) = (P(r, 1) + P(r, s)) - P(r, s) = P(r, 1)$. D v s, $P(1, r) = 1/3$ och $P(r, 1) = 1/6$ är omöjligt enligt en klassisk beräkning. Detta är åtminstone en indikation på att vi alltid kommer att få problem med en klassisk modell av förloppet, även om vi tar bort våra förenklings-antaganden.

Följande märkliga fenomen inträffar således med dessa kvantmekaniska leksaksbollar: För åtminstone något bollpar j , är färgen hos den j :te bollen som I observerar beroende av vilken egenskap observatören vid II väljer att mäta. Om n_{1j} är värdet, d v s röd eller vit, på färgen som I observerar, så

finns det ett j sådant att $n_{1j}(Q, R) \neq n_{1j}(Q, P)$. Och om nu rumtidsavståndet mellan observationen vid I och observationen vid II är "rumsliknande", dvs det rumsliga avståndet är stort och tidsskillnaden liten, så verkar detta strida mot relativitetsteorin. Händelser som är skilda åt på detta sätt kan enligt relativitetsteorin inte vara beroende av varandra. Som bekant kan ju enligt relativitetsteorin partiklars eller fältvågors hastighet i vakuum aldrig överskrida ljushastigheten. Så därför är all kausal påverkan eller störning också begränsad av denna lag. (Detta bygger på antagandet att baklänges kausalitet i tiden är utesluten.)

Det är viktigt att poängtera att beroendet inte kan förklaras av att bollarna har ett gemensamt ursprung, där vissa villkor är pålagda, utan beroendet hos n_1 måste hänföras till vilken egenskap II väljer att observera.

Detta verkar helt strida mot tanken att bollarna ges vissa bestämda egenskaper, stor eller liten, röd eller vit, redan från början och att de har dessa egenskaper oberoende av om man sedan registrerar dem eller ej. Och eftersom det kontextuella beroendet inte kan förklaras med någon störningsteori (störningar utesluts ju av relativitetsteorin), så får vi kanske helt ge upp tanken på att bollarna har bestämda, men bitvis dolda egenskaper. Och om man inte kan anta existensen av egenskaper oberoende av våra observationer, hur kan man då ens tänka sig en deterministisk förklaring på de kvantmekaniska fenomenen?

5. Försvar av determinismen

Det är tvivelsutan en obehaglig situation som den realistiske deterministen står inför. Hur skall han försvara sig? – Ja, en möjlighet är att se efter om den instrumentalistiske indeterministen själv kan klara sig ur lokalitetsproblemet. Om inte, så kan han ju knappast anföra lokalitetsargumentet som ett argument mot just determinism. Om man inte kan lösa problemet genom att överge dolda variabler, så måste felet ligga någon annanstans, kanske hos KM eller hos relativitetsteorin som sådana.

För att visa att instrumentalisten inte löser problemet, räcker det med att bara modifiera det tidigare resonemanget lite grand. Låt oss för ett ögonblick glömma allt tal om egenskaper i sig och om bollar som antingen är röda eller vita. Låt oss enbart hålla oss till det som kan observeras. KM gör vissa förutsägelser om vilka resultat det kan bli om vi gör en observation, och ingenting om vad som är fallet om vi inte gör någon observation. Den kan heller inte förutsäga exakt *vilket* värde det blir vid en mätning, bara att det blir något av de möjliga, och med vilken sannolikhet. Men eftersom KM i alla fall förutsäger att det kommer att bli *något* resultat oavsett hur vi mäter, så kan vi åtminstone tala om de möjliga utfallen i tänkbara, sinsemellan

uteslutande experiment. Storheterna n_j får nu stå för enbart observationsresultat, oberoende av om det finns någon dold mekanism som ger upphov till dessa resultat eller ej.

Om vi gör ett (färg, storleks)-experiment, så skall den j :e observationen vid I ge något resultat. Beteckna detta med n_{1j} (färg, storlek). Och om vi istället hade gjort ett (färg, färg)-experiment, så hade den observationen (den j :e) också gett något resultat; n_{1j} (färg, färg). Och så vidare för alla n_{1j} och n_{2j} .

Relativitetsteorin implicerar nu att för alla j , och oavsett vilket värde vi skulle ha observerat, så måste n_{1j} (färg, storlek) = n_{1j} (färg, färg), n_{2j} (färg, storlek) = n_{2j} (storlek, storlek), o s v.

Detta är inget påstående om dolda variabler som antas existera oberoende av om vi kan observera dem eller ej, utan ett påstående om att makroskopiska observationer och instrument skall vara oavhängiga andra makroskopiska händelser på stora avstånd.

KM, nu tolkad som en instrumentalistisk teori, implicerar dock precis samma statistiska samband, V , som innan. För några tänkbara observationsresultat måste icke-lokalitet gälla, exempelvis att n_{1j} (färg, storlek) \neq n_{1j} (färg, färg). Inkonsistensen med relativitetsteorin är således ett faktum även för instrumentalisten. *Och i den mån inkonsistens med relativitetsteorin anförs som argument mot dolda variabler, så äger det samma tyngd som invändning mot en instrumentalistisk (och indeterministisk) tolkning. Vi kan ju tänkas säga att en inkonsistens med relativitetsteorin (d v s icke-lokalitet) är acceptabel, antingen därför att KM är falsk eller därför att relativitetsteorin är det (eller båda). Men i så fall står självklart denna möjlighet öppen även för deterministen. Den påvisade icke-lokaliteten kan då heller inte användas som ett argument mot dolda variabler.*

En möjlighet att undvika dilemmat med icke-lokalitet är att förneka meningsfullheten hos kontrafaktiska satser. Att exempelvis påstå n_{1j} (färg, storlek) = n_{1j} (färg, färg), eller dess negation, skulle helt enkelt betraktas som meningslöst. Eftersom påståendet är en följd av relativitetsteorin, måste man då tänka sig att helt "rena" även denna klassiska teori från kontrafaktiska påståenden. Så vitt jag kan se står denna möjlighet öppen även för dold-variabel teoretikern. Men eftersom dels ett dylikt ingrepp skulle vara mycket förödande med tanke på det nära sambandet mellan kontrafaktiska satser och kausallagar, och dels ingen som jag känner till på allvar utvecklat denna tankegång, så tänker jag inte närmare diskutera denna möjlighet här.

6. Dolda partiklar

Jag skall sluta denna diskussion med att nämna en möjlighet som står till realistens förfogande om han vågar radikaliserar sin hypotes om dolda variab-

ler ytterligare: Förutom dolda variabler kan man också anta att det finns dolda *partiklar*. Partiklarnas "doldhet" antas fungera på följande sätt: Vi antar att den bollproducerande maskinen i verkligheten producerar fler bollar än vad som kan observeras av kontrollanterna. Vidare antar vi att växelverkan mellan observationsinstrumenten och bollarna är sådan att den serie av bollar som en observatör skulle registrera i ett färg-experiment, skiljer sig något från de han skulle registrera i ett storleks-experiment. D v s, ett färg-experiment ger utslag på en del bollar som inte hade gett upphov till några utslag i ett storleks-experiment, och omvänt. Det är alltid några bollar som så att säga försvinner, förblir dolda, i varje sådant experiment. Detta bryter alltså mot den gamla tolkningen av KM som implicerade att alla mätningar ger (eller hade gett) *något* resultat om de (hade) utförts.

För att nu förklara på vad sätt detta kan ge upphov till resultatet n_{1j} (färg, storlek) $\neq n_{1j}$ (färg, färg), utan att strida mot n_{1k} (färg, storlek) = n_{1k} (färg, färg) för alla k , måste jag ta med ytterligare en detalj som ingår i den ursprungliga kvantmekaniska beräkningen. I KM är ett "resultat" i detta fall detsamma som det resultat man erhåller när *både* mätningen vid I och mätningen vid II ger utslag. Överfört till vår bollanalogi, betyder detta att om exempelvis I registrerar en boll när II inte gör det, så är undersökningen ogiltig. Den kan inte användas för att kontrollera den statistiska teorin.

Lägger vi nu till antagandet om dolda bollar kan det mystiska bytet av färg hos I förklaras på följande sätt: Anledningen till att den j :e bollen hos I i (färg, storlek)-experimentet inte har samma färg som den j :e bollen i (färg, färg)-experimentet är att det j :e resultatet i de bägge experimenten refererar till olika bollar.

Om exempelvis den j :e bollen som rullar in för granskning hos II inte registreras, utan förblir dold, så kommer även den boll som skulle ha nummer j hos I att "försvinna". Den räknas inte som ett resultat. (I ett riktigt experiment med partiklar så hade apparaturen hänfört den udda partikeln till det normala bakgrundsbruset av ströpartiklar, utan samband med de registrerade partikel-paren.) På så sätt kommer kanske i stället nästa boll som rullar in hos I att få nummer j i detta experiment. Att det kan bli en förändring hos I beror alltså dels på kravet på simultan registrering, och dels på att vissa bollar hos II skulle ha registrerats i ett (färg, storlek)-experiment, men inte i ett (färg, färg)-experiment. Någon fysikalisk störning som är förbjuden av relativitetsteorin är det inte längre fråga om.

Om N_j refererar till observationsresultat och n_j till värdena av egenskaperna hos de faktiskt existerande bollarna, får vi: det finns ett J sådant att N_{1J} (färg, storlek) $\neq N_{1J}$ (färg, färg), och n_{1j} (färg, storlek) = n_{1j} (färg, färg) för alla j , utan motsägelse. D v s färgen hos alla bollar vid I är oberoende av vilken typ av experiment man utför vid II, men observationsresultatet J är det inte.

Hypotesen med dolda partiklar är intressant och fruktbar även ur en annan synpunkt. Det tycks nämligen vara möjligt att åtminstone i princip testa den empiriskt. Om vi, innan den bollproducerande maskinen sätts igång, lyckas mäta maskinens totala energi (inklusive dess massa), så kan man sedan jämföra de registrerade slutprodukternas energi och helt enkelt se efter om något fattas. Gör det inte det, så är hypotesen falsk. I de experiment som faktiskt har utförts för att testa lokaliteten i KM är det ytterst svårt att eliminera hypotesen om dolda partiklar. För det första finns det alltid en stor mängd ströpartiklar, utifrån och från de elektroniska instrumenten i laboratoriet, som stör experimentet. Och för det andra har inga verkliga detektorer en 100% effektivitet på grund av, som det heter, teknologiska defekter. Frågan är dock om inte åtminstone en del av dessa defekter kunde förklaras med hypotesen att en del partiklar med naturnödvändighet är dolda. Kanske behövs det helt andra typer av experiment än de som faktiskt utförts, t ex då ett energiexperiment, för att testa hypotesen om dolda partiklar.

Hur som helst, även om det återstår en del frågetecken kring problemet med lokalitet, så tycks inte heller detta argument motbevisa den deterministiska hypotesen. Det visar bara på en svårighet som drabbar alla standardtolkningar, både deterministiska och indeterministiska.

7. Några allmänna kommentarer

Detta var alltså två exempel på argument mot, och försvar av, den deterministiska tesens förenlighet med KM. Det finns naturligtvis många andra aspekter på KM som har betydelse för vår allmänna världsbild, t ex det s k mätproblemet och sannolikhetsbegreppet. Den kvantmekaniska tolkningsdebatten har nu pågått i över 50 år, alltsedan teorins tillkomst. Hitintills har debatten förts inom en relativt snäv krets av fysiker och filosofer. På senare tid kan man dock märka ett något yrvaket intresse, tyvärr inte så mycket från fackhåll eller från en seriös allmänhet, utan från pseudovetenskaparna och ockultisterna. Detta är beklagligt, men i och för sig inte oväntat. Kulturklimatet är inte precis sådant att det uppmuntrar intresset för grundläggande ontologiska frågeställningar, såvitt dessa inte har en uppenbar teknologisk eller allmännyttig relevans. De som trots allt har ett levande intresse för världsåskådningsfrågor, får därför i allmänhet söka stilla sin nyfikenhet genom att gå utanför de akademiska och samhällseliga institutionerna. Och där blir sensationalism och nyhetsjakt viktigare än seriösa studier.

Det som gör att den kvantmekaniska tolkningsdebatten kan verka lockande för pseudovetenskapen är dels att det finns många stora namn förknippade med den: Bohr, Einstein, Heisenberg, von Neumann etc, och dels att det finns många fantasifulla och originella tolkningsförslag att välja mellan.

En del av dessa tolkningsidéer har nu börjat dyka upp i den pseudovetenskapliga litteraturen, naturligtvis i förvanskad form och okritiskt anpassad till de gamla vanliga paranormala teorierna. Några nya idéer är det egentligen inte fråga om, men man tycker sig finna ett nytt och vetenskapligt stöd i KM för det paranormala.

Detta stöd kan framför allt hämtas hos de positivistiskt inspirerade tolkningarna. Den centrala ställning som observationsbegreppet har i den positivistiska filosofin är nämligen en inkörsport till ett antropocentriskt synsätt, där materiens egenskaper ytterst blir beroende av själva observationsakten. Så har exempelvis denna filosofi fått bli Wigner (1963) och von Neumann till att explicit anta att endast den icke-fysikaliska, den mentala, observationssakten kan orsaka att mikrosystem får bestämda värden på sina egenskaper vid en mätning. För om vi inte kan anta dolda variabler, så blir det ytterst svårt att förklara det empiriska faktum att partiklar alltid har ett bestämt värde på sin egenskap då vi observerar dem. Någon tillfredsställande fysikalisk förklaring utan dolda variabler har man hittills inte lyckats prestera. (För en presentation och förslag till lösning av mätproblematiken i KM, se Welin (1979.)) Och detta är naturligtvis ammunition som heter duga för dem som vill bevisa medvetandets direkta makt över materien och att vetenskapen nu är på väg in i en ny "andlig era", etc.

Med dessa förhållanden i åtanke vill jag avslutningsvis bara framföra min förhoppning om att de något räddhågade gränsdragningarna mellan filosofi och naturvetenskap (som ännu mer markeras i och med bildandet av utbildningslinjer på universiteten) med tiden skall suddas ut eller förändras. Dessa gränsdragningar innebär nämligen ofta att vissa problemområden helt enkelt hamnar utanför den akademiska sfären och att de därmed berövas den positiva inverkan som trots allt disciplinerad forskning innebär.

Litteratur

Bell, J S, "On the Einstein Podolsky Rosen Paradox", *Physics*, vol 1, 1964, s 195 ff.

Bohr, N, *Atomfysik och mänskligt vetande*, Aldus 1961.

d'Espagnat, B, "The Quantum Theory and Reality", *Scientific American*, vol 241, november 1979, s 128 ff.

Gardner, M, "Quantum-Theoretical Realism; Popper and Einstein v Kochen and Specker", *British Journal for the Philosophy of Science*, vol 23, 1972, s 13 ff.

Nordin, I, *Determinism och kvantmekanik. En analys av den deterministiska tesens förenlighet med kvantmekaniken*, Filosofiska institutionen, Lunds universitet 1980. (Ovanstående uppsats bygger i allt väsentligt på denna avhandling.)

Welin, S, *Wholeness, Measurement and Hidden Variables. A Study of Philosophical Problems in Non-Relativistic Quantum Mechanics*, Filosofiska institutionen, Göteborgs universitet 1979.