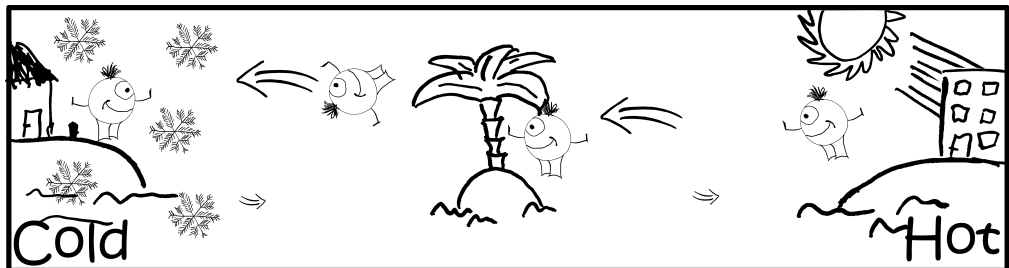


## Populärvetenskaplig sammanfattning på svenska

Till skillnad från vad lärarna brukade säga har vi nästan alltid en miniräknare med oss. Med en datorkraft som är många gånger större än den som användes vid månlandningen räcker våra mobiltelefoner mer än väl till för att dubbel- och trippelkolla de beräkningar vi gör i huvudet. Denna prestanda beror till stor del på vår förmåga att tillverka allt mindre elektriska kretsar och komponenter. Vi håller på att nå längdskalor där viktiga delar av dessa komponenter består av endast några få atomer. På dessa längdskalor är den klassiska bilden av en elektrisk ström inte längre nödvändigtvis en fullständig beskrivning av vad som händer. Vi måste ta hänsyn till kvantmekaniska effekter för att till fullo förstå processerna. Kvantmekanik är den teori som används för att beskriva den märkliga värld som enskilda elektroner och atomer lever i. Naturligtvis kan detta ses från det omvända perspektivet: Möjligheten att skapa och kontrollera små system gör att vi kan leta efter nya och intressanta kvantmekaniska effekter som vi annars inte skulle se, och kanske använda dessa effekter för att förbättra eller uppfinna nya komponenter. I den här artikeln undersöker vi teoretiskt två exempel på vad som kan hända när systemen blir små i alla tre eller bara en rumslig dimension.

För att göra denna sammanfattning lite mer underhållande berättar vi en historia om elektroner och hur de färdas genom världen. Elektroner har förvånansvärt många egenskaper gemensamt med oss människor. Till exempel har de ett starkt behov av personligt utrymme. Eftersom de är negativt laddade tycker de inte om att vara nära varandra. Detta kallas för *Coulombrepulsion*. När elektronerna åker på semester till en fin liten tropisk ö är det bara för den första elektronen att hoppa på. Den andra elektronen behöver dock en hel del övertalning för att dela utrymmet med den elektron som redan är där. Vi kallar dessa små öar för *kvantprickar*. De större landmassorna där elektronerna tillbringar sin icke-semesterid är de *elektriska kontakterna*, och ett otroligt stort antal elektroner lever på dessa kontakter. När två av dessa stora landmassor är nära ön, hoppar ibland några elektroner till ön, detta är den berömda *tunneeffekten*. Ibland hoppar de också till andra sidan, vilket kan ses i



Figur A: Elektronerna studsar mellan de kalla (vänster) och varma (höger) landmassorna och ön i mitten.

Fig. A. Om tillräckligt många elektroner hoppar i en riktning uppstår en ström som vi kan mäta. Strömmen kan bero på många saker, t.ex. hur långt ön ligger från fastlandet, dvs. hur lätt det är för elektronerna att hoppa. Detta kallas för *tunnelkoppling*. Andra faktorer är öns höjd, energin i den s.k. *kvantpricknivån*, och även antalet elektroner på fastlandet, den *kemiska potentialen* i kontakten. Om det finns många fler elektroner på en av de stora landmassorna är det mer sannolikt att elektronerna på ön hoppar till den mindre befolkade sidan. Skillnaden i befolkning mellan de stora landmassorna kallas *potentialskillnad* eller *spänning*.

Det finns många varianter av ovanstående bild man kan fundera på. Vad händer om vi lägger två öar mellan landmassorna? Detta kallas för en *dubbel kvantprick*. Hur reagerar detta arrangemang om vi ändrar avståndet till fastlandet eller höjden på öarna något? Detta motsvarar en förändring av tunnelkopplingarna eller punktens nivå. Om vi sitter på fastlandet och räknar hur många elektroner som kommer från ön, kan vi då ta reda på något om en tredje ö som ligger i närheten? Om vi till exempel tar reda på om det finns elektroner på den tredje ön kallas detta för *laddningsavkänning*. Detta är ämnet för artikeln I, där vi undersöker en parallell dubbel kvantprick och möjliga tillämpningar som en laddningssensor.

Hittills har vi inte brytt oss så mycket om vädret. Vilken väg kommer elektronerna att ta om det är mycket varmt på den ena landmassan och mycket kallt på den andra, som i Fig. A? Om vi kan övertyga elektronerna om att hoppa till sidan med fler elektroner har vi använt *värmen* från den varma sidan för att utföra *elektriskt arbete*. Detta är konceptet för en *värmemotor*. Tänk om vi kunde få ön och fastlandet tillräckligt nära varandra så att två elektroner kunde ropa åt varandra och samordna sina hopp, eller så kunde en av dem hoppa två gånger på mycket kort tid? De processer där två koordinerade hopp äger rum kallas för *cotunnelling*-händelser. Om man tillåter dessa avtal mellan elektroner ändras inte bara det genomsnittliga antalet hoppande elektroner, *strömmen*, utan också antalet hoppande elektroner, som fluktuerar runt det genomsnittliga antalet hoppande elektroner. Detta kallas *brus*. Det påverkar också värmemotorns *verkningsgrad*. I artikel II undersöker vi dessa effekter och överväger också en avvägning mellan strömmen, bruset och effektiviteten i de så kallade *termodynamiska obestämbarsrelationsrelationerna*.

Alla elektroner håller sig naturligtvis inte hela tiden i närheten av denna lilla ö i havet. En del av dem har en fast arbetsplats och måste pendla längs en kustväg, med havet på ena sidan och ett oframkomligt landskap på den andra, som visas i Fig. B. Även på motorvägen gäller särskilda trafikregler: Endast blå bilar får köra i ena riktningen och endast röda bilar i den andra. Denna regel kallas *spinn-rörelsemängd-låsning* och de länder där detta sker kallas *topologiska isolatorer*. I dessa mycket speciella länder är elektronerna också mycket miljövänliga och måste bilda bilpooler. De har också roliga bilar. Beroende på vilka säten i bilen som är upptagna är bilens färg antingen röd eller blå. Denna egenskap kallas *spinn projektion* och bestämmer i vilken riktning elektronerna tillåts röra sig. När bilen stöter på ett farthinder, som kallas *magnetiska orenheter*, kastas elektronerna ibland upp från sina platser. Om de



**Figur B:** Illustration av kustmotorvägen med de märkliga trafikreglerna: röda bilar får bara köra till höger, blå bilar till vänster i motsatt riktning. Farthindren visas i orange.

lägger sig på olika ställen efter denna *spridningshändelse* kan bilen ändra färg. Om de kör på ett farthinder på motorvägen och bilen ändrar färg, måste de naturligtvis vända. Detta kan göra trafiken ganska utmanande. När en bil kör in i ena änden av kustmotorvägen kallas sannolikheten för att den ska ta sig till andra sidan för *transmission*. I artikel III tittar vi på hur farthinder påverkar trafiken och hur troligt det är att elektroner kommer dit de vill. Och eftersom det inte är konstigt nog får vi också farthindren att rotera.

Med det här arbetet hoppas vi kunna bidra till förståelsen av elektronernas resvanor så att de kan användas i den märkliga och underbara kvantvärld som vi och elektronerna lever i. Elektronernas semester- och samåkningsvanor kan komma att användas i många tekniska tillämpningar i framtiden. Från att använda kvanteffekter för att göra befintlig elektronik mer effektiv, till att mäta saker som vi inte kunde mäta tidigare, eller till och med för att utveckla helt nya typer av datorer - mycket verkar möjligt.