

Att förstå kvantmekaniken: En hjälp till fysikstudenter

Lars-Göran Johansson

Thales, 2021. 102 s. ISBN 978-91-7235-125-7

Lars-Göran Johansson (hädanefter LGJ), professor emeritus i Uppsala, ägnade redan sin doktorsavhandling (Stockholms universitet, 1992) åt kvantmekaniken och dess vetenskapsfilosofiska problem, och han har sedan dess då och då i såväl svenska som engelska skrifter återvänt till problematiken. Han har nu på ett utomordentligt sätt summerat sina nuvarande åsikter i boken *Att förstå kvantmekaniken*. Boken har undertiteln *En hjälp till fysikstudenter*, men jag tycker den bör läsas av alla svenska kvantfysiker. Och inte bara det. Jag tycker den bör läsas också av alla studenter och lärare i filosofi som är intresserade av fysikens filosofi, och det även om de inte förstår alla matematisk-fysikaliska formler och resonemang som passerar revy. Själv önskar jag mig anakronistiskt att jag hade fått boken i min hand när jag i mitten av 1960-talet vid sidan av mina filosofistudier tenderade av en termins studier i teoretisk fysik.

Boken är inte en sedvanlig presentation av några olika tolkningar av kvantmekaniken som avslutas med orden "Att förstå kvantmekaniken är att förstå att det finns ett flertal olika tolkningar av dess matematiska formalism". Inte heller menar LGJ att förstå kvantmekaniken är att förstå hur dess formalism fungerar matematiskt. Tvärtom. Jag citerar honom:

Många, däribland undertecknad, är inte nöjda med att räkna rätt, man önskar en djupare förståelse av den värld kvantmekaniken beskriver. ... Mitt förslag är att förståelse av en fysikalisk teori åtminstone till en del innebär att vi kan visualisera [teoribeskrivna] händelser i tid och rum. (s. 3, 7)

Det sagda innebär dock inte att LGJ anser att kvantmekaniken måste kunna visualiseras på ett välkänt sätt. Inte alls. Jag citerar på nytt:

Ett första steg [för att visualisera kvantmekaniken] är att frigöra sig från dessa mer eller mindre omedvetna antaganden om hur tingen måste se ut och vilka egenskaper fysiska föremål har. (s. 3)

I sin bok presenterar LGJ en tolkning av kvantmekaniken som han anser vara visualiseringsbar, och som därför ger en verklig förståelse av kvantmekaniken. Han tar sin utgångspunkt i Schrödingers vågekvation. Schrödinger ville för övrigt själv skapa en åskådningbar version av kvantmekaniken, men LGJ köper inte alla hans åsikter.

LGJ skiljer på *energi* och *energiutbyte* (växelverkan), och anser att endast energiutbytena är och måste vara kvantiserade. Elektromagnetiska fält som inte växelverkar med något består *inte* av partikelliknande fotoner; sådana finns bara i energiutbytena. Alla mätningar innehåller förstås energiutbyten. Han skriver: "de kvantmekaniska objekten fortplantar sig genom rummet som vågor, men växelverkar med mätapparater och andra ting som såsom partiklar" (s. 37). Termen "partikel" är här inte tagen i vardagsmeningen utan i betydelsen av odelbar enhet med bestämd energimängd. Inget kvantmekaniskt objekt uppvisar samtidigt både våg- och partikelliknande egenskaper.

Hans synsätt implicerar "att Schrödingerekvationen inte kan vara generellt giltig" (s. 51). Enskilda energitillstånd, energiförändringar och energitransporter följer inte samma lagbundenheter som energiutbyten, och de två fallen måste därför beskrivas matematiskt på olika sätt och visualiseras på olika sätt. Matematiskt beskrivs energi utan energiutbyte av Schrödingers vågekvation. Vad gäller visualisering av sådan energi tar LGJ upp tre fall: energitransport, subatomära stationära energitillstånd och spinn (kvantmekanisk egenrotation). Han säger ungefär som följer:

- Kvantmekanisk energitransport kan visualiseras på det sätt vi kan visualisera kontinuerlig utbredning av klassiska elektromagnetiska fält (kap. 7).
- Den stationära energin hos elektronerna i Bohrs atommodell kan visualiseras i analogi med visualisering av stående vågor av vibrationsenergi, vilka i sin tur kan visualiseras som moln (kap. 5,3).
- Spinn kan inte visualiseras "som egenrotation hos en kropp, utan som egenrotation hos något som mer liknar ett moln" (kap. 8, s. 63).

Hur ser då LGJ på de kvantiserade energiutbytena? Hur ska dessa visualiseras? Jag fattar honom som att han vill säga att energiutbyten alltid utgörs av odelbara "händelseatomer" (s. 14, 24), även om han endast exemplifierar termen med energiutbyte mellan materiella föremål och elektromagnetiska fält. Frågan blir då hur man kan visualisera hans händelseatomer. Här är han mindre utförlig. Jag presenterar nu min förståelse av hur han tänker sig att man ska visualisera att en energitransport övergår i ett energiutbyte.

Som LGJ påpekar, har vi inga problem med att visualisera förändringar som är absolut momentana, även om relativitetsteorin tycks förbjuda att

sådana förändringar finns i världen. Om vi föreställer oss en absolut stel kropp kan vi om denna säga så här: "i en stel kropp ändrar varje rumslig del av kroppen sin rörelse exakt samtidigt när den kolliderar med ett annat föremål. Dvs stöten fortplantar sig med oändlig hastighet genom en stel kropp" (s. 68). En energitransport av den energimängd som motsvarar en foton sker i form av en våg som följer Schrödingerekvationen, vilken tillåter kontinuerliga variabler. En sådan våg kan vara utsträckt i rummet på ett sätt som gör att den täcker flera fotondetektorer (se bild s. 49). Men den postulerade kvantiseringen av energiutbyten innebär att den våglänkande fotonen bara kan överföra sin energi till en av detektorerna i fråga. LGJ skriver: "Kvantisering av växelverkan innebär att vågen i varje ögonblick kan växelverka med endast ett annat föremål" (s. 48). Innan fotonvågen kan överföra sin energimängd till precis en detektor, måste fotonvågens rumsliga utsträckning krympa radikalt, och denna krympning måste vara momentan. Men, som nyss påpekats, kan vi visualisera sådana förändringar. Den momentana krympningen strider inte heller mot relativitetsteorin, eftersom, som LGJ påpekar, "[i]nga signaler skickas mellan objektets [fotonvågens] olika rumsliga delar" (s. 63).

Så långt kan jag hålla med LGJ om att här varken finns ett visualiseringsproblem eller ett relativitetsteoretiskt problem. Men jag tycker resonemanget kräver komplettering. Även om fotonvågen momentan kan bli nästan punktlokaliserad, kan inte den händelseatom som utgör själva energiutbytet vara momentan. Detta därför att utbytet är underlagt osäkerhetsrelationen (eller obestämdhetsrelationen; se nästnasta stycke) för energi och tid. Om ett energiutbyte innehåller energimängden ΔE , så gäller $\Delta E \Delta t \geq h/2\pi$, vilket innebär att Δt måste vara skilt från 0. Om hur uttrycket $\Delta E \Delta t$ ska visualiseras säger LGJ ingenting.

Filosofier påtalar ofta hur lätt människor blir förledda av vardags-språket till att omfatta filosofiskt konstiga åsikter. Högst sällan påtalas att vi också lätt kan bli förledda av vetenskapligt språkbruk. Men LGJ gör det – och tar upp två fall.

Av historiska skäl talar man i kvantmekaniken om *osäkerhetsrelationerna*. Termen "osäkerhet" ger i sammanhanget associationer till mätningar där man omöjligen kan få exakta värden på de två variablerna i en osäkerhetsrelation (energi och tid respektive rörelsemängd och plats). Men som LGJ påpekar, vore en mera adekvat term "obestämdhetsrelationerna". Kvantmekaniken postulerar en obestämdhet hos det som beskrivs vare sig man gör en mätning eller inte. Termen "osäkerhetsrelation" leder lätt tankarna fel.

Fundamentala i kvantmekanikens matematiska formalism är dess *differentialoperatorer* (kap. 10.8). Det är lätt för både lekmän och fysiker att få uppfattningen att dessa matematiska uttryck direkt måste referera till några slags föremål, egenskaper eller relationer i världen, men som LGJ gör klart förhåller det sig inte så. Uttrycken är förstås meningsfulla, men meningsfulla endast i en kontext där de omges av termer som kan ha referenter. Differentialoperatorerna betar sig analogt med de logiska konstanterna i satslogik (mitt exempel). De logiska konstanterna och differentialoperatorerna refererar i sig själva inte till någonting alls, men tillsammans med satsvariabler respektive fysikaliska funktionsvariabler fyller de en viktig logisk respektive matematisk-fysikalisk funktion.

Jag vill avsluta med några ord om de Broglies i år hundra år gamla hypotes att inte bara elektromagnetiska fält utan även materiella partiklar uppvisar en våg-partikeldualitet. Lite förvånansvärt för mig, presenterar LGJ åsikten som en självklar sanning för all materia. Först skriver han att dualiteten gäller "materiella föremål som elektroner, neutroner och protoner" (s. 33), och jag kände mig inte överraskad. Men redan på nästa sida skriver han utan några kvalifikationer att "[a]lla fysiska ting" (min kursivering) har både våg- och partikelegenskaper, och här blev jag förvånad. Är den generella hypotesen verkligen så oomstridd bland dagens fysiker? Eller kanske LGJ bara ska förstås som att han anser hypotesen vara en naturlig följd av hans syn på kvantmekaniken.

Skulle den generella hypotesen vara felaktig, ställer detta ändå inte till med några problem för min i övrigt positiva syn på LGJ:s bok. Jag anser nämligen att om man ska få en rimlig helhetsbild av vad dagens fysik och kemi säger oss, så måste man ha en övergripande icke-reduktionistisk och emergentistisk syn på vad dessa vetenskaper talar om, och acceptera att det kan finnas olika lagbundenheter på olika ontologiska nivåer. Anser man så, kan man acceptera att det finns en våg-partikeldualitet på subatomär nivå, och kanske till och med på atomär och molekylär nivå, men att den ändå inte återfinns hos vanliga makroskopiska ting.

Hur som helst, LGJ:s förståelse av kvantmekaniken är en alldeles för viktig typ av förståelse för att lämnas utanför den fysikfilosofiska debatten. Jag hoppas att hans korta, välskrivna och välstrukturerade bok kan trigga igång diskussioner om kvantmekaniken hos en ung generation av svenska fysiker och fysikfilosofier!

Ingvar Johansson