Upptäck kvantteknologi (på 4 sidor)

Kvantvärlden – på skalan av atomer och nedåt – är paradoxal och bisarr. Partiklar verkar samtidigt vara både här och där eller mystiskt sammanflätade på avstånd. Kvantteknologi handlar om att utnyttja och manipulera dessa underliga kvantmekaniska fenomen för att skapa helt ny teknik med extraordinära möjligheter.

Från teori till revolution

På 1930-talet var den matematiska formuleringen av kvantmekaniken i stort sett komplett. Förståelsen av kvantegenskaper hos ljus och material ledde till att lasern och transistorn uppfanns – som ledde till informationsteknologin. Datorer och internet har drastiskt förändrat våra liv. Idag kallar vi detta den första kvantrevolutionen.

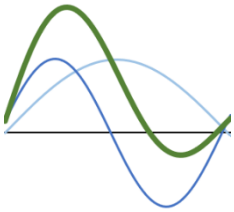
Det ansågs länge vara omöjligt att kontrollera kvantsystem som enstaka atomer, elektroner eller ljuspartiklar (fotoner). På 1980-talet började dock forskare utveckla metoder och utrustning för att mäta och kontrollera enskilda atomer, elektroner och fotoner. Förmågan att utnyttja egenskaperna hos individuella kvantsystem öppnar dörren till helt ny teknik – en andra kvantrevolution.

Kvantteknologins centrala fenomen

De extraordinära egenskaperna hos den framväxande kvantteknologin är alla baserade på kvantmekanikens icke-intuitiva fenomen. Några av de viktigaste är:

Superposition, interferens, och dekoherens

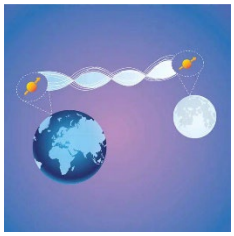
Om en elektron kunde åka skidor skulle det vara helt normalt för den att åka med skidorna på varsin sida om ett träd. I kvantmekanikens värld är det fullt möjligt för partiklar att vara på flera olika ställen samtidigt, eller att till exempel samtidigt befinna sig i tillstånd som har olika energi eller olika polarisering. Egentligen räknar man på sannolikheter för var en kvantpartikel är, eftersom man inte vet var den är utan mätning.



Sannolikheter för de olika tillstånden bildar **superpositioner** (jämför med överlagring av vågor) och möjliggör exempelvis den massiva parallella beräkningskraften i kvantdatorer. Effektiva beräkningar bygger då på algoritmer som fungerar som koreografi för att maximera konstruktiv och destruktiv **interferens** av de olika tillstånden (blå vågor för tillstånden och grön för superpositionen i figuren).

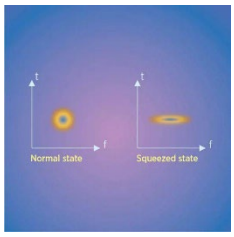
Dock kan små störningar göra att superpositionen minskar och slutligen kollapsar. Denna process kallas **dekoherens** och är en av de största utmaningarna inom kvantteknologin. Detta för att det finns en inneboende motsättning mellan behovet att kunna manipulera ett kvantsystem och att isolera det för att undvika dekoherens.

Sammanflätning (”entanglement”)



Superpositioner kan sträcka sig mellan flera partiklar, och en speciell typ kallas **sammanflätning**. Manipulation av en partikel påverkar dess sammanflätade partner omedelbart, även på långa avstånd. Experimentalisterna som visade detta fick Nobelpriset i fysik 2022.

Klämda tillstånd (”squeezed states”)



Inom kvantfysiken finns det en gräns för hur exakt du samtidigt kan känna till kopplade variabler, såsom frekvens och tid, för ett objekt. Osäkerheten fördelas ofta lika på de två kopplade variablerna. Men genom att manipulera objektets kvanttillstånd så att det hamnar i ett så kallat **klämt tillstånd** kan man få osäkerheten att främst påverka den ena variabeln. Då går den andra variabeln att mäta mer exakt.

Qubits (kvantbitar)

I en kvantdator finns informationen i **qubits** (quantum bits). Då dessa **sammanflätas** dubbleras antalet tillstånd som kvantdatorn kan hantera för varje extra **qubit**, till skillnad från en klassisk dator där man måste dubblera antalet bitar. Detta ger att i vissa fall förväntas kvantdatorer vara mycket mer effektiva än klassiska datorer.

Kvantteknologins fyra områden (pelare)

Kvantdatorer har potential att utföra beräkningar effektivare än en klassisk dator, inklusive att lösa svåra optimeringsproblem. En framtida stor (med miljoner qubits) kvantdator skulle också betydligt snabbare kunna knäcka krypteringskoder genom att klura ut vilka primtal som används. Kvantdatorer är också mycket bra på att söka i osorterade data; problemet är snarare att få in stora mängder data i en kvantdator.

Kvantsimuleringar av komplexa molekyler kan hjälpa oss att utveckla nya läkemedel, eller katalysatorer. Det kan också hjälpa oss att designa nya material. Tanken är att utnyttja ett kvantsystem (kvantdatorn) för att simulera (med kvantalgoritmer) ett annat kvantsystem (till exempel molekyler eller proteiner) och därmed snabba på och förbättra utvecklingen av bland annat läkemedel, batterier, och katalysatorer.

Kvantkommunikation använder sammanflätade tillstånd för att skicka meddelanden som inte kan avlyssnas. I det längre perspektivet diskuteras ett nytt internet byggt för kvantinformation. Redan på kortare sikt är tekniken intressant för säker delning av data inom till exempel hälso- och säkerhetssektorer.

Kvantsensorer kan möjliggöra betydligt mer exakta mätningar. Bättre atomklockor som används i GPS är ett exempel, sensorer för medicinsk diagnostik är ett annat. Generellt sett används koherens för mäta en fysisk kvantitet eller sammanflätning för att förbättra mätningar utöver vad som kan göras med klassiska sensorer.

Vad kan kvantteknologi användas till?

Det pågår mycket forskning och utveckling kring kvantteknologi. En stor fråga är: inom vilka områden ger den andra revolutionens kvantteknologi en fördel (”quantum supremacy” eller ”quantum advantage”) gentemot tidigare/existerande teknologier? Denna fördel bygger på de centrala fenomenen som förväntas ge mer effektiva (kvant)datorer och algoritmer samt känsligare sensorer. I dagsläget görs dock simuleringar på enkla system eftersom kvantdatorer än så länge är små (i antalet qubits) och lider av relativt snabb dekoherens vilket - förutom brus - skapar fel i beräkningarna.

Här följer några tillämpningar där kvantteknologi förmodas ge en fördel:

Mätning av syresättning i hjärta och hjärna

Kvantstrukturer som minskar ljusets hastighet till några tiotals kilometer per sekund kan användas för att möjliggöra optisk avbildning djupt inne i kroppen. Framför allt siktar man på att mäta syresättning i den främre hjärtväggen och i hjärnan, vilket skulle vara till stor hjälp för att snabbt diagnosticera stroke (på en akutmottagning).

Avbildning av levande biologiska processer

Kvantmikroskopi har potential för bättre prestanda än traditionella mikroskopitekniker, eftersom den kan uppnå högre rumslig upplösning, förbättrat bilddjup och större bandbredd. Med ett kvantmikroskop kan man utföra avbildning av biomarkörer i levande vävnad. Denna teknik kommer att möjliggöra avbildning djupare in i vävnader och därmed ge mer detaljerad information för att fylla viktiga kunskapsluckor.

Simulering av läkemedel och andra material

Det är svårt och tidskrävande att förutsäga reaktivitet och andra egenskaper hos läkemedelsmolekyler för att utforma nya molekyler och välja ut läkemedelskandidater. Här finns en chans för kvantdatorer att göra stor skillnad eftersom läkemedel kan ses som kvantsystem.

På liknande sätt skulle man kunna simulera gamla och nya material för katalysatorer, batterier och solceller. För att förstå hur de fungerar och för att ta fram bättre material.

Cybersäkerhet och kvantnyckeldistribution

De krypteringsalgoritmer som används idag förlitar sig på att det är mycket svårt att knäcka krypteringsnycklarna. En framtida kvantdator med rätt algoritm skulle kunna bryta krypteringen relativt enkelt. Ett problem är att överföra nyckeln utan att en obehörig får tag på den. I kvantkommunikation man lösa detta genom att överföra krypteringsnyckeln med kvantpartiklar, kvantnyckeldistribution (”Quantum Key Distribution” (QKD)). Det är omöjligt att mäta eller kopiera ett tillstånd hos en kvantpartikel utan att märkbart ändra det. Därför kan man alltid vara säker på att upptäcka avlyssning.

För er som är nyfikna på att veta mer

Det finns mycket information om kvantteknologi och kvantfysik. Bra ställen att börja på är UR Play (sök på kvant) och biblioteket (sök på t.ex. på quantum computing).

How to build a quantum computer? En översikt, 10 min läsning.

A quantum engineer's guide to superconducting qubits Vetenskaplig översiktsartikel.

FMW rapport med tema kvant Teknisk prognos 1 2023, 84 sidor

Några av de större företagen inom kvantteknologi har även fritt tillgängligt material om kvantdatorer och kvantalgoritmer, t.ex. Qiskit (IBM), Google, D-Wave, Pulser (Pasqal).

På youtube finns det en uppsjö av videor om kvantteknologi, sök på ”quantum technology”, ”qubit”, ”quantum sensor”, ”quantum communication”. Några exempel:

- WACQTs youtubekanal Här hittar du inspelningar av lektioner och andra föreläsningar av forskare i WACQT: Wallenberg Centre for Quantum Technology.
- Fascinerande kvantforskning och skapandet av en svensk kvantdator (15 min) Wallenbergstiftelserna ger en översikt av WACQT:
- The Map of Quantum Computing – Quantum Computing Explained (33 min) ”Domain of Science”-kanalen ger en översikt av kvantdatorer och qubits.
- Quantum Cryptography in 6 Minutes.

För er som vill studera kvantteknologi

På de flesta naturvetenskapliga universitetsutbildningar ges kurser i grunderna, såsom kvantfysik och linjär algebra. Dessutom bra att kunna programmera i Python. I Sverige ges kurser och masterprogram om kvantteknologi.

För er som vill jobba med kvantteknologi

Många företag börjar skapa egna avdelningar för just kvantteknologi. Förutom ovan kurser, är det intressant med personer som kan formulera vilka problem som är intressanta att lösa med kvantteknologi, t.ex. om man är biolog, kemist, läkare, ekonom, logistiker, utvecklare av nya material, etc. Dessutom bygger mycket av hårdvaran i kvantteknologi på mikroelektronik, fotonik, optoelektronik och olika material.

För er som vill forska kring kvantteknologi

I Sverige pågår forskning inom kvantteknologi. Särskilt WACQT forskar inom alla fyra pelarna samt på möjliggörande tekniker. Du hittar oss på Chalmers tekniska högskola, Göteborgs universitet, Lunds universitet, Linköpings Universitet, Stockholms universitet samt Kungliga tekniska högskolan.

Det finns många vägar till den andra kvantrevolutionen!