LUND UNIVERSITY

# Aktiva kolloider bygger programmerbara material

Stenhammar, Joakim

*Published in:*
Kemivärlden, Biotech, Kemisk tidskrift

2016

*Document Version:*
Förlagets slutgiltiga version

Link to publication

*Citation for published version (APA):*
Stenhammar, J. (2016). Aktiva kolloider bygger programmerbara material. *Kemivärlden, Biotech, Kemisk tidskrift*, (3), 18-19.

*Total number of authors:*
1

**General rights**
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: https://creativecommons.org/licenses/

**Take down policy**
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Forskningen på aktiva kolloider startade egentligen med en modell för aktiva partiklar i en helt annan storleksskala – nämligen flocklevande fåglar.

# Aktiva kolloider bygger programmerbara material

[Av Joakim Stenhammar, Fysikalisk kemi, Kemicentrum, Lunds universitet]

## En ”kolloidal pump”, simulerad i datorn, visar hur aktivitet kan användas för att skapa nya designprinciper för kolloidala material genom att vi inte längre är bundna av termodynamikens lagar.

Ljus av en viss våglängd kan sätta aktiva material, kolloider, i rörelse och styra dem, något som i framtiden kan få betydelse inom så vitt skilda områden som miljöskydd, medicin och utvecklingen av nya "programmerbara" material.

Kolloidala partiklar – partiklar i storleksskalan mellan 1 nm och 1 µm – är oerhört viktiga byggstenar för bland annat läkemedels-, livsmedels- och färgindustrin, men även från ett grundforskningsperspektiv är kolloidkemi ett forskningsfält med stor betydelse och långa traditioner. De senaste åren har intresset för så kallade ”aktiva kolloider”, som har förmågan att omvandla kemisk energi till rörelseenergi, fullständigt exploderat.

**Forskningen på aktiva** kolloider startade egentligen med en modell för aktiva partiklar i en helt annan storleksskala – nämligen flocklevande fåglar. Den ungerska fysikern Tamás Vicsek konstruerade 1995 en matematisk modell där varje ”fågel” rör sig med konstant hastighet i en riktning som bestäms av medelvärdet av rörelseriktningarna hos dess närmsta grannar. Vid tillräckligt hög täthet observerade han att de artificiella fåglarna spontant bildade något som väldigt mycket liknade en verklig fågelflock.

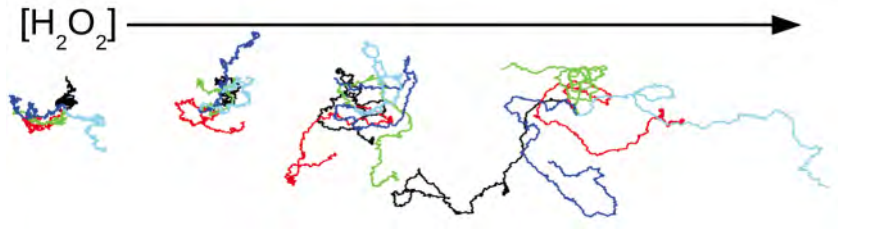
Denna studie skulle senare visa sig utgöra en viktig grund för det forskningsfält som kommit att kallas aktiva material (”active matter”), där ”material” ska förstås i ordets vidast möjliga bemärkelse: forskningen omfattar studier av allt från kollektiva fenomen i fiskstim, drönarrobotar och vibrerade riskorn till dynamiska mönster i en rockkonsertpublik.

**På den kolloidala** längdskalan startade forskningen på aktiva material med en brittisk studie från 2007, där man tillverkade en kolloidal ”mikrosimmare” genom att använda polystyrenpartiklar vars ena halva man klätt med ett lager platina, för att skapa asymmetriska så kallade Januspartiklar. När dessa partiklar suspenderas i en utspädd väteperoxidlösning så katalyseras en reduktion av väteperoxid till vatten och syrgas, men endast vid den platinaklädda ytan.

Denna asymmetriska ytreaktion leder till komplexa flöden av reaktanter ($H_2O_2$), produkter ($O_2$ och $H_2O$) och joner ($HO_2^-$ och

$H_3O^+$) längs med ytan, vilket får partikeln att ”simma” genom lösningen i riktning mot polystyrensidan med en hastighet som ökar med $H_2O_2$-koncentrationen (se Fig. 1). Eftersom partiklarnas orientering, och därmed simriktning, fluktuerar på grund av termisk rörelse ser det ut som att partiklarna uppvisar slumpmässig Brownsk rörelse, men med en diffusionskoefficient som ökar med peroxidkoncentrationen.

För kolloider i jämvikt är diffusionskoefficienten proportionell mot temperaturen, och $H_2O_2$-koncentrationen fungerar därför som ett slags ”effektiv temperatur”.




**Figur 1. Partikelbanor för fem stycken aktiva Januspartiklar vid ökande $H_2O_2$-koncentration. Bilden reproducerad från J. Howse et al, Phys. Rev. Lett. 99, 048102 (2007) med tillstånd från American Physical Society.**

**<u>För aktiva partiklar</u>** som simmar med en hastighet som varierar mellan olika delar av suspensionen gäller det enkla sambandet $\rho \propto 1/v$ mellan den lokala partikelkoncentrationen $\rho$ och den lokala hastigheten v. Detta betyder att aktiva partiklar tenderar att samlas där de rör sig långsamt, vilket är intuitivt även från ett vardagligt perspektiv: tänk på en trafikstockning vid ett vägarbete med nedsatt hastighet, eller lördagsshoppare som flockas framför ett särskilt intressant skyltfönster.

Men denna intuitiva bild är enbart korrekt eftersom bilar och människor båda befinner sig långt från termodynamisk jämvikt – i de ”passiva” kolloidernas värld bestäms istället den lokala partikelkoncentrationen av den så kallade Boltzmannfördelningen $\rho \propto e^{-U/k_BT}$, där $U$ är partikelns energi, $T$ temperaturen och $k_B$ Boltzmanns konstant.

**<u>Denna viktiga skillnad</u>** mellan aktiva och passiva kolloider kan i själva verket användas som en kraftfull strategi för kolloidal självassociation.

Det jag och mina medarbetare studerat är en datorsimulerad modell för aktiva kolloider som aktiveras av ljus. Sådana partiklar har både tillverkats syntetiskt och designats gentekniskt (*E. coli*-bakterier som kräver ljus för att simma).

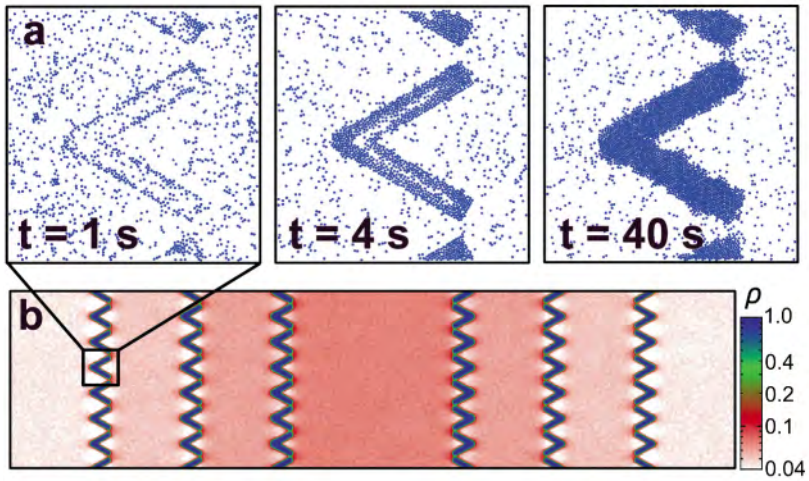
Med hjälp av en ljuskälla som belyser en suspension med ljusaktiverade partiklar genom en mönstrad mask kan man relativt enkelt skapa ”ljusmönster”, där olika regioner av suspensionen belyses med olika intensitet. Partiklarna kommer då att ackumuleras i de ”skuggade” delarna där de rör sig långsamt, vilket skapar en enkel princip för att bilda självassocierade kolloidala strukturer. Sådana material är dessutom ”programmerbara”, eftersom en struktur enkelt kan brytas ned och byggas om till något annat enbart genom att man ändrar mönstret i masken framför ljuskällan.

**<u>I vårt exempel har</u>** vi med hjälp av datorsimuleringar visat hur man kan bygga en ”kolloidal pump” (se Fig. 2) genom att bilda rader av V-formade hinder. De simmande partiklarna har lättare att passera från vänster till höger genom mellanrummen mellan V:na (Fig. 2a), medan partiklar som kommer från högersidan istället ”fångas in” i botten av V:et.

Det intressanta med denna ”pump” är att vi visar hur man, med hjälp av ett asymmetriskt ljusmönster, kan omvandla slumpmässig rörelse till riktad rörelse (pumpning i en viss riktning). För passiva kolloider, där Brownsk rörelse drivs av temperaturen, skulle detta bryta mot termodynamikens andra huvudsats eftersom vi skapar ordnad rörelse från kaotisk rörelse utan att utföra något arbete på systemet, och således minskar systemets entropi. Skillnaden här ligger i att de aktiva partiklarna på mikroskopisk nivå omvandlar bränsle till rörelse, och på så sätt driver systemet ur jämvikt.

Vår ”kolloidala pump” är därför en principiell demonstration av hur aktivitet kan användas för att skapa nya designprinciper för kolloidala material genom att vi inte längre är bundna av termodynamikens lagar.

**<u>Än så länge är forskningen</u>** kring aktiva material nyfikenhetsdriven, men på 10-20 års sikt finns det stora förhoppningar om att den kan leda till viktiga tillämpningar. Några möjliga sådana skulle vara att använda aktiva kolloider inom medicinen som ”mikrorobotar” för att leverera läkemedelssubstanser till specifika platser i kroppen, eller inom miljövård för att söka upp och bryta ned främmande substanser såsom oljespill i haven. Men än så länge kan vi bara spekulera i vad denna nya, spännande klass av material kommer kunna användas till i framtiden. KB




**Figur 2. En självassocierad ”kolloidal pump”. a) Inzoomad bild av ett självassocierat V-format ”hinder” uppbyggt av ljusaktiverade kolloider. De tre panelerna visar tre olika tider efter det att ljuskällan slagits på i regionerna utanför hindret. b) Utzoomad bild på hela det simulerade systemet. Färgen (se skalan t.h.) anger den lokala partikelkoncentrationen ρ.”Pumpningseffekten” syns genom att partikelkoncentrationen är högre i mitten (rött) än på sidorna (ljust rosa). Bilden reproducerad från J. Stenhammar et al., Sci. Adv. 2, e1501850 (2016) med tillstånd från AAAS.**


*<u>Referenser:</u>*

*J. Stenhammar et al., Light-induced self-assembly of active rectification devices, Sci. Adv. 2, e1501850 (2016)*

*J. Howse et al., Phys. Rev. Lett. 99, 048102 (2007)*


*<u>Läs mer:</u>*

*The physics of life: From flocking birds to swarming molecules, physicists are seeking to understand 'active matter' — and looking for a fundamental theory of the living world. http://www.nature.com/news/the-physics-of-life-1.19105*