

Populärvetenskaplig sammanfattning

Denna avhandling behandlar hur vi med hjälp av nanoteknik kan direkomvandla värmeenergi till elektrisk energi. Mer specifikt hur detta kan göras genom att använda sig av komponenter som baseras på kvantprickar. En kvantprick, även kallad en artificiell atom, är en struktur eller materialbit som är så liten att elektroner som befinner sig inuti kvantpricken inte kan röra sig fritt i någon riktning. När elektroner stängs inne i så små strukturer (en typisk storlek är några tusen atomer) blir deras energi begränsad till vissa kvantiserade energinivåer, precis som för elektroner som är bundna till den positivt laddade kärnan i atomer. Därav namnet artificiella atomer. Det är denna energistruktur som gör kvantprickar intressanta när det kommer till att studera energiomvandling på nanoskalan.

Det absolut vanligaste sättet att omvandla värmeenergi till elektrisk energi är att använda värmen till att värma upp en vätska eller gas som i sin tur driver en turbin kopplad till en generator. Det är t.ex. så vi tar till vara på värmeenergin som frisläpps när vi eldar kol och gas i fossila kraftverk eller klyver atomer i kärnkraftverk. Detta tillvägagångssätt lämpar sig för storskaliga kraftverk men är inte kompatibelt med mikroskopiska och nanoskopiska komponenter. Därför studeras här istället två typer av direkomvandlande komponenter som båda baseras på kvantprickar. Syftet med forskningen som avhandlingen bygger på är främst att studera fundamentala aspekter av energiomvandling på dessa längdskalor, inte att designa kommersiellt gångbara komponenter.

Den första komponenttyp som studeras är en så kallad termoelektrisk generator i vilken en temperaturskillnad över ett material inducerar en elektrisk ström. Detta kräver att elektroner med olika energier transporteras olika bra i materialet, d.v.s. att materialet fungerar som ett energifilter. Här är kvantprickar intressanta då elektroner som transporteras genom dem endast kan ha vissa kvantiserade energier, vilket är väldigt fördelaktigt för en termoelektrisk komponent. Det har förutspåtts att en termoelektrisk generator baserad på en enda kvantprick kan ha en väldigt hög verkningsgrad, och i extrema fall till och med nå den absolut högsta verkningsgrad som tillåts enligt termodynamikens lagar. Denna förutsägelse testas i en studie som är inkluderad i avhandlingen. I den lyckades vi med

avancerad teori och experiment utförda nära den absoluta nollpunkten ($-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$) verifiera att sådana komponenter faktiskt kan närma sig de fundamentala gränserna för hur effektiv energiomvandling kan vara. Samma komponent analyserades i mer detalj i en annan studie där det undersöktes vilka arbetsförhållande som krävs för att maximera komponentens elektriska uteffekt samt verkningsgrad. Resultatet av studien kan ses som tydliga riktlinjer för hur prestandan hos liknande komponenter enkelt kan optimeras.

Den andra typen av komponent som analyserats består av två sammankopplade kvantprickar där elektronerna kan hoppa mellan dem via så kallad tunnling. Speciellt för detta system är att elektronerna kan befinna sig i ett visst sammanflätat kvanttillstånd. Genom att ändra tunnelkopplingen mellan kvantprickarna går det att ändra energin hos detta tillstånd. Denna princip används för att föreslå ett experiment där en dubbekvantprick med två elektroner används för att utvinna värmeenergi från omgivningen. I förslaget börjar elektronerna i ett sammanflätat tillstånd och kopplingen mellan kvantprickarna är avstängd. I nästa steg ökas tunnelkopplingen snabbt till ett förutbestämt värde och elektronernas energiminskning tolkas som utvunnet arbete. Efter ett tag kommer värmeenergi från omgivningen att ha absorberats vilket gör att elektronerna övergått till andra energitillstånd. Till slut stängs tunnelkopplingen av igen. Efteråt befinner sig elektronerna i ett tillstånd som är nästan identiskt med det tillstånd de började i, fast utan sammanflätning. Detta är alltså ett förslag på hur vi med hjälp av kvantprickar kan använda kvantmekanisk sammanflätning för att utvinna värmeenergi. Analysen som utförts är helt teoretiskt, men med den teknik vi har idag kan det vara fullt möjligt att utföra det föreslagna experimentet inom en snart framtid.