



Nobelpriset i fysik 2016. Foto: Wikimedia Commons.

Topologiska materiens märkliga landskap

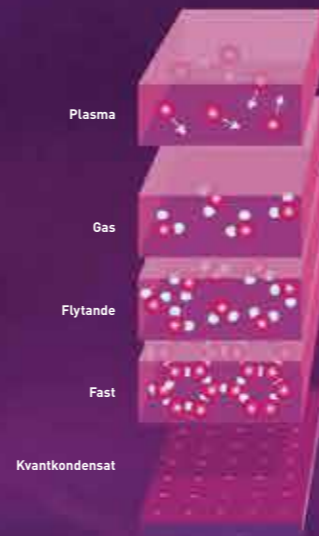
Årets Nobelpristagare öppnade portar till en okänd värld av materia som försätts i märkliga tillstånd. Deras pionjärarbeten har lett till att jakten på nya exotiska materietillstånd nu pågår för fullt. Många hoppas på framtida tillämpningar inom materialvetenskap och elektronik.

David Thouless, Duncan Haldane och Michael Kosterlitz har med avancerade matematiska metoder gett förklaringar till flera märkliga fenomen hos ovanliga materietillstånd (eller materiefaser) som till exempel supraledare, supravätskor eller tunna magnetiska filmer. Kosterlitz och Thouless har studerat fenomen som uppkommer i en platt värld – på ytor eller inuti extremt tunna skikt som kan betraktas som tvådimensionella jämfört med de tre dimensioner (längd, bredd och höjd) som verkligheten oftast beskrivs med. Haldane har även studerat materia som format trådar så tunna att de kan betraktas som endimensionella.

Den fysik som utspelar sig i sådana lågdimensionella material skiljer sig från den vi känner igen från vår vardag. Även mycket tunna material består av miljardtals atomer, och fastän varje enskilda atoms beteende är känt in i minsta detalj, så uppstår helt nya kollektiva fenomen när atomerna växelverkar med varandra.

Avgörande för de tre pristagarnas upptäckter var insikten att topologiska begrepp behövs för att beskriva nya kollektiva beteenden hos materialen – nya materiefaser och fasövergångar mellan dem. Topologi är en gren av matematiken som de använde för att beskriva egenskaper hos materialet som helhet och som inte ändras annat än stegvis vid en fasövergång. Med den moderna topologin som verktyg kunde årets pristagare presentera överraskande resultat.

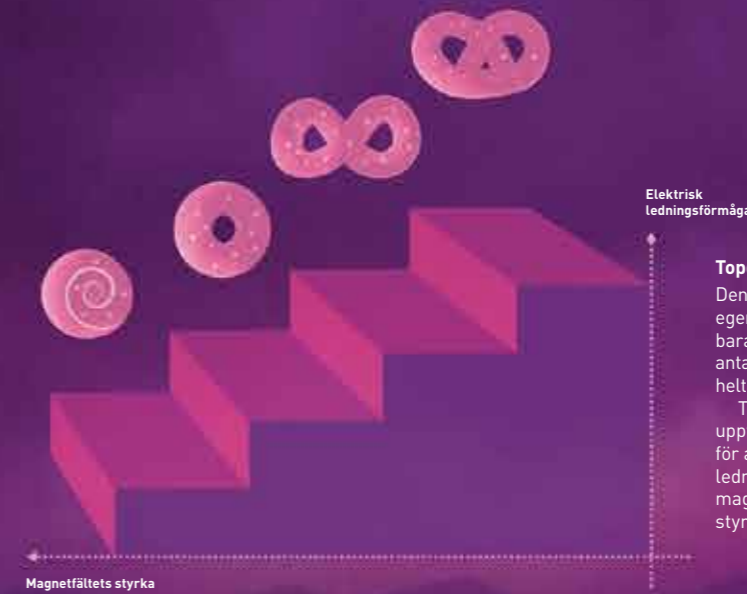
Nu talas det bland annat om tredimensionella topologiska isolatorer, topologiska supraledare och topologiska halvmetaller. Detta är ett område som under det senaste decenniet utgjort frontlinjeforskning inte minst på grund av förhoppningen om att topologiska material ska kunna användas i nya generationer av elektronik eller förverkliga drömmen om kvantdatorer.



Materiefaser och fasövergångar

De vanligaste materiefaserna i vår vardag är fast, flytande och gas. När temperaturen ändras övergår materiefaserna i varandra. En fasövergång sker till exempel när is, som består av välordnade kristaller, värms upp och smälter till vatten, en mer kaosartad materiefas.

I extrem kyla i närheten av den absoluta nollpunkten (-273 grader Celsius) antar materien märkliga kvantfaser och betar sig på oväntade sätt. Kikar man in i materiens mindre kända platta världar dyker det upp ännu mer exotiska materiefaser som nu utforskas.



Topologi

Denna gren av matematiken intresserar sig för egenskaper som beskriver hela system och som bara förändras i heltaliga steg, som exempelvis antalet hål i bakverken på bilden som alltid är ett heltal, 1, 2, 3... Ett halvt hål finns inte.

Topologin blev nyckeln till Nobelpristagarnas upptäckter. David Thouless använde topologi för att förklara varför den elektriska ledningsförmågan inuti tunna skikt i starka magnetfält ökar stegvis när magnetfältets styrka minskar.

David J. Thouless
Född 1934 i Bearsden, Storbritannien. Emeritus Professor vid University of Washington, Seattle, WA, USA.

F. Duncan M. Haldane
Född 1951 i London, Storbritannien. Eugene Higgins Professor of Physics vid Princeton University, NJ, USA.

J. Michael Kosterlitz
Född 1943 i Aberdeen, Storbritannien. Harrison E. Farnsworth Professor of Physics vid Brown University, Providence, RI, USA.



Supraledare och supravätskor

Märkliga saker uppenbarar sig i kylan. Till exempel upphör plötsligt det motstånd som annars möter allt som rör sig. Så blir det när elektrisk ström flyter igenom ledningarna utan motstånd i en supraledare, eller när en virvel i en supravätska snurrar för evigt utan att sakta ner.

Topologisk fasövergång

Länge trodde forskarna att fasövergångar var omöjliga i den tvådimensionella platta världen. Men i början av 1970-talet utmanade David Thouless och Michael Kosterlitz den rådande teorin (den förste av nyfikenhet, den andre av okunskap, enligt egen utsaga) med att skapa en modell för en topologisk fasövergång.

Huvudrollen i den topologiska fasövergången spelas av små virvlar som vid låga temperaturer bildar sammanbundna virvelpar (bilden till vänster). När temperaturen höjs inträffar fasövergången: virvlarna skiljs plötsligt från varandra och ger sig av i materialet på egen hand (bilden till höger).



Framtida material

När Duncan Haldane studerade exotiska materiefaser upptäckte han bland annat att magnetiska atomkedjor som förekommer i vissa material uppvisar topologiska egenskaper. Från början trodde ingen på Haldanes resonemang om atomkedjorna. Men det visade sig att han hade upptäckt ett första exempel på en ny typ av topologiska material, vilka nu studeras intensivt av fysikerna. Viktiga exempel på sådana material är topologiska isolatorer som trots att de inte leder elektrisk ström inuti materialet ändå leder ström på ytan.



Foto: porträtt av David J. Thouless © Miriam Howard Photography; porträtt av F. Duncan M. Haldane © Dennis J. Appelhahn; porträtt av J. Michael Kosterlitz © Mikko Räsänen; © Aalto University