

Schrödingers katt

Sören Holst¹

1926 publicerade Erwin Schrödinger sin berömda ekvation för “materievågor”. Efter ett par decennier av förvirrande experimentresultat fick man nu äntligen ett verktyg för att förstå atomen och dess egenskaper. Schrödingers vågekvation blev snabbt accepterad bland fysiker.

Därmed bekräftades de Broglies djärva hypotes från ett par år tidigare: att materia i grunden måste beskrivas som vågor.

Men att påstå att all materia ytterst är vågor har sitt pris. En våg är i allmänhet utspridd över ett visst område i rummet; en partikel, däremot, har en bestämd position. Två vågor kan läggas samman och därmed bilda en ny våg – liksom två vågor på en vattenyta som när de möts samverkar och bildar ett nytt vågmönster. Men vad blir resultatet om man på motsvarande sätt försöker lägga samman två “partikel-tillstånd”, t.ex. två positioner, som “här” och “där”? Om vågbeskrivningen är riktig måste det vara möjligt.

Och i kvantfysiken är det möjligt: en kvantmekanisk partikel kan befinna sig i vad man kallar en *superposition* av att vara både “här” och “där”. Ur ett vågperspektiv är detta inte så konstigt: en och samma våg kan förstås ta sig uttryck på två ställen samtidigt. Vad som är konstigt, ur ett sådant perspektiv, är snarare att vågegenskaperna inte är mer påtagliga. Om nu allt i grunden är vågor – varför märker vi det inte?

Den nya fysikens innebörd debatterades livligt under 20- och 30-talen. I centrum för diskussionerna stod den danske fysikern Niels Bohr. Han betraktade världen som uppdelad i två: en klassisk värld och en kvantmekanisk. Schrödingers vågbeskrivning är enligt Bohr förbehållen den kvantmekaniska mikroskopiska världen. För att vi ska kunna få information om denna kvantmekaniska nivå av verkligheten måste vi använda oss av mätinstrument av något slag. Men denna mätutrustning beskrivs med nödvändighet av klassisk fysik – annars skulle den inte kunna leverera begriplig information till oss klassiska makroskopiska varelser. Vi är fast i vårt klassiska tänkande och kan aldrig göra oss en begriplig bild av den kvantmekaniska världen. Därför, menar Bohr, är alla frågor om vad som egentligen försiggår på kvantnivån meningslösa – vi kan aldrig få svar på dem.

Det var dock inte alla som anslöt sig till Bohrs synsätt. Knappt tio år efter att Schrödinger hade formulerat sin ekvation uttrycker han i en artikel² sitt missnöje med den förståelse av kvantfysiken som han ser växa fram. I ett kort stycke beskriver han det tankeexperiment som sedan dess har upprepats och varierats otaliga gånger, både i och utanför fysiksammanhang.

Schrödinger tänker sig att man placerar en katt i en låda med fullständigt isolerande väggar. Inne i

1 Texten publicerad under vinjetten Tankeexperiment i Svenska Fysikersamfundets tidskrift Fysikaktuellt (nr 2, 2010)

2 “The present situation in quantum mechanics”. Artikeln återgiven i Wheeler, Zurek (eds) *Quantum Theory and Measurement* (Princeton university press, 1983).

lådan finns även ett radioaktivt preparat som med femtio procents sannolikhet kommer att sönderfalla under den närmaste timmen, samt en detektor som kan registrera det eventuella sönderfallet. Om detektorn registrerar ett sönderfall utlöses en mekanism: en hammare lösgörs, faller ner och splittrar en behållare med dödligt gift. Efter en timme kommer katten med femtio procents sannolikhet att vara död.

Detta, närmare bestämt, är det klassiska sättet att beskriva det som sker i lådan. Kvantfysiken säger i själva verket någonting annat. Det radioaktiva preparatet, och dess sönderfall, måste nämligen beskrivas som en kvantmekanisk process. Det innebär att vi är förbjudna att påstå att sönderfallet verkligen har ägt rum eller inte så länge vi inte utför en mätning för att ta reda på vad som är fallet. Kvantfysiken – och Schrödingerekvationen – föreskriver i stället att den sönderfallande atomkärnan hamnar i en superposition av att ha sönderfallit och att inte ha gjort det.

I princip måste det vara möjligt att betrakta allt som är inneslutet i lådan – såväl radioaktivt preparat som hammare, giftbehållare och katt – som ett enda kvantmekaniskt system. Alltsammans kan beskrivas av en jättelik vågfunktion vars utveckling styrs av Schrödingerekvationen.

Så vad är det då som försiggår där inne i lådan fram till dess att den öppnas? Jo, de två delarna i atomkärnans superposition – sönderfallen respektive ännu ej sönderfallen kärna – kommer att var för sig utvecklas till motsvarande tillstånd hos katten – död katt respektive fortfarande levande katt. Efter en timme har katten hamnat i ett tillstånd som innebär att den till lika delar är död och levande. Superpositionstillståndet hos atomkärnan har utvecklats in i ett motsvarande superpositionstillstånd hos katten.

Denna makroskopiska superposition av död och levande katt hävs inte förrän vi utför en mätning på systemet, d.v.s. förrän vi öppnar lådan och ser efter om katten fortfarande lever. Då först “kollapsar” tillståndet, och med femtio procents sannolikhet hittar vi en levande katt, och med femtio procents sannolikhet hittar vi en som är död.

Låter det orimligt? Ja, det menade även Schrödinger.

Låt oss föra resonemanget ännu ett steg. I stället för att öppna lådan själva och fastställa kattens tillstånd, låter vi en laboratorieassistent sköta den saken. Hon väntar inne i det väl tillslutna rum där lådan med katten är placerad, och efter att en timme har förflutit lyfter hon på lådans lock. Hon noterar kattens tillstånd, och desarmerar avlivningsmekanismen. För oss utanför rummet borde rummet som helhet – inklusive både kattlåda och laboratorieassistent – i princip kunna betraktas som ett isolerat system, ett som utvecklar sig i enlighet med Schrödingerekvationen. Enligt kvantfysiken borde då även laboratorieassistenten försättas i en superposition i det ögonblick hon öppnar lådan. Superpositionstillståndet av död och levande katt kommer då att övergå i ett superpositionstillstånd av [död katt och laboratorieassistent som noterar att katten är död] samt [levande katt och laboratorieassistent som noterar att katten är levande]. Detta superpositionstillstånd kollapsar först när vår assistent meddelar oss resultatet av experimentet. Då först antar världen ett entydigt tillstånd, ett där sönderfallet antingen ägde rum eller inte gjorde det.

Men varför stanna här? Är det inte så att även vi *själva* måste hamna i ett superpositionstillstånd, ett där den ena delen innebär att assistenten meddelar oss att katten avled, och där den andra delen innebär att assistenten meddelar oss att katten fortfarande lever?

Vad tankeexperimentet belyser är att kvantfysiken inte klart anger någon gräns mellan kvantvärld och klassisk värld. Ändå förefaller denna uppdelning vara avgörande för teorins sätt att beskriva verkligheten. Alla tester av kvantfysiken förutsätter en uppdelning mellan å ena sidan ett kvantmekaniskt system, å den andra en klassisk mätutrustning. Utan en sådan uppdelning levererar kvantfysiken inga förutsägelser.

Detta kallas för mätproblemet. Än idag finns ingen allmänt accepterad lösning på det – det finns nästan lika många sätt att förhålla sig till mätproblemet som det finns fysiker. Men om en sak råder i varje fall enighet: även om den olycksaliga katten verkligen skulle befinna sig i en superposition av död och levande fram till dess att vi lyfter på lådans lock och tittar efter, så skulle detta inte ha några observerbara konsekvenser. Det viktigaste skälet till detta har att göra med något som kallas *dekoherens*.

Varje växelverkan mellan ett system och dess omgivning leder till att systemets kvantmekaniska tillstånd "sprids ut" – det *dekohererar*, som man säger. Det som sker är detsamma som när, i Schrödingers tankeexperiment, kvanttillståndet hos den sönderfallande atomkärnan fortplantas till att omfatta även det övriga innehållet i lådan. Efter att ett tillstånd i denna mening har spridits ut går det inte längre att fastställa de kvantmekaniska egenskaperna genom att bara göra mätningar på det ursprungliga systemet. Därför är det alltid viktigt vid kvantmekaniska experiment att det observerade systemet är ytterst väl isolerat från omgivningen. Men ju större ett system är, desto svårare är det att i praktiken åstadkomma och upprätthålla en sådan isolering. Något så stort som en katt kommer aldrig att uppvisa några kvantegenskaper.

Så även om Schrödingers katt synes leda till ett filosofiskt dilemma, är det ett dilemma utan några som helst observerbara följder.

När det gäller experimentella förutsägelser och praktiska tillämpningar är kvantfysiken en av våra mest framgångsrika teorier. Men teorin tycks ständigt svika våra förhoppningar om att nå kunskap om hur verkligheten egentligen – i grunden – är beskaffad.