

↓ GIFTIG DELIKATESS

Därför är saffran dyrt och dödligt

Lång väg bort från djurförsök i forskning



↓ NOBELPRISET
Expressväg till nya molekyler

↓ SPEGELHUMOR
Så blev Samuel L. Jackson ett skämt



ALLKEMI



Karin Öberg är professor på Harvard i USA.

Hon studerar hur ett dammkorn kan bli en hel planet

TIDNINGEN FÖR BLIVANDE KEMISTER

Rymdens kemi

ALLKEMI | #1 - 2022

Nobelpriset visar hur dagens landvinningar kan lösa morgondagens problem.

Innovativ kemi gör skillnad

När forskarna Benjamin List och David MacMillan fick Nobelpriset i kemi 2021 gick det, med Nobelprismått mätt, ganska kort tid mellan upptäckt och prisutdelning.

Men med de nya metoderna har det gått ännu snabbare.

List och MacMillan publicerade sina artiklar om asymmetrisk organokatalys år 2000. Numera används organiska katalysatorer för att driva mängder av olika kemiska reaktioner.

Så kan nya upptäckter ibland göra att utvecklingen tar oväntade språng. Asymmetrisk organokatalys var en radikal innovation som gav forskare och industri helt nya verktyg för att tillverka de molekyler vi behöver. Men ofta sker förstås utvecklingen mer stegvis – det som med finare ord kallas inkrementell innovation.

På sidan 12 i det här numret av Allkemi kan du läsa om Benjamin List och David MacMillan och om upptäckten som gav dem Nobelpriset. På sidan 5 möter du Elin Malmström. Hon arbetar som forskningsingenjör på Cytiva – vars produkter bygger på en upptäckt från 1950-talet som först var en radikal innovation och som sedan dess utvecklats stegvis. Och Stefan Lundmark, som intervjuas på sidan 16, har ägnat hela sitt forskarliv åt att utveckla hållbara kemikalier.

Den som utbildar sig i kemi kan vara med och skapa nya läkemedel, energisnåla processer eller cirkulära lösningar. Det kan handla om att åstadkomma radikala förändringar eller stegvis förbättringar – och båda är lika viktiga.

Trevlig läsning!

Ulla Nyman

Ulla Nyman

IKEM – Innovations- och kemiindustrierna



ALLKEMI #1—2022

Allkemi ges ut av IKEM – Innovations- och kemiindustrierna och bygger huvudsakligen på artiklar från Kemisk Tidskrift.

Upplaga: 20 000

VILL DU PRENUMERERA?

Som elev eller lärare kan du beställa en gratisprenumeration på: www.allkemi.nu

FRÅGOR OM DIN PRENUMERATION?

Industrilitteratur, 0150–133 30
susanne@lamanica.se

PRODUKTION

Vetenskapsmedia i Sverige AB
Redaktör: Anders Svensson
anders.svensson@vetenskapsmedia.se
Grafisk form: Anders Svensson
Korrektur: Maria Arnstad

SKRIBENTER

Marie Alpman, Ulf Ellervik, Siv Engelmark, Erik Lewin, Olle Matsson, Ulla Nyman, Anders Svensson, Per Westergård.

POSTADRESS

IKEM – Innovations- och kemiindustrierna
Box 55915, 102 16 Stockholm

TRYCK

Pipeline Nordic, 2022

OMSLAG

M. Weiss/Center for astrophysics/
Harvard & Smithsonian, Martha Stewart,
Istockphoto

»Kemister kallas de,

som förstå att utreda vad hvarje sak består utaf, och huru man af beståndsdelarne må kunna sammansätta nya ämnen. Kunskapen härom kallas Kemi. Den störste kemisten var vår landsman Jacob Berzelius, som föddes 1779 i Wäfwersunda i Östergötland och dog i Stockholm 1848.«

Ur N.J. Berlin, »Läsebok i Naturläran för Sweriges allmoge«, 1852.

I detta nummer av Allkemi:

4.

I korthet

→ Molekylen som hindrar coronavirus från att föröka sig

5.

Kemikarriär

→ Elin Malmström om arbetet som forskningsingenjör.

Elin Malmström är forskningsingenjör på Cytiva.

8.

Hon utforskar rymdens kemi

→ Karin Öberg söker efter svaret på hur ett dammkorn kan bli en ny planet.

Många internationella standarder kräver att metoder testas på djur - trots att andra alternativ finns.



10.

Legeringar med unika egenskaper

→ Kombinationer av minst fem grundämnen ger nya möjligheter.

14.

Djurförsök fortsätter trots nya metoder

→ Trög förändring av bestämmelser gör skiftet långsammare.

12.

Kraftfullt verktyg leder till Nobelpris

→ 2021 års pris går till expressmetod för att tillverka molekyler.

18.

Memer som får en professor att skratta

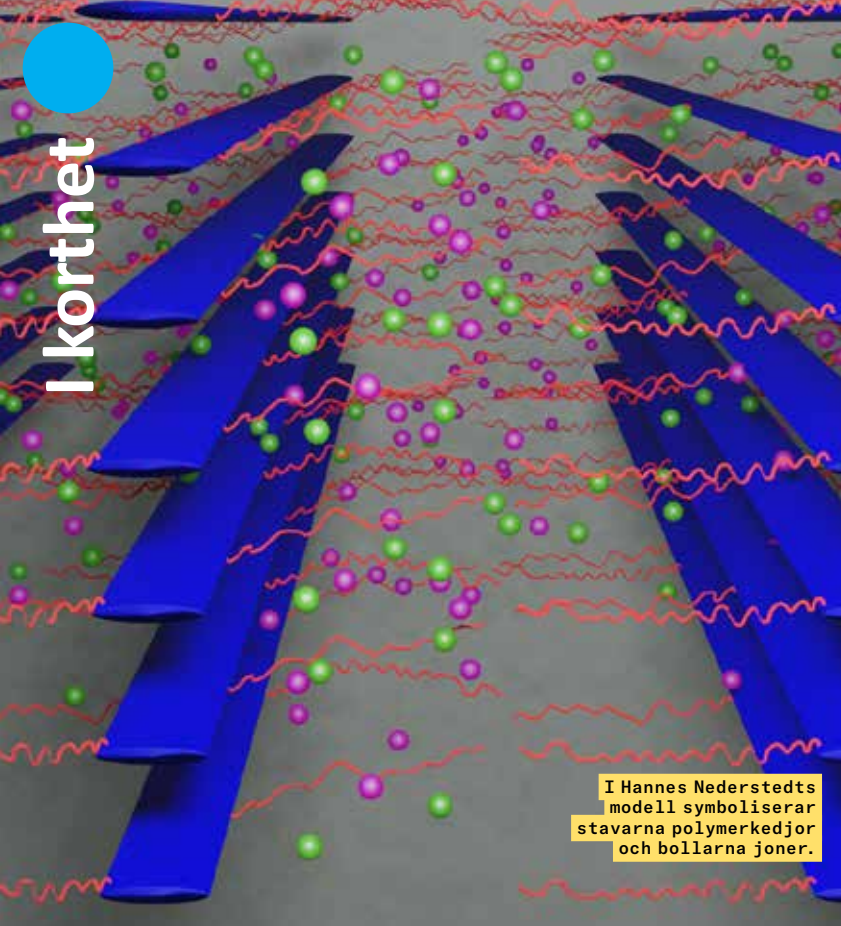
→ Ulf Ellervik om hur skådespelaren Samuel L. Jackson blir ett kemiskämt.



Karin Öberg forskar om astrokemi på Harvard, USA.



Ny metod för organiska katalysatorer belönas med Nobelpriset i kemi.



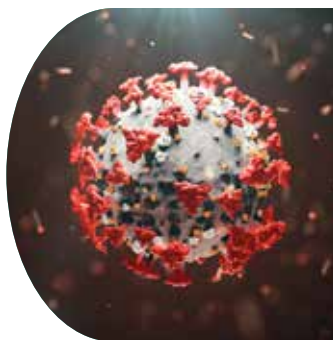
I Hannes Nederstedts modell symboliserar stavarna polymerkedjor och bollarna joner.

↓ POLYMERER

Bättre val för batterier

Hannes Nederstedt vid Lunds tekniska högskola har tillverkat nya polymerer för batterier och bränsleceller.

– De är mindre brandfarliga än de vätskebaserade elektrolyter som används i dagens batterier. Och även om elektrolyterna i dagens bränsleceller består av polymerer leder dessa inte laddningar tillräckligt bra.



↓ FORSKNING

Molekyl som stoppar virus

Uppsalaforskare har tagit fram en molekyl som hindrar coronavirus att föröka sig. Molekylen är effektiv både mot det nya coronaviruset SARS-CoV-2 och mot tidigare coronavirus. Den binder till ett av virusets enzymer och hämmar dess aktivitet, vilket hindrar att nya viruspartiklar produceras. Artikeln har publicerats i tidskriften Journal of the American chemical society. ●

5

miljoner kronor får forskare i Umeå och Lund för att hitta platser i Sverige där det kan utvinna blå energi. Energin frigörs när saltvatten från havet blandas med sötvatten från en älv.

↓ UNIK KARTLÄGGNING

Så förändras havet i Arktis

I september förra året kom de 38 forskare som varit med på isbrytaren Oden tillbaka från en två månader lång expedition till Nordpolen. Expeditionen ingår i ett stort internationellt samarbete.

– Målet är att kartlägga tillståndet i så stora delar av Arktis som möjligt genom observationer av fysikaliska, kemiska och biologiska variabler och processer. Att följa utvecklingen i Arktis är viktigt, eftersom Norra ishavet genomgår snabba, storskaliga förändringar i temperatur, havsis, färskvattentillförsel och kolets kretslopp – förändringar som alla påverkar det

lokala och globala klimatet, berättar Adam Ulfsbo, som är forskare vid Göteborgs universitet.

Hans uppdrag är att ta prover av havsvatten, från ytan ner till 4 000 meters djup. Han borrar också iskärnor i havsisen – något som kräver både uppmärksamhet och beväpnade kolleger, då det finns risk för att isbjörn lockas till platsen.

– Vi undersöker bland annat havsförsurningens utbredning och ackumulering av koldioxid orsakad av människans utsläpp. Våra mätningar är viktiga även för de grupper i expeditionen som har en mer biologisk eller oceanografisk inriktning.

Tillrinnande vatten påverkar miljön i Arktis. Försurningen ökar eftersom allt mer sötvatten från floder rinner till området och späder ut havsvattnet och havets buffertkapacitet. Vatten från Atlanten för med sig stora mängder koldioxid.

– Våra preliminära resultat visar att den antropogena koldioxidhalten har ökat sedan tidigare i de centrala delarna av Norra ishavet, vilket till största delen beror på inflödade vatten från Atlanten. ○



Forskarna tar prover av havsvatten från ytan ner till 4 000 meters djup.



Elin Malmström arbetar som forskningsingenjör på Cytiva. Hon tar bland annat fram nya packmetoder.

”Inga frågor var för dumma”

ELIN MALMSTRÖM utvecklar smarta packmetoder.

ELIN MALMSTRÖM är forskningsingenjör på Cytiva. Företaget producerar material och instrument som kan användas för att ta fram läkemedel. Elin Malmström arbetar med att utveckla packmetoder för den gel som finns i de reningskolonner som Cytiva tillverkar.

– De här kolonnerna kan användas för att separera olika molekyler som man sedan kan använda som läkemedel. Till exempel renas det mesta av det

insulin som diabetiker behöver med våra kolonner.

Elin Malmström gillar att arbetsuppgifterna på Cytiva är av olika slag. Och hon känner att hon lär sig nya saker varje dag.

– Jag tycker att det är väldigt kul att det är så varierat – att jag både har labbarbete och får planera det.

Elin Malmström läste till civilingenjör i molekylär bioteknik på Uppsala universitet. De två sista åren inriktade

hon sig mot bioteknik för produktion. Där lärde hon sig mycket av det som hon i dag använder i yrket.

– Det är en ganska bred utbildning, säger hon.

Innan hon började var hon lite rädd för att nivån skulle vara för hög. Men så var det inte. Hon vill inte att rädslor ska avskräcka någon från en karriär inom kemi.

– Ett av mina starkaste tips när man väljer utbildning är att inte tänka så mycket på om det känns svårt. Jag tyckte att det skönaste var att det var lika svårt för alla. Inga frågor var för dumma för alla var nya.

På fritiden är hon gärna ute i naturen. Hon spelar också dragspel – något hon började med när hon var åtta år.

– Att spela tillsammans med andra människor är något som jag tycker är väldigt kul. Den känslan kan man ta med sig till arbetet, säger Elin Malmström.

Cytiva finns i 40 länder. Företaget har omkring 1 900 anställda i Sverige med kontor i Uppsala och Umeå.

– Vill du ha ett jobb där du gör skillnad för människors vardag och hälsa? Utbilda dig till civilingenjör och kom och jobba hos oss på Cytiva. [o](#)

Kunskaper i kemi gör dig efterfrågad på arbetsmarknaden

Kemikunniga personer kan arbeta på alla nivåer i företag. Är du praktiskt intresserad är den treåriga utbildningen till högskoleingenjör i kemi ett bra val. Vill du ha mer teoretiska inslag är studier till kemivilingenjör eller kemistudier på högskolor och

universitet det givna valet. Att bli lärare i naturvetenskapliga ämnen ger långsiktigt säkra jobb. I dag råder stor brist på lärare i matematik och naturorienterande ämnen för grundskolans senare år och för gymnasiet.

Det finns förstås massor av andra spännande jobb inom kemiindustrin. Fler intervjuer och information om vilka utbildningar som leder till ett jobb i kemibranschen hittar du på kemikarriär.se

↓ MIXAT MATERIAL

Så kan glas bli superstabil

En studie ledd från Chalmers visar att en mix av upp till åtta olika molekyler kan skapa glas som både är superstabil och har lång livslängd. Forskarna blandade olika så kallade perylen-molekyler, som var och en har svårt att bilda glas. Mixen gjorde dock att förmågan ökade avsevärt. Stabila organiska glasmaterial kan användas i exempelvis bildskärmar och organiska solceller.

↓ SLÄKTSKAP

Stamceller avslöjar dna

Schimpansen är vår närmaste levande släkting. Stamcells-forskare i Lund har nu identifierat vad det är i vårt dna som gör att människans och schimpansens hjärnor skiljer sig åt. Det är en del av det dna som tidigare kallades skräp-dna, då det inte kodar för några proteiner, som tycks bidra till skillnaden. ●



Cecilia Sjöstedt är vd för Cytiva, tidigare GE Healthcare Life Science.

↓ KEMIJÄTTE VÄXER

500 nya jobb i pandemin

Cytiva har ökat produktionen och anställt 500 fler sedan coronapandemin startade.

– Vi har haft en enorm global efterfrågan på alla våra produkter eftersom de används vid tillverkning av vacciner. Vi har fått öka produktionen snabbt för att svara upp mot växande efterfrågan, säger Cecilia Sjöstedt, vd för Cytiva.

Hon räknar med att efterfrågan kommer att vara fortsatt hög.

– Åtta av tio läkemedel som godkänns i dag är biologiska: läkemedel mot cancer, alzheimer, med mera. För att tillverka dem krävs kromatografimedia. Vi är bland de ledande på den marknaden och står för en procent av Sveriges totala exportvärde. ●

100

till 350 minuter tar det för blodsugande myggor att suga i sig en giftig lösning som dödar dem. Det visar en studie från Stockholms universitet.



Cyanobakterier orsakar algblomning men kan också vara effektiva fabriker och producera butanol.

↓ BIOREAKTORER VID EKVATORN

Planerar för bränslen med cyanobakterier

Butanol – som kan användas som fordonbränsle i vanliga förbränningsmotorer – kan framställas med hjälp av cyanobakterier. Bakterierna genmodifieras så att de producerar alkoholen av koldioxid och vatten med energi från solen. Det nybildade bolaget Desert ocean vill göra detta i stor skala. Planen är att odla bakterierna i jättelika, flytande växthus på havet.

– Vi vill sätta ut stora bioreaktorer som flyter, där cyanobakterierna pumpas runt och matas med vatten och infångad koldioxid. Den butanol som bildas ska sedan separeras ut och samlas upp för att därefter hämtas av en tankbåt, berättar Urban Carlson, som är en av bolagets grundare.

Bioreaktorerna ska placeras ut i haven nära ekvatorn, där det finns stora områden med lite liv, men gott om solenergi. Tanken är att den bakterieproducerade butanolen ska bli en del av lösningen för att ersätta fossila bränslen.

– Jag tror att det kommer att krävas många lösningar för att ersätta oljan och jag är säker på att butanol är ett tänkbart framtida bränsle i en bränslemix. Ingen av de lösningar som finns i dag klarar ensam allt. Det är konceptuellt snyggt att göra bränsle av solenergi. Men det finns många fallgropar att trilla i, säger Ola Wallberg, som är professor i kemiteknik vid Lunds tekniska högskola. ●



Molekylen cyklooktatraen ändrar form och går från isolerande till ledande när elektroner skickas in i molekylen.

↓ SVENSK UPPTÄCKT

Enkel molekyl fungerar som en transistor

Forskare vid Lunds universitet har tagit fram en kolvätemolekyl som uppvisar en så kallad logisk grindfunktion, liknande den i transistorer.

– Det unika är att molekylen är så enkel, den består bara av kol- och väteatomer. Den fungerar genom att ändra form och samtidigt gå från isolerande till ledande när den reduceras med två elektroner, säger Daniel Strand, som är professor i organisk kemi vid Lunds universitet och en av forskarna bakom studien som har publiceras i tidskriften *Nature communications*.

Forskarna har utgått från kolväten uppbyggda av ringar med åtta kolatomer, så kallade cyklooktatraener. Sådana strukturer är normalt böjda till en skålförm. Genom att injicera två elektroner i molekylen får forskarna den att rätas ut och gå från isolerande till ledande –

liknande en transistor som slår om från 0 till 1.

Upptäckten kan underlätta utveckling av elektriska komponenter i molekyllär skala.

– Vi har visat att vi kan skicka elektroner genom strukturen. Nästa mål är att utveckla en variant som fungerar i en krets, säger Daniel Strand. ◦

Karin Öberg har varit professor vid Harvard sedan 2013. Hon forskar om astrokemi – rymdens kemi.

KARIN ÖBERG

Ålder: 39 år.

Född: Nyköping, uppvuxen i Karlskrona.

Gör: Professor i astronomi vid Harvard university, USA, där hon leder en grupp inom astrokemi.

Karriär: Flyttade till USA efter gymnasiet och läste kemi vid California institute of technology, doktorerade sedan i astrofysik i Leiden, Nederländerna.

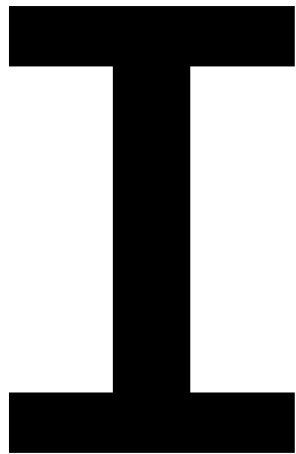
Det bästa med jobbet:

”Att se hur studenter och doktorander som jag handlett börjar få egna forskningsidéer.”

”Lockelsen är de stora frågorna”

Av Marie Alpmann

Ett litet dammkorn kan utvecklas till en hel planet. Karin Öberg, astrokemist och professor på Harvard, studerar hur det går till – och kartlägger kemiska ämnen i planeternas barnkammare.



ETT MOLN AV gas och stoft, hundratals ljusår bort, föds en ny stjärna. Kring den unga stjärnan formar gas och damm en snurrande skiva där planeter så småningom bildas. Nära centrum är skivan glödande het, men längre ut sjunker temperaturen till knappt tio grader över absoluta nollpunkten.

Trots den karga och kalla miljön är utkanten av dessa så kallade protoplanetära skivor fulla av intressant kemi. Där söker Karin Öberg, professor i astronomi vid Harvard university, efter svaren på frågor om hur livets första byggstenar skapas och varför planeter ser ut som de gör.

SEDAN 2013 leder hon en grupp inom det lilla men växande fältet astrokemi. I gruppen arbetar kemister, fysiker och astronomer.

– Det är de här stora frågorna som är lockelsen med astrokemi och det som skiljer astrokemi från kemi på jorden, säger Karin Öberg.

En annan skillnad är avstånden. För att se vilka ämnen som finns flera hundra ljusår från jorden är astrokemisterna beroende av kraftfulla teleskop. De senaste åren har Karin Öberg lett det stora forskningsprojektet Maps som använt Alma-teleskopet i norra Chile för att ta undersöka kemin i fem proplanetära skivor. Några kretsar kring stjärnor som liknar vår egen sol som ung.

Två resultat tycker hon är extra spännande. Det ena är att de kemiska ämnena är väldigt ojämnt fördelade. Var i skivan en planet bildas kan därmed spela stor roll för dess framtida kemi.

Den andra överraskningen är att bilderna avslöjar stora mängder cyanider.

– Vi visste att vi skulle hitta cyanider, men inte så mycket. Att gasen i skivorna är väldigt kolrik och syrefattig tror vi ger en optimal miljö för de här cyaniderna att bildas, men det är något vi ska undersöka vidare.

Cyanider som vätecyanid är grunden till aminosyror – som kan kopplas till liv. Att cyanider är vanligt kan betyda att det finns förutsättningar för liv på många platser i rymden.

ALLA FAKTORER SOM gjort att livet på jorden kunnat uppstå är inte klarlagda, men en viktig förutsättning är vatten. Även vatten finns det gott om i rymden. Efter vätgas och kolmonoxid är vatten universums vanligaste molekyl.

Vatten bildas i rymdens gasmoln när syre och väte hamnar bredvid varandra på ett dammkorn. Där bildar de en hydroxylgrupp som förenas med ytterligare en väteatom. Vattnet fryser i kylan och bildar en hinna av is. De isiga dammkornen fungerar som små kemifabriker, förklarar Karin Öberg. Med tiden slås de samman och blir allt större.

NORMALT SETT går kemiska reaktioner väldigt långsamt vid de låga temperaturer som råder i den kalla rymden. Det problemet har universum löst genom att UV-ljus, röntgen eller annan energirik strålning bildar reaktiva joner eller radikaler. På det sättet bildar till exempel kolmonoxid och väte metanol.

– Har du väl metanol kan metanolen brytas upp av UV-strålning och bilda radikaler som kan reagera på

olika sätt och bygga upp större organiska molekyler, säger Karin Öberg.

För att studera de här kemiska reaktionerna återskapar astrokemisterna rymdmiljön i labbet med en så kallad kryokammare under vakuüm. På så sätt kan rymdkemin studeras på jorden och jämföras med observationer.

Vad finns det då för ämnen där planeter föds? De flesta känns igen från jordisk kemi. Det är molekyler som metanol, ammoniak, formaldehyd, olika kolväten och vätesulfid. Men ute i rymden stöter astrokemisterna också på ovanliga föreningar.

– Vi ser många instabila, reaktiva ämnen. En vanlig molekyl är till exempel en kedja med fyra kolatomer och en väteatom på slutet, berättar hon.

KARIN ÖBERG ÄR förvåntansfull inför uppskjutningen av James Webb, Nasas nästa stora rymdteleskop. När det börjar leverera data blir det många timmar framför datorn för att vaska fram intressant information ur allt brus. För Karin Öberg är det en av höjdpunkterna i jobbet.

– Jag tycker om att lägga pussel och har en förmåga att se hur bitarna passar ihop innan mönstret framträder. ◦



Oordning ger

Intresset är stort för de nya högentropilegeringarna som består av fem eller fler grundämnen i en kombination av ordning oordning. Nya egenskaper har observerats – men väntar ännu på sin förklaring.

MÄNNISKOR HAR ANVÄNT rena metaller och legeringar väldigt länge, men det görs fortfarande upptäckter och det finns forskning kvar att göra. Traditionellt har legeringar, som brons eller senare stål, varit baserade på ett eller ibland två grundämnen som utgör den absolut största delen av de ingående atomerna. Nya legeringar har sedan utvecklats genom att man har tillfört ytterligare grundämnen i mindre mängder för att påverka legeringens struktur och egenskaper. På så sätt har man framgångsrikt skapat ett stort antal legeringar för olika användning. Några exempel är stål (järn och kol), mässing (koppars och zink) och legeringar baserade på aluminium.

En ny grupp av legeringar, som upptäcktes 2004, bryter dock mot detta. De består av minst fem metaller i ungefär lika stor mängd. Det som gör de här legeringarna intressanta är att en del av dem uppvisar andra egenskaper än traditionella legeringar, och att deras atomer är ordnade på ett lite annorlunda sätt än i traditionella legeringar.

I rena metaller ligger atomerna systematiskt ordnade i ett tredimensionellt periodiskt mönster – något man kallar kristallstruktur (se översta figuren på sidan 11). Legeringar, som är material bestående av minst två metalliska atomslag, tenderar att ha en mer komplicerad struktur på atomär nivå. Antingen är atomerna packade i flera olika periodiska mönster – det finns fler kristallstrukturer samtidigt; eller så är det periodiska mönstret mer komplicerat (som i figuren

i mitten). Den traditionella förståelsen har varit att det blir mer komplext när man tillsätter fler ämnen. De legeringar som används i dag får sina egenskaper i en finstämd balans där både halt av atomslag och framställningsprocess är avgörande. Det har därför varit naturligt att anta att ett materials komplexitet i praktiken skulle bli ohanterligt om man hade höga halter av flera grundämnen.

DE NYA HÖGENTROPILEGERINGARNA visar tvärtom att enkla strukturer kan fås om man blandar fem eller fler metalliska atomslag i ungefärligt lika stora andelar. Atomerna ordnar sig i lika enkla tredimensionella mönster som de rena metallerna men med blandade atomslag (se figuren längst ner). Atomerna är alltså på ett sätt väldigt ordnade – de sitter i ett periodiskt mönster. Men på ett annat sätt är de oordnade – vilket atomslag som sitter var är slumpmässigt. Det är också denna oordning som är anledningen till att de existerar och som har gett legeringsgruppen sitt namn. Oordningen ökar den så kallade entro-

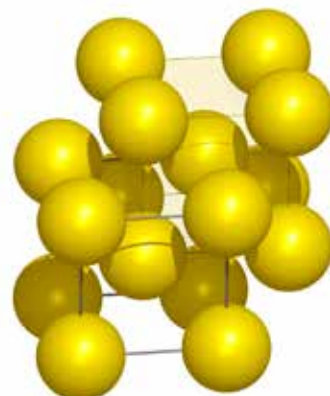
”Möjligheten att kombinera egenskaper som inte tidigare gått att kombinera.”

pin som verkar stabiliserande – och har man nog många metaller slumpmässigt blandade så kommer oordningen vara så stor att den höga entropin i många fall gör att dessa enkla tredimensionella atommönster med oordning bildas.

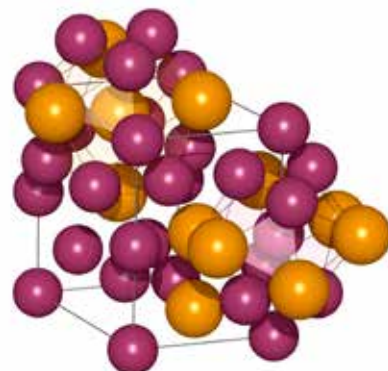
Eftersom högentropilegeringar är en grupp av legeringar som definieras utifrån sin strukturella egenhet – och till skillnad från de traditionella legeringarna inte efter huvudsaklig metall – är de inte en grupp med likadana egenskaper. Det går inte att göra påståenden liknande de som kan göras för de traditionella legeringarna, som att kopparlegeringar är bra på att leda ström eller att aluminiumlegeringar är lätta. Det

nya material

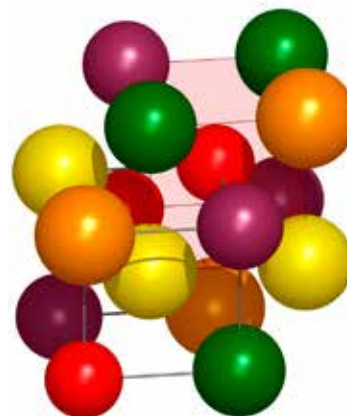
Bildar enkla strukturer med flera atomslag



ENKEL KRISTALLSTRUKTUR
- rymdcentrerad kubisk struktur, som till exempel i övergångsmetallen niob.



KOMPLEX KRISTALLSTRUKTUR
- intermetallisk förening med en så kallad magnesium-zink-struktur.



HÖGENTROPILEGERING
- fast löslighet av fem atomslag i en rymdcentrerad kubisk struktur.

Med hjälp av det blå plasmata växer det nya materialet fram som en tunnfilm på ytan av det prov som lagts in i vakuumkammaren.

beror helt enkelt på vilka grundämnen som ingår, och det som man hoppas på är möjligheten att kombinera egenskaper som tidigare inte gått att kombinera.

DESSUTOM VISAR VISSA högentropilegeringar nya egenskaper. Det mest kända exemplet är en legering av krom-mangan-järn-kobolt-nickel, som blir segare (i stället för sprödare som de flesta metaller) när man kyler ner legeringen till låga temperaturer med flytande kväve. Givet antalet metaller i periodiska systemet och att man inte alltid behöver ha lika stora mängder av de ingående atomslagen blir mängden tänkbara legeringar i praktiken oändlig. Detta ger

sammantaget mycket stora möjligheter, men även stora utmaningar då det finns så många olika material att undersöka. För att ta forskningsfältet bortom rena upptäckter behövs en grundläggande förståelse av högentropilegeringarna och hur deras egenskaper uppstår – något som ännu inte är självklart för dessa material med sin kombination av ordning och oordning. Detta är ett exempel på att det i kemien finns saker kvar att upptäcka och förstå – för även fasta material är kemi. ◦

Erik Lewin är docent i materialkemi vid Institutionen för kemi – Ångström, vid Uppsala universitet.

Kraftfullt verktyg för syntes

2021 års Nobelpristagare i kemi belönas för en metod som ger helt nya sätt att snabbt och effektivt tillverka molekyler.

Katalysatorer är fundamentala verktyg för kemister. Benjamin List och David MacMillan får Nobelpriset i kemi 2021 eftersom de år 2000 – oberoende av varandra – utvecklade organiska katalysatorer som är mycket mer effektiva och reaktiva än de katalysatorer som har använts tidigare.

– Organiska katalysatorer har dels potential att vara ett hållbart alternativ och är dels enkla att designa. Det är relativt lätt att förstå vad man behöver påverka i katalysatorns struktur för att få ett önskvärt resultat, säger Peter Somfai, ledamot i Nobelkommittén för kemi.

De båda Nobelpristagarna publicerade – också oberoende av varandra – sina resultat i Journal of the American chemical society med en månads mellanrum 2000.

Sedan dess har området exploderat. Organiska katalysatorer kan användas för att driva mängder av olika kemiska

reaktioner och vid syntes av allt från nya läkemedel till molekyler som kan fånga in ljus i solceller. Att de blivit en succé beror till stor del på att katalysatorerna gjort det lättare att tillverka asymmetriska molekyler, det vill säga en spegelbild av två möjliga. Vid kemisk syntes bildas ofta två molekyler som är varandras spegelbilder. Många gånger vill kemister bara ha den ena, framför allt vid framställningen av läkemedel.

– Årets pris är lite speciellt eftersom det är sällan Nobelpriset går till metodutveckling. Det var 30 år sedan sist då E.J. Corey fick det för utveckling av retrosyntes, säger Peter Somfai.

FRAM TILL 2000 var nästan alla katalysatorer antingen metaller eller enzymer.

Metaller fungerar ofta utmärkt som katalysatorer eftersom de har en förmåga att tillfälligt hårbärgera eller låna ut elektroner till andra molekyler. Det gör att bindningar mellan olika atomer kan brytas och nya formas. Vissa av dem kan dock behöva en syre- och fuktfri miljö för



att fungera – vilket kan vara svårt att få i industriell skala. Många metaller kan även påverka miljön negativt.

Enzymer driver kemiska reaktioner i kroppen. Många är specialister på asymmetrisk katalys och formar i princip alltid bara en spegelbild av två möjliga. Dessutom jobbar de sida vid sida. När ett enzym är klart med en reaktion, tar nästa vid. På det viset kan de med stor precision bygga komplexa molekyler, som kolesterol och klorofyll. De är dock väldigt specifika och fungerar bara för att katalysera vissa reaktioner.

ENZYMER ÄR STORA molekyler uppbyggda av hundratals aminosyror. Men ofta är bara några av dem inblandade i den kemiska reaktionen. Benjamin List funderade på om aminosyrorna måste ingå i ett enzym för att kunna katalysera en kemisk reaktion, eller om en enskild aminosyra kunde göra samma jobb. Han visste att forskare redan i början av 1970-talet hade använt aminosyran prolin som katalysator och testade om prolin kunde katalysera en kemisk reaktion. Försöket fungerade direkt. Han kunde också visa att prolin kan driva asymme-

”Årets pris är lite speciellt eftersom det är sällan Nobelpriset går till metodutveckling.”

trisk katalys. Av två möjliga spegelbilder bildades nästan bara den ena.

Prolin är en enkel, billig och miljövänlig molekyl. Och till skillnad från de forskare som tidigare hade testat prolin som katalysator såg Benjamin List vilken enorm potential den kunde ha.

På ett laboratorium längre norrut i Kalifornien fanns vid samma tid David MacMillan. Här började han formge enkla organiska molekyler som – precis som metaller – tillfälligt skulle kunna låna ut eller härbärgera elektroner. David MacMillan insåg att om en organisk molekyl skulle katalysera den reaktion som han var intresserad av, behövde den kunna bilda en iminiumjon. I en sådan finns nämligen en kväveatom som drar åt sig elektroner. Han valde ut ett antal organiska molekyler som hade de önskade egenskaperna. Sedan testade han deras förmåga att driva en Diels-Alderreaktion, som används för att bygga ringar av kolatomer. Det fungerade utmärkt. Vissa av molekylerna briljerade också i asymmetrisk katalys. Han kallade metoden organokatalys.

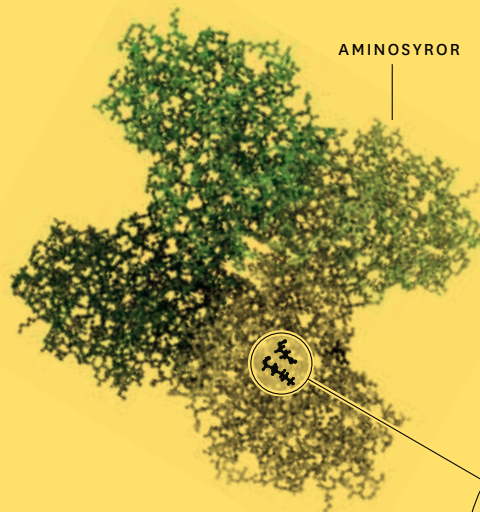
– De belönas för konceptualiseringen av området. Det var det som gjorde att det tog fart. Det finns många enskilda exempel på användning av organiska katalysatorer, men de resulterade inte i större aktivitet. Benjamin List och David MacMillan pekade ut potentialen och utvecklingsmöjligheterna och rationaliserade sina observationer. Det är inte en upptäckt, utan en förbättring som ligger i metodutvecklingen, säger Peter Somfai.

ORGANOKATALYS HAR HAFT stor betydelse inom läkemedelsforskningen, som vanligen kräver asymmetrisk katalys. Innan det blev möjligt innehöll många läkemedel båda spegelbilderna av en molekyl. Den ena var verksamt, medan den andra kunde ge oönskade effekter. Ett katastrofalt exempel från 1960-talet var då den ena spegelbilderna av läkemedlet neurosedyn orsakade allvarliga missbildningar hos tusentals foster.

På läkemedelsföretag används metoden också för att effektivisera framställningen av befintliga läkemedel. Peter Somfai, som även är professor i organisk kemi vid Lunds universitet, har fokus på att framställa ämnen som är vanliga i läkemedel, aminer och aminoalkoholer.

– Vi har valt andra vägar, men det skulle mycket väl gå att göra molekylerna med organokatalys, säger han. ◊

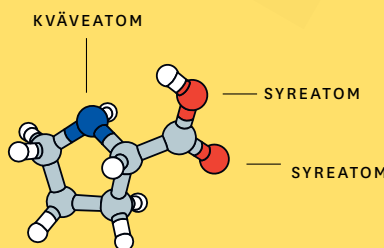
Forskarduo prisas för organiska katalysatorer



AMINOSYROR

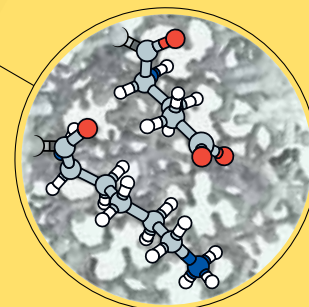
ENZYM

Enzymer består av hundratals aminosyror, men ofta är bara några av dessa inblandade i den kemiska reaktionen.



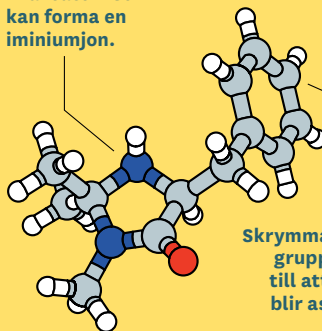
PROLIN

Benjamin List testade om aminosyran prolin ensam kunde katalysera en kemisk reaktion. Det fungerade utmärkt. Prolin har en kväveatom som kan härbärgera och låna ut elektroner under kemiska reaktioner.



Två av aminosyrorna som katalyserar den kemiska reaktionen.

Kväveatom som kan forma en iminiumjon.



Skrymmande kemisk grupp som bidrar till att reaktionen blir asymmetrisk.

MACMILLANS ORGANO-KATALYSATOR

David MacMillan utformade en rad enkla molekyler som kunde bilda så kallade iminiumjoner. En av dessa visade sig briljera i asymmetrisk katalys.



BENJAMIN LIST, född i Frankfurt, Tyskland, 1968. Föreståndare vid Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim an der Ruhr, Tyskland.



DAVID W.C. MACMILLAN, född i Bells-hill, Storbritannien, 1968. Professor vid Princeton university, USA. De två pristagarna delar på prissumman tio miljoner svenska kronor.

Lång väg bort från djurförsök

Avancerade datormodeller och bättre kunskaper om våra proteiner kommer att ge oss nya metoder för att testa läkemedel och kemikalier – utan djur. Men vägen dit är både lång och slingrig.

Choklad är gott! Det är nog de flesta av oss överens om. Våra vänner hundarna håller ofta med – men problemet är att de kan bli rejält sjuka, eller dö, om de äter en enda bit. Anledningen

är att hundar bryter ner teobromin, som finns i choklad, till ett ämne som de inte tål. En omvandling som inte har någon motsvarighet i den mänskliga kroppen.

Vad har det att göra med om vi ska testa kemiska produkter på djur eller inte?

En hel del faktiskt. Inte minst för att exemplet visar att det som är nyttigt för oss kan vara skadligt för djur. Något som i sin tur gör att det bara är i ett fall av tio som resultat från djurförsök är rakt av överförbara till människor.

”Exemplet visar att det som är nyttigt för oss kan vara skadligt för djur.”

ETT ANNAT EXEMPEL – möjligen något extremt – hämtar vi från Proceedings of the national academy of sciences. I en artikel visar forskare att inga av de 150 nya läkemedel mot blodförgiftning som då hade tagits fram med hjälp av tester på möss fungerade – på människor.

Även Neurosedyn-skandalen på 1960-talet visar hur trubbiga djurförsök kan vara. Då testades sömnmedlet på råttor utan att några negativa effekter upptäcktes. När det senare visade sig att barn till mödrar som tagit medicinen föddes med allvarliga missbildningar gjordes testet om på kaniner, som drabbades av samma skador som de mänskliga fostren.

Djurförsök görs främst när man utvecklar kemikalier och läkemedel. Syftet är att säkerställa att de inte är farliga för människor. Djurförsök har debatterats intensivt under många år, och då oftast utifrån ett etiskt perspektiv. En central fråga har varit om vi har rätt att utsätta miljontals djur för lidande.

– Frågan om djurförsök måste breddas till att handla om innovation. Har vi en metod med bristande kvalitet måste vi komma på något smartare, säger Hanna Karlsson, som är forskare vid Karolinska institutet.



Hanna Karlsson är forskare på Karolinska institutet. Hon arbetar med att utveckla metoder att testa utan djurförsök.

Inom kemi- och läkemedelsindustrin är djurförsök inte längre något självklart.

– Vi vill helst inte hålla på med djurförsök. Men eftersom vi inte kan tulla på säkerheten och för att det ofta är ett lagkrav har de blivit ett nödvändigt ont, säger Nils Hannerz, som arbetar med forsknings- och innovationsfrågor vid Ikem, Innovations- och kemiindustrierna.

VILKEN RIKTNING alla aktörer inom området måste gå i är tydligt, åtminstone om man läser lagar och föreskrifter. De talar entydigt om att djurförsök är förbjudet om det finns fungerande alternativ.



Djurfria tester ger Senzagen bättre resultat

Senzagens tester utförs på mänskliga celler som reagerar på samma sätt som immunförsvaret.



Företaget Senzagen, vars forskning har sitt ursprung på Institutionen för immunteknologi vid Lunds universitet, använder mänskliga celler för att identifiera hudallergier. Verksamheten drog igång 2014 efter att EU beslutat att inte längre tillåta försäljning av kosmetiska produkter som är testade på djur. Efter ett positivt myndighetsutlåtande i somras är deras första test nu på väg att bli godkänt för regulatorisk användning.

– Att det har tagit så lång tid beror på att den regulatoriska processen var mer komplicerad och tidskrävande än vi trodde. Men nu har en oberoende expertgrupp rekommenderat att OECD ska godkänna vår produkt som en trestriktlinje för hudsensibilisering, säger Peter Nählstedt, vd för Senzagen.

OECD – som är den organisation som godkänner metoderna – har så kallade trestriktlinjer för bedömning av kemikaliers eventuella effekter på människors hälsa och miljö. Att Senzagens test nu ingår i trestriktlinjerna innebär att det kan användas av företag som ska styrka att deras slutprodukter inte innehåller allergiframkallande ämnen. Testerna används redan nu vid produktutveckling.

Företagets teknik bygger på maskininläring i stället för på traditionell labbverksamhet. De har identifierat ett par hundra gener i cellerna som reagerar när de utsätts för olika ämnen. Genom maskininläring har de lärt algoritmer att känna igen dessa genuttryck och kan snabbt analysera enorma mängder data.

– Lika viktigt är att vår teknik ger mer precisa resultat. När det gäller allergener är förutsägbarheten vid djurförsök normalt omkring 70–75 procent medan vi når 90–95 procent, säger Peter Nählstedt.

Även EU har en tydlig viljeinriktning. I direktivet för skydd av djur står det: ”Det slutgiltiga målet är att ersätta alla försök på levande djur i vetenskapliga syften och i undervisningssyfte så snart det är vetenskapligt möjligt.”

Men intentioner och praktik går inte alltid hand i hand.

ETT HINDER ÄR att de internationella standarder som finns för godkännande av nya produkter och läkemedel till stor del bygger på djurförsök. En annan bromsande faktor är att många forskningspublikationer kräver att resultat

ska vara verifierade med djurförsök för att de ska ta in en artikel.

– Den som vill vara kvar i forskarvärlden måste visa resultat, och får man inte in artiklar är man snart ute ur bilden, säger Hanna Karlsson.

Trots svårigheterna att få till en förändring är Nils Hannerz hoppfull inför framtiden.

– Vi är bara i början av en utveckling där en kombination av avancerade datormodeller och bättre kunskaper om proteiner i människokroppen kommer att ge oss fler tester som bygger på metoder utan djur. ◦



Nytt salt ska få backen att hålla

Perstorp testar salter som är bättre för miljön.

UNDER ALPINA TÄVLINGAR är det viktigt att snön håller ända till den sista åkaren har tagit sig ner. Särskilt när temperaturen ligger på noll eller plusgrader kan snön smälta okontrollerat och bilda gropar och åsar som kan skapa problem för den som startar senare.

Vid plusgrader saltar man därför i backar och längdspår. Det är ett sätt att få rättvisa förhållanden oavsett startnummer. Eller att få längdspåret att hålla hela tävlingen.

– Vanligen används natrium- eller kalciumklorid. Nackdelen är att klorret i salterna påverkar miljön och växtligheten negativt. Växternas upptag av näringsämnen förändras, säger Christophe Molina vid kemiföretaget Perstorp.

Perstorp vill i stället använda salter av myrsyra, som natrium- eller kaliumformiat. De fungerar precis som de

klorinnehållande salterna. De sänker smältpunkten så att snön smälter. Omvandlingen från fast till flytande form kräver energi som tas från omgivningen som kyls ner. Resultatet blir att det bildas skare på snön. Ytan får en isig kristallstruktur och håller längre.

I FINLAND används formiater i stället för natrium- eller kalciumklorid på vissa vägar där det finns risk för att vägsalterna hamnar i grundvattnet. Finlands miljöcentral har gjort undersökningar som visar att formiat är mer miljövänligt då det snabbt bryts ner till koldioxid och vatten.

Perstorp har de senaste två säsongerna testat olika alternativ i längdspår i Vallåsen och i backar i Åre. Maths Gunnariussen, tränare i Åre slalomklubb, har hållit i försöken i backarna.

– Vi tycker att det fungerar väldigt bra. Känslan är att formiatet bildar en hårdare yta än andra produkter, säger han. ◦



Han har fokus på hållbara kemikalier

STEFAN LUNDMARK får Svenska kemiingenjörers riksförenings pris för sitt hållbarhetsarbete. Han har i många år varit drivande i Perstorps strävan att byta ut fossila råvaror mot biobaserade eller återvunna alternativ. Han har bland annat varit med och utvecklat miljövänliga salter till skidbackar och längdspår (se artikel intill). Nyfikenheten är en viktig drivkraft för Stefan Lundmark.

– Det handlar om ett ständigt lärande. Att kunna förstå, förklara och förbättra. Återkoppling från förbättringen ger stimulans att gå vidare med idéer.

Stefan Lundmark doktorerade i polymer teknik på KTH och har arbetat på Perstorp sedan 1995. De första hållbarhetsprojekten handlade om att ta fram icke-fossila kompositter för laminat och golvapplikationer, icke-fossila betongtillsatsmedel och miljövänliga uv-härdande färgsystem. Råvarorna är bland annat biogas, alkoholer, cellulosa, lignin och vegetabiliska oljor.

– Vi har också tagit fram världens första icke fossila polyol, pentaerytritol. Det får stor betydelse eftersom ämnet används i en rad applikationer, bland annat i polymerer, förtjockningsmedel, brandskyddsfärg, syntetiska smörjmedel och färg. Det har gjort att våra kunder har kunnat ta fram världens första, helt förnybara, alkydfärg, säger han. ◦

”Det handlar om ett ständigt lärande. Att kunna förstå, förklara och förbättra.”



Saffranspannkaka med salmbärssylt och grädde är en klassisk gotländsk efterrätt.

Den giftiga delikatessen

Det doftar och smakar gott, men i stor dos kan saffran vara dödligt.

”UNDER DEM spirade frodigt gräs ur den heliga jorden, saffran och daggiga klöverblad och en tät hyacintbädd, mjuk och doftande frisk, som lyfte dem ovanför marken.” Så lyder en passage i Homeros *Iliaden* i Ingvar Björkesons översättning.

Saffran har alltså omgivits av positiva associationer i åtminstone ett par tusen år. Men kryddan har också en annan historia. I Gunnar Hedréns avhandling *Om fosterfördrifning från rättsmedicinsk synpunkt* från 1901 kommer saffran på åttonde plats i listan över medel som nyttjades för abort under tiden 1851–1900. Saffran har inte bara en angenäm doft, smak och färg, utan är dessutom giftig.

Kryddan erhålls från saffranskrokus – *Crocus sativa* – som tillhör familjen svärdslijeväxter. *Krókos* betecknade i grekiskan både växten och den starkt gula färgen. Namnet saffran har persiskt ursprung och betyder gyllene löv.

BLOMNINGEN I PURPUR sker på hösten. Pistillen har tre brunröda, omkring två centimeter långa märken som plockas för hand, torkas och ger kryddan saffran. Cirka 100 blommor krävs för 1 gram saffran, vilket gör saffran till den dyraste kryddan med ett pris på 40 000 kronor per kilo. Växten produceras numera nästan uteslutande i Iran.

I dag använder vi saffran i bröd, men förr penslades saffran i regel utanpå. På Gotland ingår saffran i pannkaka. Paella och fisksoppa är andra maträtter som ofta kryddas med saffran.

Under antiken var det framför allt vid ögonsjukdomar och kvinnosjukdomar som saffran användes som läkemedel.

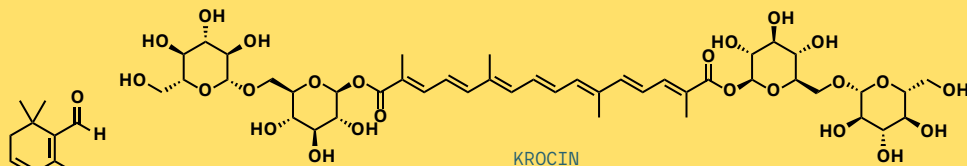
Carl von Linné skriver att ”Saffrans förnämsta kraft är att resolvera/.../ Därföre bruka fruntimmer mycket att ha saffran på mat, i synnerhet de, som ha menstrua suppressa./.../Men är dosis alltför stor, åstadkommer det skrattsjuka, liksom kitslande.”

SAFFRAN INNEHÅLLER 150 dokumenterade kemiska föreningar. Krocin, som bidrar bland annat med färgen, är en

karotenoid glukosid. I kristallin form är krocin röd, i vattenlösning orange. Den flyktiga aldehyden safranal är ansvarig för doften och glukosiden picrokrocin bidrar till smaken.

Bland saffrans farmakologiska effekter återfinns en blodfettssänkande, vilket ansetts förklara en låg incidens av hjärt-kärlsjukdom i de delar av Spanien där saffran intas dagligen.

Ett intag av upp till 1,5 gram anses ofarligt. Symtom vid måttligt för hög dos (mer än 5 gram) är buksmärta, illamående, kräkningar, diarré. Ännu mer (20 gram) kan vara dödligt. ◊



Konsten att förundras

Kemiprofessorn **Ulf Ellervik** har skrivit en kärleksförklaring till små men för en forskare vanliga ting. Och till vetenskapen. Här är en betraktelse ur en kemiforskares vardag.

BILDEN HÄNGER PÅ glasrutan in till kontoret bredvid mitt. Den är svartvit och uppenbart utskrivnen på en vanlig skrivare. Den består av två delar. Till vänster en bild på den amerikanske skådespelaren Samuel L. Jackson som tittar åt vänster. Han är klädd i mörk kostym, vit skjorta och fluga. Det ser ut som om bilden är tagen på en gala av något slag. Bakgrunden är suddig. Texten under bilden är enkel: Samuel-L-Jackson. Det är den andra halvan av bilden som gör mig lycklig. Den är oerhört enkel och samtidigt genial. Samma bild, men spegelvänd och försedd med texten Samuel-D-Jackson.

Det hänger ganska många liknande bilder på glasrutan. Det är doktorander och studenter som arbetar i min forskningsgrupp som satt upp dem. Alla bilder är underfundiga. Många är svartolkade om man inte själv är forskare. Faktum är att en del av skämten nog är oförståeliga om man inte råkar vara just kolhydratkemist.

Så länge det funnits vetenskap har det säkerligen också gjorts narr av sökandet efter kunskap. Forskare kan tyckas vara en smula

speciella och därmed lätta att skämta om. I början av 1800-talet fick de brittiska tidningarna tillgång till tryckpressar med en betydligt större kapacitet än tidigare. Det gjorde att dagstidningar blev billigare att trycka och att de därmed kunde nå en betydligt större läsekrets. Samtidigt började man publicera skämtteckningar. Inte sällan var skämten riktade mot den tidens forskare och deras framsteg. Med sitt vita skägg och då kontroversiella idéer var Charles Darwin ett populärt offer, liksom den kvinnliga astronomen Caroline Herschel, som dessutom hade tyskt ursprung. I dag hade teckningarna varit omöjliga på grund av sina ofta sexistiska, rasistiska och kolonialistiska budskap.

DET ÄR GANSKA långt från de brittiska satirbilderna till dagens vetenskapliga skämt. I dag är det främst via internet som den vetenskapliga humorn förmedlas och då oftast i form av mem. Dessutom har fokus ändrats en smula. Medan 1800-talets vetenskapsskämt var riktade mot forskarna är det ofta i dag vi själva som skämtar om vår profession. Det är tyvärr sällan någon utanför fältet gör narr av forskare i dag. Vetenskapen har lyfts upp på en piedestal samtidigt som allt färre förstår detaljerna. Det gör det svårt att skämta om oss. I stället är det poli-



tiker och andra maktthavare som får se sig avbildade i satiriska mem.

MEM I SIG är ett intressant fenomen. Uttrycket myntades av Richard Dawkins i boken *The selfish gene* från 1976. Enligt Dawkins är ett mem en kulturell variant av en gen, en enhet av kulturellt ursprung som fortplantas och evolverar.

Internetfenomenet är blixtsnabba och mem kan spridas över jorden, utvecklas till nya skämt för att sedan dö. Bilden på Samuel-D-Jackson är ett typiskt exempel.

Det är aldrig en god idé att förklara ett skämt. De brukar

Det här är ett bearbetat utdrag ur *Förundran - om vetenskapens små njutningar* av Ulf Ellervik [Fri tanke 2021]



En spegelvänd Samuel L. Jackson får Ulf Ellervik att skratta.

falla platt till marken. Vetenskapliga skämt är på det viset lite speciella eftersom de vänder sig till en ovanligt smal publik. Men samtidigt är det kanske det som är det viktiga. Det är som ett slags hemligt handslag. Om vi båda skrattar åt samma skämt känner vi samhörighet. Låt mig trots allt göra ett försök att förklara vad som är roligt med Samuel-D-Jackson.

Molekyler kan ibland finnas som så kallade spegelbildsisomerer. På samma sätt som mina händer, eller för den delen mina skor, är spegelbilder av varandra, kan molekyler vara det. Detta kallas med ett kemiskt ord för kiralitet, vilket kommer från grekiskans $\chi\epsilon\iota\omicron$ (cheir), som betyder just hand.

FÖR ATT VI kemister ska veta om det är höger- eller vänstermolekyler vi pratar om används ibland bokstäverna D och L. Förkortningarna kommer från latinets *dextro* och *levo* som betyder höger och vänster, och används i dag framför allt för kolhydrater och aminosyror. De flesta kolhydrater, till exempel vanligt druvsocker, glukos, brukar ha D-formen,

”Det är aldrig en god idé att förklara ett skämt.”

medan alla de naturliga aminosyrorerna har L-form. Det går att tillverka L-socker och D-aminosyror i laboratoriet, men i naturen hittar vi dem sällan. För en kolhydratkemist är det därför glasklart, och väldigt roande, att en spegelbild av skådespelaren bakom roller som Mace Windu och Nick Fury, får namnet Samuel D. Jackson.

Det finns en tjusning i att förstå ett väldigt smalt skämt. ◦

Ulf Ellervik är professor i organisk kemi vid Lunds universitet. Han har gett ut en rad populärvetenskapliga böcker om kemi. *Förundran - om vetenskapens små njutningar* är den tionde.

ANNONS

Gör karriär av ditt kemiintresse!



Petter Englund
labbchef kvalitetskontroll, Fresenius Kabi

” Jag har nog varit intresserad av kemi rätt länge.”

Utbildning: civilingenjör kemisk biologi vid Linköpings universitet och doktor i analytisk kemi på Stockholms universitet.

”Att jobba på Fresenius är fantastiskt, både utifrån den aspekten att det är ett så stort företag så man kan göra så många olika saker men också det att produkterna som vi tillverkar är så viktiga för så otroligt många människor.”

” Jag tycker att projektledning är jätteroligt.”

Utbildning: civilingenjör molekylär bioteknik vid Uppsala universitet.

”Det som gjorde att jag valde Fresenius Kabi från början var att jag känner att det är viktigt att jobba inom läkemedelsindustrin i en produktionsenhet som tillverkar livsviktiga produkter för människor varje dag.”



Elina Annala
projekt- och teamledare, Fresenius Kabi

” Det är väldigt kul att jobba på en industri som är så viktig för samhället.”

Utbildning: civilingenjör i kemiteknik vid Uppsala universitet.

”Det bästa med att plugga i Uppsala är att man får möjlighet att ta del av Uppsalas fantastiska studentliv och får vara en del av nationslivet som finns här.”



Björn Stenestam
processäkerhetsingenjör, Cytiva



Kemikarriär

kemikarriar.se