

Nattlysande moln · Grillning · Nollpunktsfluktuation

Fysikaktuellt

SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET

NR 2 • MAJ 2024



**Fysiken vid
regnbågens början**

ISSN 0283-9148

Svenska Fysikersamfundet

Fysikaktuellt ges ut av Svenska Fysikersamfundet som har till uppgift att främja undervisning och forskning inom fysiken och dess tillämpningar, att föra fysikens talan i kontakter med myndigheter och utbildningsansvariga instanser, att vara kontaktorgan mellan fysiker å ena sidan och näringsliv, massmedia och samhälle å andra sidan, samt att främja internationell samverkan inom fysiken.

Ordförande: Jonathan Weidow,
jonathan.weidow@chalmers.se

Sekreterare: Joakim Cederkäll,
joakim.cederkall@nuclear.lu.se

Skattmästare: Lage Hedin,
lage.hedin@physics.uu.se

Adress: Svenska Fysikersamfundet,
Institutionen för fysik och astronomi,
Uppsala universitet,
Box 516, 751 20 Uppsala

Adress för recensionsexemplar av böcker:
C. Kjellstrand c/o Blenda Journalistik
Rörsjögatan 26
211 37 Malmö

Bankgiro: 5402-5499

E-post: styrelsen@fysikersamfundet.se

För medlemsfrågor, kontakta Lage Hedin, 076-231 01 37
eller medlemsregistret@fysikersamfundet.se

Sektioner

Inom Fysikersamfundet finns ett antal sektioner som bland annat ordnar möten och konferenser, se www.fysikersamfundet.se för mer information.

Kosmos

Fysikersamfundet ger ut årsskriften Kosmos.
Redaktör är Anders Kastberg.

Fysikaktuellt

Vår medlemstidning utkommer med fyra nummer per år, och distribueras även till alla gymnasieskolor med naturvetenskapligt eller tekniskt program.

Redaktion: Christina Kjellstrand, Måns Henningson, Mats Larsson, Johan Mauritsson, Anne-Sofie Mårtensson, Asta Pellinen Wannberg och Elisabeth Rachlew.

Ansvarig utgivare: Jonathan Weidow.

Kontakta redaktionen via:
fysikaktuellt@fysikersamfundet.se

För insänt, ej beställt material ansvaras inte.

Manusstopp och deadline för annonsbokning:
för Fysikaktuellt 3/2024 är 12 augusti 2024.

Medlemskap

Svenska Fysikersamfundet har ca 1 000 individuella medlemmar, stödjande medlemmar (företag och organisationer) och stödjande institutioner. Årsavgiften är 400 kr, dock 250 kr för pensionärer och forskarstuderande, samt 100 kr för grundutbildningsstudenter. Stödjande medlemskap debiteras 4 000 kr per år.

Bli medlem genom ansökan på:
www.fysikersamfundet.se/bli-medlem/ eller med qr-koden.



Medlemsförmåner

- Fysikaktuellt 4 nummer/år
- KOSMOS
- 10% rabatt på böcker os Fri Tanke förlag. Ange koden "fysikersamfundet" i kassan på fritanke.se.
- Förmånsprenumerering på Forskning & Framsteg. Erbjudandet gäller 10 nr (20% rabatt).
Länk till beställningssida:
<https://order.flowy.se/fof/fof/4140>

Layout: Christina Kjellstrand

Tryck: Trydells, Laholm 2024



OMSLAGSBILDEN: Den flyktiga regnbågen har fascinerat människan i tusentals år. Den enklaste typen är relativt lätt att förklara, men ju fler detaljer och specialfall man studerar, desto mer komplicerad blir den, och desto intressantare. Läs mer på sidan 10.

Foto: Martin Magnusson

Stödjande medlemmar

- Gleerups Utbildning AB
www.gleerups.se
- Scanditronix Magnet AB
www.scanditronix-magnet.se
- Myfab, www.myfab.se

Stödjande institutioner

- Chalmers tekniska högskola
– Institutionen för fysik
- Chalmers tekniska högskola
– Institutionen för rymd och geovetenskap
- Chalmers tekniska högskola
– Institutionen för mikroteknologi och nanovetenskap – MC2
- Göteborgs universitet
– Institutionen för fysik
- Högskolan i Halmstad
– IDE-sektionen
- Institutet för rymdfysik, Kiruna
- Karlstads universitet – Institutionen för ingenjörsvetenskap och fysik
- Kungliga tekniska högskolan
– Institutionen för fysik
- Kungliga tekniska högskolan
– Institutionen för tillämpad fysik
- Linköpings universitet – Institutionen för fysik, kemi och biologi (IFM)
- Linköpings universitet – Institutionen för naturvetenskap och teknik (ITN)
- Linnéuniversitetet – Institutionen för fysik och elektroteknik
- Luleå tekniska universitet
– Institutionen för teknikvetenskap och matematik
- Luleå tekniska universitet – Institutionen för system och rymdteknik
- Lunds universitet
– Fysiska institutionen
- Mälardalens universitet
– Avd för matematik och fysik
- Nordita, Nordic Institute of Theoretical Physics
- Stockholms universitet – Fysikum
- Uppsala universitet
– Institutionen för fysik och astronomi
- Umeå Universitet
– Institutionen för fysik

Glöm inte att anmäla adressändring till medlemsregistret@fysikersamfundet.se

Innehåll

- 3 **SIGNERAT**
Göran Johansson
- 4 **AKTUELLT**
- 6 **AVHANDLINGEN**
Max Karlsson tilldelas
Oseenmedaljen 2024
- 9 **INTERVJU**
Max Karlsson
- 10 **SÅ FUNKAR REGNBÅGEN**
- 13 **VAD ÄR DET SOM RÖR SIG I EN
NOLLPUNKTSFLUKTUATION?**
- 16 **WALLENBERGS FYSIKPRIS**
Final i Tallinn
- 18 **GOD FYSIK**
Sommarens grillning
- 20 **NATTLYSANDE MOLN GÖR
OSYNLIGA VÅGOR SYNLIGA**
- 23 **RECENSION**
- 24 **SÅ FÖRÄNDRAS FYSIKEN
AV NYA BETYGEN**
- 26 **WISDOME**
Visualisering som
ska väcka nyfikenhet
- 29 **RECENSION**
- 30 **VARDAGENS FYSIK**
Ångbildning



Vad är det som är så speciellt med nattlysannde moln? Och vad har den svenska forskningssatelliten MATS som studerar dem kommit fram till?
Läs mer på sidan 20.

Fascinerande nyttigt

Jag minns fortfarande föreläsningen i årskurs tre på Teknisk Fysik på Chalmers, där den utmärkta föreläsaren Martin Cederwall berättade om dubbelspaltsexperimentet med elektroner. Hans långa hår och lite bohemiska klädstil, som innehöll många inslag av svart, gjorde kanske ett lite mer esoteriskt än ingenjörsmässigt intryck. Jag visste redan då ryktesvägen att han var extremt smart och har bra koll på det här med strängteori, som skulle få ihop gravitation, allmän relativitetsteori och kvantfysik och på så sätt förklara hur världen hänger ihop. Detta var tidigt 1990-tal. Exakt vad kvantfysik och allmän relativitetsteori var för något hade jag inte så bra koll på, men det skulle jag ju få lära mig!

Samtidigt hade jag åren innan njutit stort av föreläsningarna i mekanik, med den briljanta föreläsaren Göran Niklasson. Här hade vi på ett mycket strukturerat sätt fått lära oss hur man beskriver hur kroppar balanserar, glider, rullar, roterar och flyger under påverkan av olika krafter. Att få skapa en inre bild av all denna dynamik var roligt och kändes samtidigt nyttigt, på ett ingenjörsmässigt sätt. Det var uppenbart att denna förståelse skulle vara viktig om jag sedan skulle arbeta med bilar, motorer eller andra spännande maskiner – vilket ju är lätt hänt i Göteborg. Visst fick vi också lära oss mycket matematik, men det kändes mest som ett sätt att formalisera och förädla den intuition vi redan hade för hur mekaniska apparater fungerar.

Där satt jag då på föreläsningen i kvantfysik och väntade ivrigt på att få utveckla en ingenjörsmässig förståelse för hur naturen fungerar på denna mer fundamentala nivå. Men jag kunde bara inte förstå det som Martin sagt om dubbelspaltsexperimentet med elektroner. Det var ju uppenbart att om man skickar många elektroner mot dubbelspalten så interfererar de som går genom den vänstra spalten med de som går genom den högra och så bildas ett interferensmönster. Det är ju så det fungerar med vågor på vattnet, själva sinnebildningen för vågrörelse och interferens. Men det



kan ju *inte* fungera om man skickar elektronerna en och en. Ändå var det just det Martin hävdade och han kunde ju inte ha fel, han var ju onekligen mycket smart.

Det som drabbade mig där och då var att naturen ibland betar sig på ett sätt som går helt emot vår intuition, som vi byggt upp under lång tid och som är så viktigt för att vi ska kunna hålla ordning på världen i vardagen. På ett sätt kan man säga att jag inte har lyckats ta mig vidare från denna punkt. Under hela min forskarkarriär har jag med stor nyfikenhet, med matematikens hjälp, försökt bygga upp en intuition för hur man kan beskriva och använda kvantmekanisk dynamik i olika typer av små elektriskt eller optiskt kontrollerbara designade system. De senaste sex åren har jag dessutom fått möjligheten att på allvar arbeta med hur man skall designa, bygga och använda en stor och i grunden kvantmekanisk maskin, en kvantdator.

Jag konstaterar att fysiken på samma gång ger oss mycket användbara verktyg och ständigt nya fascinerande insikter om hur världen fungerar. Det är nog därför den är så lätt att tycka om.

GÖRAN JOHANSSON
Professor, Tillämpad kvantfysik, Chalmers

FOTO: ANN-MARIE PENDRILL



Fysik i karuseller

■ I september finns det chans att ta klassrummet till ett nöjesfält. Genom att utföra experiment i de olika åkattraktionerna får eleverna en chans att känna Newtons lagar i hela kroppen.

Edutainment på Gröna Lund

Exklusivt öppet för skolor:

5 september för gymnasium, 12 och 13 september för högstadium.

Gör experiment i 15 attraktioner. Besök Tekniktorget och träffa Gröna Lunds tekniker som visar bromsar, hydraulik, m.m. Läs mer på: gronalund.com/edutainment.

Fysikdag på Liseberg

20 september. Möjlighet att experimentera i utvalda attraktioner, träffa lärare och elever från andra skolor. Diskutera med fysiker från Chalmers och Göteborgs universitet. Läs mer på: tivoli.fysik.org.

Faglige dage på Tivoli

2 augusti - 20 september. Ämnesdagar på Tivoli i Köpenhamn. Läs mer på: www.tivoli.dk/da/skoler/faglige-dage.

Wisdome prisas

■ Kasper Salin-priset, Sveriges mest prestigefyllda arkitekturpris, går i år till Tekniska museets tillbyggnad Wisdome Stockholm (läs mer om Wisdome på sidan 26), bland annat för byggnadens sinnrika takkonstruktion.

ISS-skräp slog ner i hus

■ I mars träffades ett hus i Florida av en cylinderformad projektil. NASA har nu konstaterat att det rör sig om en bit av en lastpall med batterier som slängdes från den internationella rymdstationen ISS 2021. NASA hade räknat med att batterierna skulle brinna upp helt i atmosfären, men så skedde alltså inte.

Lundalärare får årets Ingvar Lindqvistpris

Susanne Tegler i Lund får årets Ingvar Lindqvistpris i fysik "för att hon med hjälp av eget material och laborationer knyter fysiken både till vardagliga problem och till aktuella händelser."

■ Ingvar Lindqvistprisen delas varje år ut till lärare som genom entusiasm, nya idéer och engagerande arbete väcker elevers intresse för och kunskap inom matematik och naturvetenskap. Prisen delas ut av Kungliga Vetenskapsakademien och finansieras av Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs Minnesfond. Syftet är att visa på lärarnas viktiga roll i samhället. Priset har fått sitt namn efter en av Vetenskapsakademiens tidigare preses (ordförande), Ingvar Lindqvist.

Susanne Tegler arbetar på gymnasieskolan Spyken i Lund där hon sedan tretton år undervisar i fysik och matematik. Tillsammans med sina elever arbetar hon gärna med problem kopplade till både aktuella och historiska händelser. Frågeställningen kan exempelvis vara att räkna ut hur lång pendeln är i klocktornet med Big Ben i London utifrån ett filmklipp som visar dess ovandel. Eleverna får sedan förklara varför det fysikaliskt fungerar att få klockan att gå långsammare eller snabbare genom att lägga till eller ta bort penny-mynt på en liten hylla på pendelns övre del.

Susanne är medlem i Fysikersamfundet och är nu inne på fjärde och sista tvåårsperioden i undervisningssektionens styr-



FOTO: EMMA TEGLER

Susanne Tegler.

else. Där har hon bland annat engagerat sig i Wallenbergs fysikpris och i den europeiska experimentella olympiaden EOES.

Förutom äran får varje pristagare 50 000 kronor i ett personligt pris och 50 000 kronor till lärarnas respektive skolor. Pengarna till skolan får användas till naturvetenskapliga aktiviteter och inköp av läromedel.

Övriga pristagare i år är Vera Lundström, Umeå elitidrottsgymnasium (matematik), Elin Gädde, Rälsen Norrviken, Sollentuna (NO), samt Cristina Bernardez Marti och Jens Bjelvenmark, Gullmarsgymnasiet, Lysekil (delat pris i biologi/kemi).

CHRISTINA KJELLSTRAND
OCH MATS LARSSON
Fysikaktuell

Pris till forskning om mikropartiklar

■ Årets Göran Gustafssonpris i fysik gick till Giovanni Volpe, Göteborgs universitet, "för gränsoverskridande forskning som handlar om mikroskopiska partiklar med aktiva funktioner". Giovanni Volpes forskargrupp fokuserar på aktiva material och artificiell intelligens. Målsättningen är att i framtiden kunna skapa konst-

gjorda mikropartiklar som kan reagera på sin omgivning.

Priset i matematik gick till Alexander Berglund, Stockholms universitet. Övriga pristagare är Anna Överby Wernstedt, Umeå (medicin), Vasili Hauryliuks, Lund (molekylär biologi), och Sebastian Westenhoff, Uppsala (kemi).

Hovrätten gick på grevens linje

Hovrätten rev i mars upp tingsrättens dom i "meteoritfallet", och ger därmed markägaren äganderätt till meteoriten.

■ I november 2020 föll en meteorit norr om Enköping. Efter flera veckors letande lyckades geologerna Andreas Forsberg och Anders Zetterqvist lokalisera stenen. Markägaren, greve Johan Benzelstierna von Engeström, hävdade dock att meteoriten var hans, eftersom den låg på hans mark.

Svensk lagstiftning ger ingen tydlig vägledning i fallet och därför kommer det slutliga domslutet att bestämma förutsättningarna för all framtida meteoritletning i Sverige. I december 2022 dömde Uppsala tingsrätt till Forsbergs och Zetterqvists fördel, men nu river alltså hovrätten upp den domen.

Forsberg och Zetterqvist argumenterade att allemansrätten borde gälla för meteoriter, men hovrätten bedömer att eftersom meteoriten består av ämnen "som redan förekommer i jordytan och som till sin art och beskaffenhet inte enkelt kan skiljas från vad som vanligtvis är att betrakta som fast egendom i egenskap av en del av jorden" så ska den räknas som en del av den fastighet den faller på.

– Vi har gjort bedömningen att det som ligger närmast till hands är att betrakta meteoriter eller rymdstenar som en del av fast egendom, precis som andra stenar, säger hovrättsrådet Robert Green i ett pressmeddelande.

Benzelstierna von Engeström har lovat att lämna meteoriten till ett museum, och säger till flera medier att detta är en seger för allmänheten. Forsberg och Zetterqvist, som efter upphittandet lämnade meteoriten till Naturhistoriska riksmuseet där den i nuläget förvaras, är förstärkt besvikna. I mitten av april överklagade de domen till Högsta domstolen.

CHRISTINA KJELLSTRAND
Fysikaktuellt



FOTO: A FORSBERG/A ZETTERQVIST

Läs mer
om fallet i *Fysikaktuellt* nr 1/2022 och *Fysikaktuellt* nr 1/2023.

Under våren hade också en dokumentärfilm om fallet, med titeln *Meteoriten*, premiär.

Rättelse
i *Fysikaktuellt* nr 1/2022 råkade vi skriva fel år för meteoritens nedslag. Rätt ska vara att den slog ner den 7 november 2020.

Fortbildning för lärare

Höstterminen 2024

Sen anmälan öppnar 15 juli!

DISTANSKURSER

Scratchprogrammering för lärare (LFY022)

Sommarkurs, startar 14 juni, öppen för anmälan nu!

Fysik och teknik i förskolan (LFY062)

Programmering i Python och AI (LFY032)

Fysik med didaktiskt perspektiv A:

Mekanik samt Termodynamik (FYF131)

KVÄLLSKURSER

Stjärnorna och vintergatan (ASF010)

CAD för 3D-skrivare (FYD050)

Interstellär kommunikation (ASF905)

Etnoastronomi (ASF907)

BEHÖRIGHETSGIVANDE KURSER DAGTID

Teknik 3: Elektricitet, mekanik, material, ämnesdidaktik (LGTK32)

Teknik 4: Elektronik, modern teknik, 3D-CAD, digital didaktik (LGTK42)

Fysik 3: Mekanik samt ellära (LGFY31)

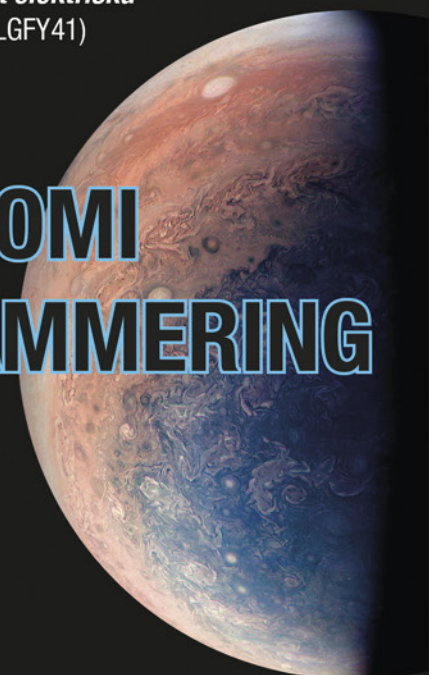
Fysik 4: Modern fysik samt elektriska kretsar och mätteknik (LGFY41)

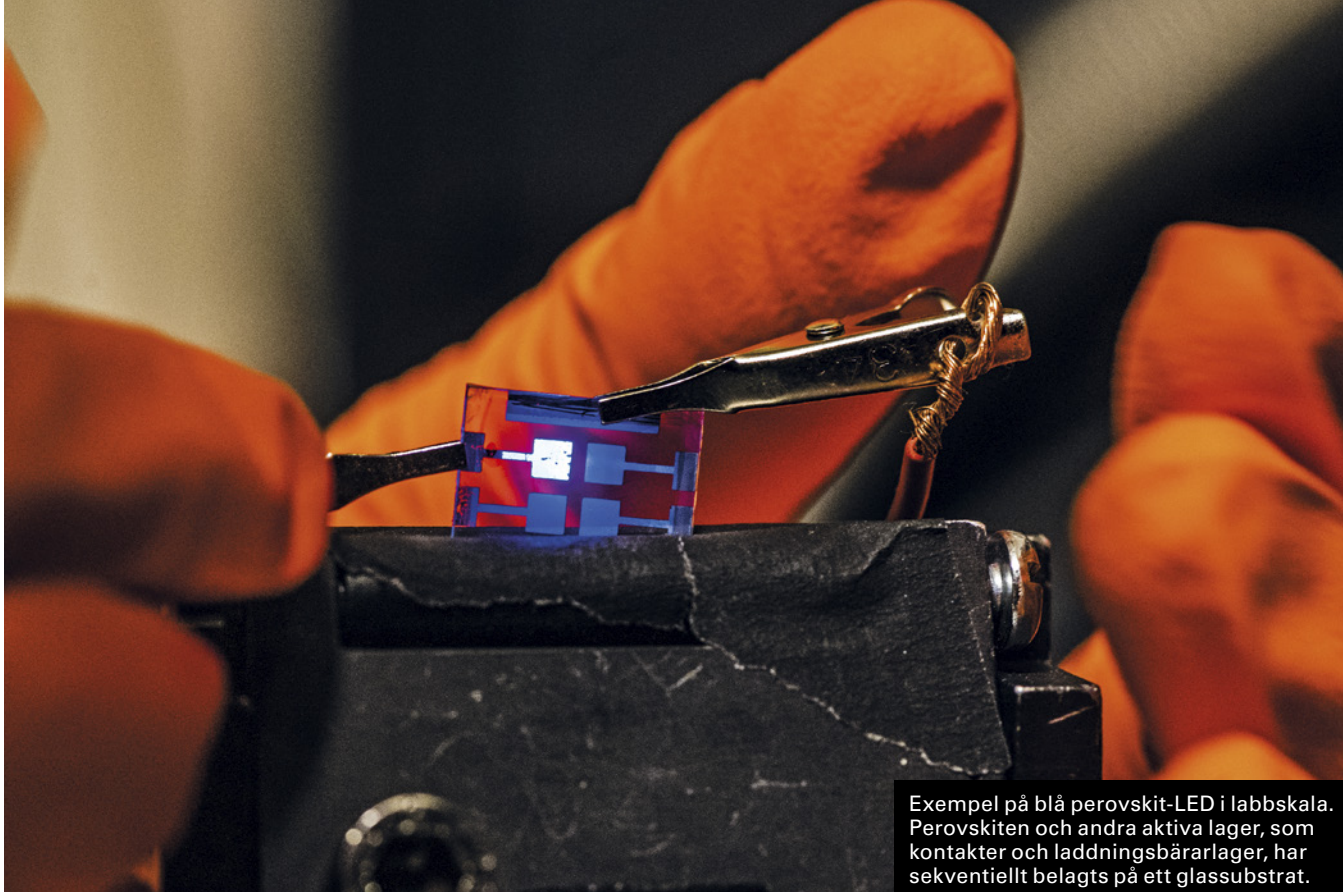
FYSIK

ASTRONOMI

PROGRAMMERING

TEKNIK





Exempel på blå perovskit-LED i labbskala. Perovskiten och andra aktiva lager, som kontakter och laddningsbärlager, har sekventiellt belagts på ett glassubstrat.

OSEENMEDALJEN 2024

Problemet med de blå perovskiterna

Billiga byggstenar i kombination med enkla och energisnåla tillverkningsprocesser har gjort metall-halid-perovskiter till ett hett ämne för en rad olika optoelektroniska tillämpningar. Blå lysdioder har dock än en gång¹ visat sig sätta käppar i hjulet för praktisk tillämpning. I sin avhandling undersöker **Max Karlsson** hur olika dynamiska processer påverkar dessa material och hur dessa hinder kan finna lösningar.

Att på olika sätt att lysa upp världen omkring oss har alltid varit viktigt för oss människor, inte minst här i Sverige. I vårt moderna samhälle har ljuskällor tagit en mer central plats än någonsin tidigare. Numer använder vi dem inte bara till att lysa upp vår omvärld, utan också i form av skärmar som tillhand-

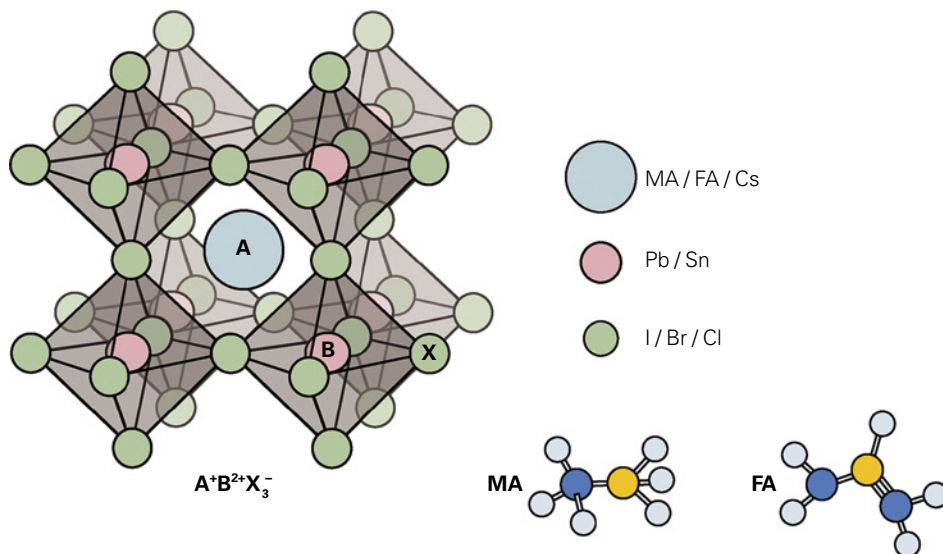
håller information, var vi än befinner oss. Denna användning är något som bara lär öka med tiden.

Trots att artificiell belysning har utvecklats och blivit alltmer effektiv står den för en betydande del av världens energikonsumtion. Det är därför av stor vikt att hitta nya lösningar som är mer

energieffektiva, både att tillverka och att använda.

Metall-halid-perovskiter är en grupp material som rönt stora framgångar som

¹ Isamu Akasaki, Hiroshi Amano och Shuji Nakamura tilldelades 2014 års Nobelpris i fysik för att ha knäckt problemet med att skapa blå lysdioder. Läs mer i *Fysikaktuellt* nr 4/2014.



En skiss över perovskiters kristallstruktur och de vanligaste ingående beståndsdelarna. MA (methylammonium) och FA (formamidinium) är exempel på molekyler som kan ta en stor atoms plats i kristallgittret.

Dynamics in Blue Emitting Metal Halide Perovskites for Light Emitting Diodes

- Författare: Max Karlsson
- Linköping universitet, 2023
- ISBN: 978-91-7929-585-1
- Länk till avhandlingen: www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1729782/FULLTEXT01.pdf
- Handledare: Feng Gao, professor, Linköping och Tze-Chien Sum, professor, Nanyang Technological University, Singapore.
- Opponent: Prof. Barry P Rand, Dept. Electrical and Computer Engineering and Andlinger Center for Energy and Environment, Princeton Univ.



solcellsmaterial, där de efter endast lite mer än ett decennium av forskning tävlar med väletablerade material med avseende på effektivitet (läs mer i *Fysikaktuellt* nr 2/2021). Deras stora charm ligger i en kombination av billiga beståndsdelar, enkel tillverkning och utmärkta optoelektroniska egenskaper, och de har träffande beskrivits som ”fattigmans” högeffektiva halvledare. En unik fördel är möjligheten att lösa upp de grundämnen som perovskiter består av i organiska lösningsmedel, och på så sätt tillverka ”bläck”, inte helt olikt skrivarbläck, som kan spinnas till tunna filmer (vilket jag gjorde under min doktorandtid), eller potentiellt tryckas på ungefär samma sätt som man trycker med trycksvärta på tidningspapper.

SOM LYSDIODEMATERIAL HAR perovskiter dessutom visat sig vara lovande kandidater till att komplettera eller ersätta mycket av dagens teknologi. Detta genom en snabbt ökande effektivitet, hög färgrenhet och möjlighet att kontrollera deras egenskaper på till synes okomplicerade sätt.

Genom att reglera förhållandet mellan perovskitens ingående beståndsdelar kan man kontinuerligt styra våglängden på ljuset de avger från infrarött till ultraviolett, vilket inkluderar alla färger vi kan

uppfatta med våra ögon och lite därtill. Detta görs lättast genom att styra halten mellan jod, brom och klor i materialen, men färgen går också att ändra genom att reducera materialens storlek och göra dem väldigt tunna, eller riktigt små. Detta skapar stora möjligheter att designa perovskitmaterial för en mängd olika ljusstilmpningar.

MIN AVHANDLING FOKUSERAR på perovskiter för blått ljus. Blått ljus är en förutsättning både för färgskärmar, där det alltid är en av tre ingående primärfärger (tillsammans med rött och grönt), och för belysning, där blått ljus omvandlas till vitt i en nedkonverteringsprocess. Att tillverka perovskiter som avger blått ljus har dock visat sig vara lättare sagt än gjort.

Ett problem som varit svåröst är att blå perovskitlysdioder blir gröna när man använder dem. Detta har sin grund i att brom och klor, som används för att generera blått ljus, segregerar när dioden används och bildar brom- och klorrika områden, vilka har annan färg än blandningar av dem. Mitt forskningsarbete har gett resultat för förbättrade perovskitdioder genom att identifiera olika dynamiska förlopp som lett till destruktion av lysdioden, och föreslå hur vi kan kontrollera dessa förlopp.

I DEN FÖRSTA STUDIEN visade vi att det redan under tillverkningen kan bildas små områden rika på brom och klor, som sen är drivande i färgskiftningen under användning. Vi visade också att, och exempel på ▶

Oseenmedaljen

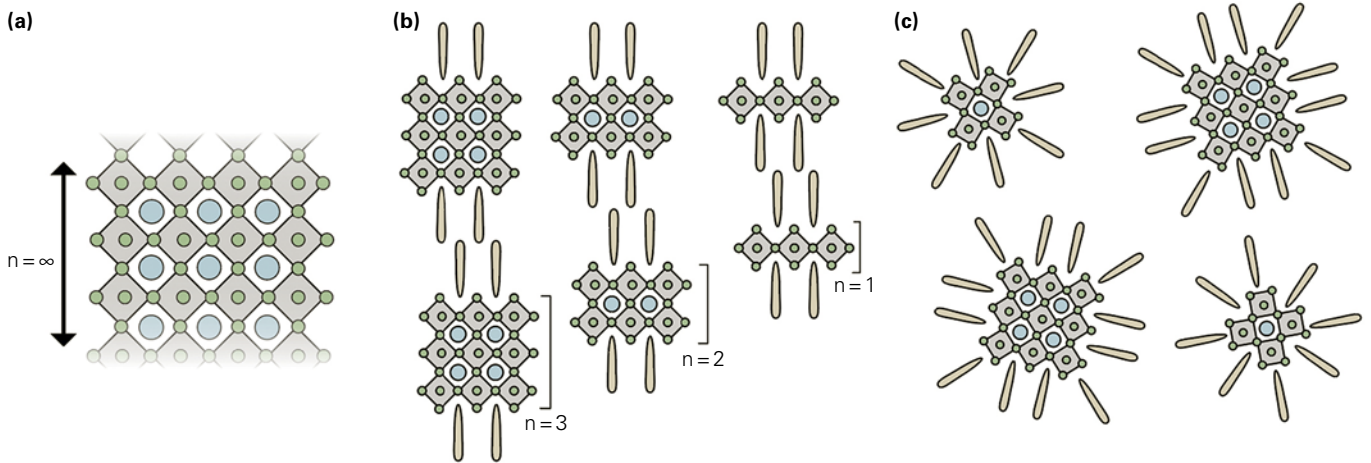
Svenska fysikersamfundet delar sedan år 2020 ut Oseenmedaljen för bästa avhandling i fysik i Sverige. Möjliga mottagare av priset är personer som har försvarat en doktorsavhandling i fysik vid ett svenskt universitet under föregående år.

De institutioner som är stödjande medlemmar till Svenska fysikersamfundet



kan skicka in nomineringar. Pristagaren erhåller en medalj, ett diplom och 100 000 SEK. Prissumman är en donation från Marcus och Amalia Wallenbergs minnesfond.

Oseenmedaljen 2024 tilldelas Max Karlsson från Linköpings universitet, ”för hans bidrag till utvecklingen av mer stabila och effektiva perovskitbaserade lysdioder”.



Om man tillför långa organiska joner som inte får plats i kristallstrukturen (a) kan man separera atomplanen och tillverka tvådimensionella material (b), eller kvantprickar (c). "n" betecknar strukturens dimension.

► hur, dessa områden kan minimeras genom att styra kristallisationen, vilket har till följd att våra blå lysdioder håller sig blå.

I en lysdiod vill man att all elektrisk ström som skickas in omvandlas till ljus. De elektroner som utgör strömmen kan dock fastna i imperfektioner, så kallade defekter, i materialet. När de fastnar kan de inte längre bidra till att producera ljus, utan blir istället värme. I en uppföljningsstudie visade vi att just de brom- och klorrika områdena inte bara gör perovskiten färginstabil, de drar också ned effektiviteten genom att introducera en mängd defekter. Genom att homogenisera materialet kan mängden av dessa defekter minimeras, och lysdioderna göras mer effektiva.

ETT AV DE STÖRSTA problemen för perovskitlysdioder i allmänhet, och blå perovskitlysdioder i synnerhet, är deras dåliga driftstabilitet. Till skillnad från kommersiella lysdioder, som kan hålla i decennier, så har blå perovskitdioders livslängd länge mätts i minuter, eller i bästa fall nu i timmar. Det är vedertaget att en stor del i detta kommer sig av att joner i dessa material rör på sig när man lägger på en spänning för att driva lysdioden. När jonerna vandrar genom materialet påverkas lysdiodens elektriska egenskaper negativt. I vår tredje studie visade vi att detta förvärras i brom- och klorblandningar, där driftstabiliteten blev sämre ju mer klor vi adderade. I ett perfekt material sitter ato-



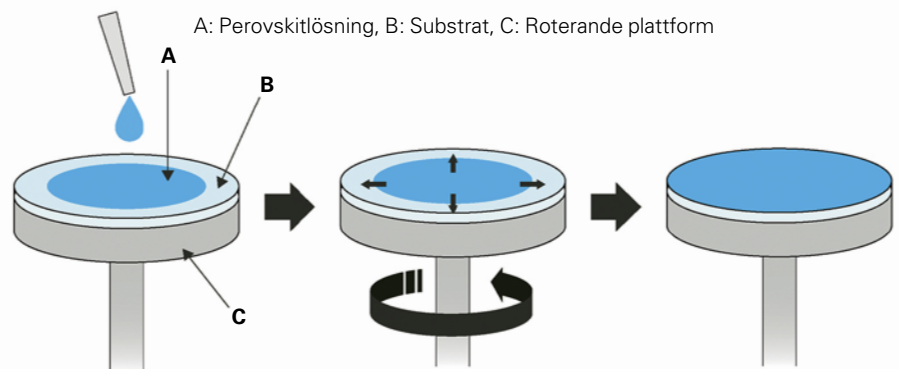
FOTO: OLOV PLANTHABER

Perovskitens grundämnen upplösta i organiskt lösningsmedel, som sedan används som bläck vid tillverkning av filmer, solceller, lysdioder, med mera.

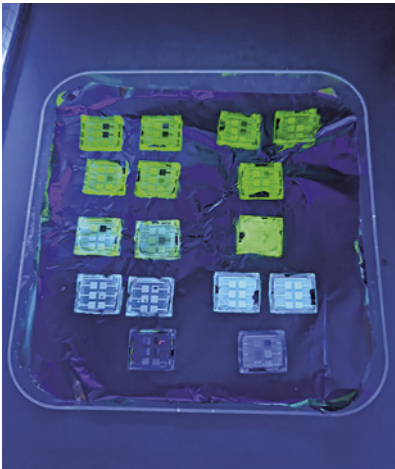
merna prydligt ordnade i förhållande till varandra, och det är med viss svårighet en jon rör sig genom materialet. När klor tillsätts skapas oordning, och nya, lättare vägar för joner att röra sig genom materialet

introduceras – vilket leder till än sämre stabilitet. Vi visade därmed vikten av att "låsa" fast de rörliga jonerna genom att skapa välstrukturerade material för att kunna realisera stabila blå perovskitlysdioder.

Till sist försökte vi ta fram metoder för att undvika de svårigheter som kommer med att blanda brom och klor. Istället använde vi klorfria perovskiter och justerade ljuset genom att göra dem väldigt tunna (några atomlager tjocka), vilket blåförskjuter ljuset. Under tillverkning bildas oftast en blandning av lager av olika tjocklek samtidigt i dessa material. När fria laddningar introduceras, till exempel då man skickar in en ström som i en lysdiod, så kanaliseras de och ansamlas mycket effektivt i de delar av materialet



Skiss över den i labbskala mest använda metoden för att tillverka perovskitfilmer – spinbeläggning. En enkel och tillgänglig metod som snabbt låter en testa många olika tillverkningsparametrar.

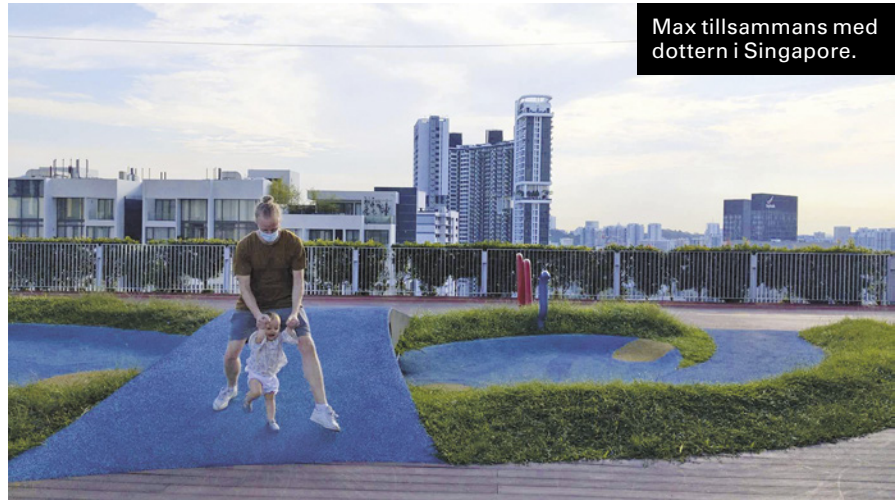


Perovskitfilmer under UV-lampa.

som består av tjockast perovskiter. Detta har positiva effekter, som till exempel att tidigare nämnda defekter snabbt fylls och oskadliggörs, vilket gör dessa perovskiter effektiva. Denna effektiva kanalisering är något som tidigare eftersträvats starkt, och många metoder för att förbättra kanaliseringen har undersökts. Men vid höga strömmar leder denna ansamling av laddningar också till skadliga processer, där laddningarna istället för att avge ljus omvandlar energin till värme. Detta gör lysdioderna mindre ljusstarka och försämrar hållbarheten. Vi visade att genom att gå emot tidigare principer om att maximera nämnda kanalisering, och istället arbeta för att försämra den, kan de negativa effekterna minimeras och därmed kan ljusstarka perovskiter realiserars även vid höga strömmar.

Precis som för tidigare teknologier så har blått ljus visat sig vara ett stort hinder även för perovskiter. Men om vi ska ha praktisk användning av lysdioder av dessa material så är det blå ljuset en förutsättning. Fynden i denna avhandling inger dock hopp, och vi hoppas att de har betydelse även på bredare front och kan komma till gagn för andra optoelektroniska tillämpningar som lasrar, fotodioder och solceller.

MAX KARLSSON
Linköpings universitet



Max tillsammans med dottern i Singapore.

FOTO: PRIVAT

Från musik till fotonik och materialvetenskap

Max Karlssons nyfikenhet har tagit honom från estetisk linje på gymnasiet i Eskilstuna till doktorandstudier där han delade sin tid mellan Linköping och Singapore.

Jag träffar på ett zoomsamtal en nyfiken forskare som inte slösar tid på ointressanta saker. Max Karlsson tog studenten i Eskilstuna på musik- och estetlinjen. Trots det lockade naturvetenskap honom som nybliven student, vilket ledde honom till Ångströmlaboratoriet i Uppsala och ingenjörstudier.

Musiken fanns med även under studietiden med körsång i Sörmland-Nerikes nation och gitarrspelande. Det var också i Uppsala som han träffade sin blivande fru.

Som färdig, examinerad civilingenjör, var det dags att försöka sig på industrin nu? Max provade att jobba inom flygindustrin i Trollhättan i ett år, men det motsvarade inte förväntningarna på skapande och kreativitet, vilket förde honom tillbaka till universitet för att doktorera.

– Den tanken hade redan funnits i bakhuvudet, säger han.

När Linköping utlyste en delad doktorandtjänst vid Nanyang Technological University i Singapore, och dessutom

inom områdena materialvetenskap och fotonik, slog Max och hans fru till. Flyttlasset gick till Linköping och senare till Singapore med en nyfödd dotter. Nu blev det lysdiodsforskning med forskargruppen i Singapore och den stora forskargruppen i Linköping.

Max snappade upp en del kinesiska, och har erfarenhet av att arbeta i internationella forskargrupper. Vid sidan av doktorerandet försökte han få tid till att klättra och träna, men som familjefar i den växande familjen blev det svårare att hitta balans med forskningen. Så redan innan Max hunnit disputerat hade han siktet inställt på att flytta ut i fotonikindustrin, och har nu hittat ett för honom attraktivt arbete i hos Thorlabs i Mölndal.

Nu är familjen förenad med fru, som arbetar som barnmorska, tre barn på 0, 2 och 4 år, och en pappa som löser problem inom teknik, och som verkligen har hittat hem. Max kan se tillbaka på en dryg tioårsperiod som verkligen gett honom inblick i vad livet kan ge. Naturvetenskapliga upptäckter och problemlösningar förenat med kultur – framtiden blir ett äventyr för denne nyfikne forskare. Lycka till Max!

ELISABETH RACHLEW
Prof.em., KTH

Så funkar regnbågen

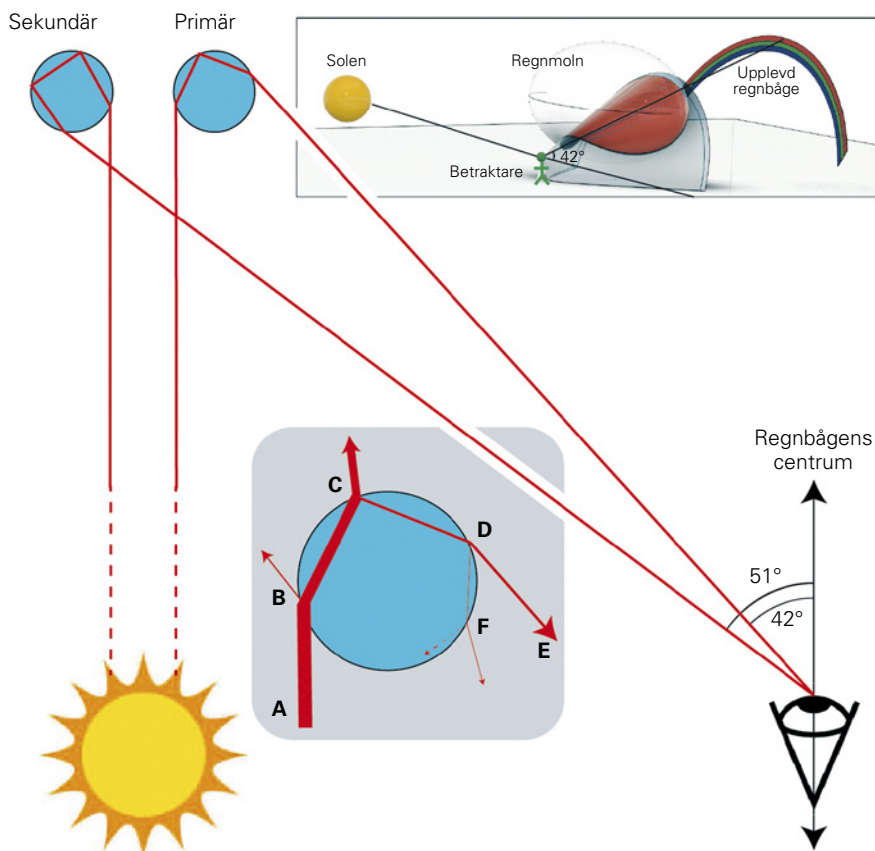
Efter regn kommer sol – och har man tur får man se en vackert lysande **regnbåge**. I Bibeln skapar Gud den som ett löfte om att inga fler syndafloder ska komma. I irländsk folkstro finns en skatt vid regnbågens slut, och i den nordiska mytologin förbinder den människornas värld med Asgård. Men vad är regnbågen egentligen, och hur funkar den?

Jag bor på slätten strax utanför Lund. Eftersom vi har en outröttlig hund promenerar jag ofta, långt och i alla väder. Jag har även (som de flesta numer) en alldeles utmärkt kamera i fickan; som bekant är den bästa kameran den man har med sig. Sammantaget har detta lett till en hel del bilder av regnbågar.

Regnbågar fascinerar oss för att de är vackra, flyktiga och svåra att förutspå. Den enklaste typen är relativt lätt att förklara, men som med allt annat blir den mer intressant ju fler detaljer man studerar.

En regnbåge är ett ljusfenomen som i grunden bygger på *reflektion* av (sol)ljus i vattendroppar. Färgerna i regnbågen beror på att ljuset dessutom genomgår *refraktion*, alltså att det bryts i gränsen mellan luft och vatten. Detta eftersom brytningsindex för olika våglängder skiljer sig åt en aning. Bågen är alltså en spegelbild av solen, och precis som i en platt spegel är det fråga om en virtuell bild. Varje betraktare ser sin egen regnbåge, den är inte ett fysiskt objekt, och den har följaktligen inget ”slut” där du kan hitta guld. Ljuset som träffar betraktarens öga (eller kamerans CMOS-sensor) kommer från ett koniskt ”skal”, där konens axel är linjen från solen genom betraktaren. Varje belyst regndroppe inom konen bidrar till regnbågen med en enda färg i en enda punkt. Den övre lilla bilden i figur 1 är ett försök att illustrera detta: rött markerar den del av det koniska skalet där det även finns ett belyst regnmoln och som alltså bidrar till regnbågen.

Den vanliga, primära, regnbågen uppstår när ljuset reflekteras en gång i en droppe (A-B-C-D-E i figur 1). Reflektionsvinkeln och brytningsindex



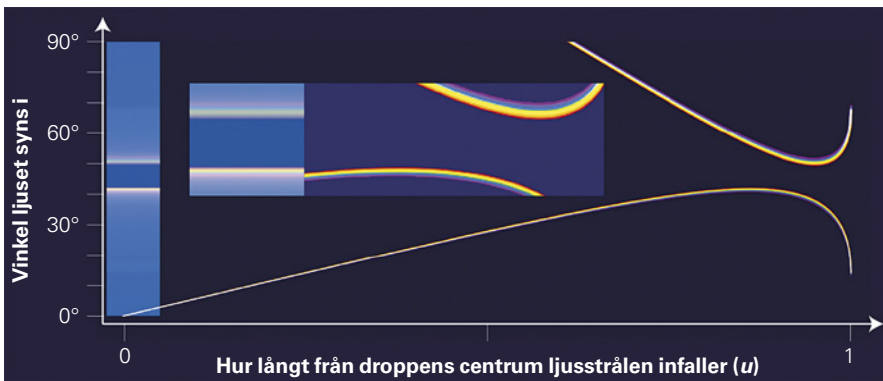
FIGUR 1 Strålgången från solen till ögat för en och två reflektioner i vattendroppar. Den röda delen i den övre lilla bilden är den del av ett belyst regnmoln som bidrar till regnbågen sett från betraktaren. Den nedre lilla bilden illustrerar även övriga reflektioner och refraktioner i regndroppen; linjens bredd illustrerar hur mycket ljus som går respektive väg.

gör att det reflekterade ljuset har sin största intensitet vid 40,6–42,3 graders vinkel, beroende på våglängd. Om solen står högre än ca 42° kommer därmed hela regnbågen att ligga under horisonten. Middagsregn vid midsommar leder alltså inte till regnbågar, åtminstone inte söder om Storuman.

Figur 1 visar översiktligt strålgången

för den primära (en reflektion) och den sekundära (två reflektioner) regnbågen. Den mindre figuren visar även de processer som inte leder till en regnbåge. Framför allt visar den att det *inte* är fråga om totalreflektion, vilket annars är en vanlig missuppfattning.

En ljusstråle som träffar en sfärisk vattendroppe reflekteras och bryts flera



FIGUR 2 En simulerad dubbel regnbåge: x-axeln är parametern u i ekvationen och y-axeln är vinkeln sett från betraktaren. Det vi ser är summan av intensiteten längs varje vinkel.



FIGUR 3 Dubbel regnbåge. Infällt band visar färgerna digitalt förstärkta.

gångar. Den totala ändringen i vinkel för ljusstrålen (A-B-C-D-E) ges av

$$\Delta\theta = k\pi + 2\arcsin(u) - 2(k+1)\arcsin\left(\frac{u}{n}\right)$$

där u anger hur långt från centrum strålen träffar droppen ($u=0$ rakt genom centrum och $u=1$ ute vid randen), k är antalet reflektioner och n är brytningsindex (som beror på våglängden). Man finner (vilket redan Isaac Newton gjorde) att denna funktion har ett maximum som ger en topp i intensitet kring 42° och 50° för $k=1$ respektive $k=2$. Toppen i intensitet beror på att $\Delta\theta$ har ett maximum vid ett visst u , vilket visas i figur 2, en simulerad regnbåge. Det vi ser med våra ögon visas till vänster i figuren, och är summan av intensiteten från alla olika infallande ljusstrålar ($0 \leq u \leq 1$) för varje vinkel.

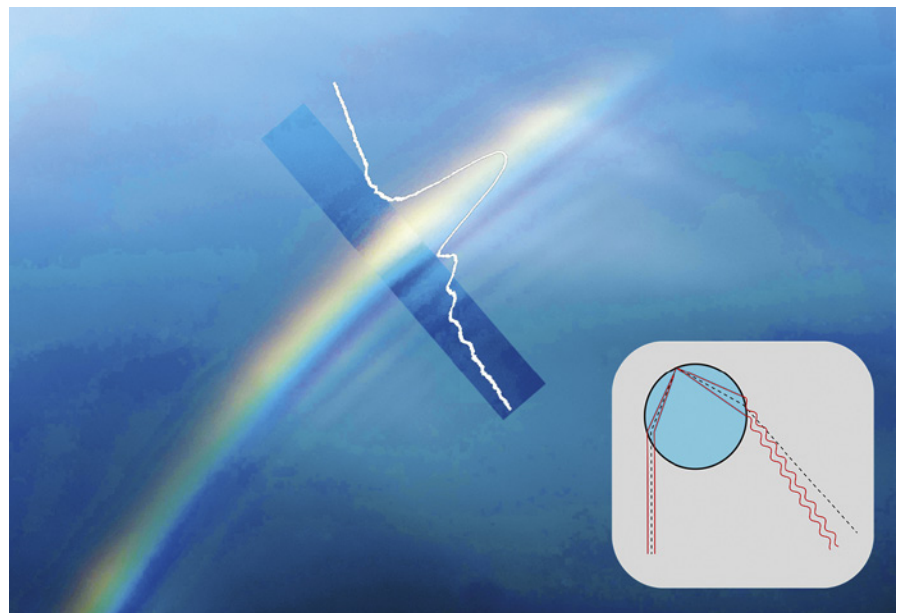
Vi kan göra några intressanta observationer i figur 2. För det första ser vi att regnbågen inte har lika tydliga färger som ett spektrum från ett prisma. Det beror dels på att summeringen längs varje vinkel leder till att färgerna blandas, dels på att solen inte är en punkt utan är cirka $\frac{1}{2}^\circ$ bred på himlen. För det andra ser vi att färgerna kommer i motsatt ordning i den sekundära bågen. För det tredje att det mellan den primära och den sekundära regnbågen finns ett mörkare område, som kallas *Alexanders mörka band* (efter Alexander från Afrodiasias). Detta band är egentligen den färg himlen skulle ha utan det reflekterade ljuset från regndropparna. Den ljusare delen av himlen inuti den primära och utanför den sekundära regnbågen är således också en del av

regnbågsfenomenet. Och för det fjärde, att den sekundära regnbågen är bredare än den primära. Figur 3 är mitt eget fotografi av en dubbel regnbåge, där alla dessa fenomen finns med. I verkligheten är den sekundära bågen betydligt svagare, vilket inte syns i simuleringen.

SÅ HÄR LÅNGT KOM Newton med sin teori om ljuset. Han ansåg som bekant att ljus bestod av ”korpuskler” med sju olika färger, och han trodde inte på teorin att ljuset är en vågrörelse. Han sade även explicit att vattendropparnas storlek inte spelar någon roll, så länge de är sfäriska.

Men det finns regnbågsfenomen som inte kan förklaras utan att ta hänsyn till att ljus är en våg. Här följer två exempel, där vi inte går in på detaljerade beräkningar.

Det första exemplet på vågeffekter är den så kallade supernumerära regnbågen, som ibland kan ses i närheten av toppen av en regnbåge (figur 4). Dessa extra bågar varierar ganska snabbt i intensitet, så man måste vara snabb med kameran. Fenomenet utreddes av Thomas Young 1804 och var en viktig faktor när ljusets vågnatur definitivt etablerades. Regnbågen för en viss våglängd har som ni minns sin största intensitet vid



FIGUR 4 Supernumerär regnbåge. Den lilla bilden visar konstruktiv interferens för två ljusstrålar som träffar vattendroppen på ömse sidor om den stråle som ger upphov till den primära regnbågen. Infällt band visar färgerna digitalt förstärkta.

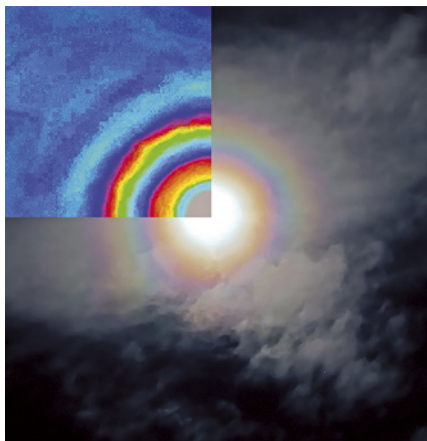


FIGUR 5
Dimbåge. Infällt band visar färgerna digitalt förstärkta.

► vinkeln $\Delta\theta$, vilket betyder att för såväl större som mindre u kommer betraktningens vinkeln att bli mindre. När droppen är tillräckligt liten (< 1 mm) får vi konstruktiv eller destruktiv interferens beroende på att ljuset färdats lite olika lång väg. Ju mindre dropparna är och ju mer lika de är i storlek, desto bredare, fler och tydligare supernumerära bågar syns.

Därefter har vi den så kallade dimbågen (figur 5), som uppstår om vattendropparna är väldigt små, typiskt mindre än $10 \mu\text{m}$. I så små droppar duger inte stråloptik alls, utan vi måste använda ren vågoptik. När dropparna är så små blir vinklarna mindre väldefinierade, och alla färger blandas åter till vitt ljus. Den svagare inre bågen i bilden är en supernumerär dimbåge.

ÄVEN MÅNEN KAN GE upphov till en regnbåge, men den syns vanligen inte för blotta ögat, eftersom fullmånens ljus är 500 000 gånger svagare än solens. I stället handlar mitt sista exempel om ett vanligt färgfenomen som *inte* är en regnbåge, nämligen koronan eller kransen som uppstår när månen lyser genom tunna moln. Även solen kan ge upphov till en korona (som inte är samma sak som en



FIGUR 6 Korona (eller krans) runt månen, ett diffraktionsfenomen. Infällt kvadrant visar färgerna digitalt förstärkta.

halo), men vi ser den mindre ofta eftersom det är svårare att titta rakt mot solen än mot månen. Även dammoln ger faktiskt en korona. Koronan är ett rent *diffraktionsfenomen*, som uppstår när molndropparna är tillräckligt små: ju mindre droppar desto större radie får ringarna. Det ljusa området i mitten, *aurolan* (en Airy-skiva för den som läst optik), syns för nästan alla tunna moln, men för att få flera yttre ringar, som i figur 6, måste molndropparna vara ungefär lika stora

– i detta fall betydligt mindre än 10 % standardavvikelse. Som aerosolfysiker passar jag på att lägga till att detta kan ske om molnet är helt nybildat, då alla droppar har samma tid–temperatur-historia. Färgerna i koronan beror på att längre våglängder interfererar konstruktivt vid större vinkel; vi ser även att färgerna kommer i samma ordning i de yttre ringarna, i motsats till den sekundära regnbågen.

Regnbågar är uppenbart vackra, men för att tala med Richard Feynman så kan förståelse bara förstärka skönheten. En kort artikel som den här kan inte gå in på detaljer, men jag hoppas att den har lett till viss ökad insikt.

MARTIN MAGNUSSON
Lunds universitet

Läs mer

John Naylor, *The Riddle of the Rainbow: From Early Legends and Symbolism to the Secrets of Light and Colour*, Springer, 2023

Marcel Minnaert, *Light and Colour in the Outdoors*, Springer, 1993

L. Cowley et al. "Rings around the sun and moon: coronae and diffraction," *Physics education* 40.1 (2005): 51

Min simulering av regnbågen i Python: tinyurl.com/yc5fx92a

Vad är det som rör sig i en nollpunktsfluktuation?

Den absoluta nollpunkten, som anges till 0 K eller $-273,15\text{ }^\circ\text{C}$, definieras i den klassiska fysiken som den temperatur vid vilken **all rörelse hos atomerna avstannar**. Men i kvantmekaniken lär oss Heisenberg att position och rörelsemängd inte båda kan vara bestämda samtidigt, och att detta måste gälla även när man går mot absoluta nollpunkten.

I kvantmekanikens nollpunktstillstånd har varken position eller rörelsemängd bestämda värden. I fysiktexter och uppslagsböcker talar man om "nollpunktsfluktuationer", "nollpunktsvibrationer" och "nollpunktsenergi", fenomen som kan bestämma egenskaper hos fysikaliska system, alltifrån de minsta atomära till de allra största inom kosmologin. Men vad är det egentligen för något som fluktuerar eller vibrerar i ett nollpunktstillstånd?

Det första experiment som tydde på att det kunde finnas ett speciellt tillstånd med denna egenskap var värmekapacitetens temperaturberoende hos molekylärt väte, som uppmättes av Eucken 1912. Dennes data kunde endast förklaras om man – som Einstein och Stern gjorde 1913 – antog att det fanns en temperaturoberoende term $\Delta U = \frac{1}{2}h\omega$ i rotationsenergin per molekyl, förutom de rotationsnivåer med $U = n \times h\omega$ som förutsades av Max Plancks "första kvantmekanik" från 1901, där n var ett heltal. Einstein och Stern stödde sitt antagande på en serietveckling av Plancks strålningslag $\rho(\nu) = (8\pi h\nu^3/c^3)/(\exp(h\nu/kT) - 1)$,

$$U = \frac{h\nu}{\exp(h\nu/kT) - 1} \simeq \frac{h\nu}{1 + h\nu/kT + \frac{1}{2}(h\nu/kT)^2 - 1}$$

$$= \frac{kT}{1 + \frac{1}{2}h\nu/kT} \simeq kT - \frac{1}{2}h\nu$$

som ger det klassiska resultatet $U = kT$ endast om U innehåller termen $\Delta U = \frac{1}{2}h\nu$.

De halvtaliga värdena fick sin förklaring när Heisenbergs och Schrödingers nya kvantmekanik publicerades 1925–26. Då förändrades i ett slag synen på fysikaliska tillstånd och deras egenskaper. Den nya kvantmekanikens harmoniska oscillator hade energisekvensen $E_n = (n + \frac{1}{2})h\nu$, och för en molekyl som roterar med vinkel-frekvensen ω blir $E_n = (n + \frac{1}{2})h\omega$, precis som Einstein och Stern hade antagit. Den nya kvantmekaniken förutsade att en partikels läge x och dess rörelsemängd p var bestämda endast inom ramen $\Delta x \Delta p < h/2$ (Heisenbergs obestämdhetsrelation) och att det skulle finnas ett nollpunktstillstånd Ψ_0 med $n = 0$.

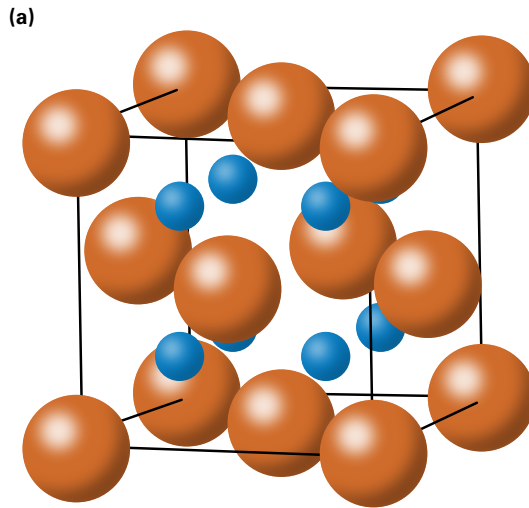
TIDIGT LETADE MAN EFTER nollpunktseffekter i röntgendiffraktion. Diffraktionsmönstren suddas delvis ut när temperaturen stiger och atomernas läge u fluktuerar med variansen $\langle u^2 \rangle$. Koherensen mellan spridningen från olika centra förstörs och ger för olika reciproka gittervektorer q dämpningarna, $\exp(-q^2 \langle u^2 \rangle)$, de så kallade Debye-Wallerfaktorerna (DW-faktorer, efter Peter Debye och Ivar Waller). Waller ansåg

år 1923 att en nollpunktsterm var alltför hypotetisk, men 1927 började han (tillsammans med James och Hartree) ändå leta efter evidens för en sådan. De fann att formfaktorns q -beroende $f_z(\mathbf{q}) = \int \rho(\mathbf{r}) \exp(i\mathbf{q} \cdot \mathbf{r}) d\mathbf{r}$ i röntgenstrålningen bättre kunde förklaras om man tog med en $\langle u_0^2 \rangle$ -term. Men det var inte förrän man gjort experiment vid lägre temperaturer som den framgick tydligt, först med röntgendiffraktion vid 78 K och senare, på 1960-talet, med neutroner vid 4 K. Då uppmättes $\langle u_0^2 \rangle = 0,013 \pm 0,002 \text{ \AA}^2$ för Mg-atomer i den hexagonala kristallstrukturen.

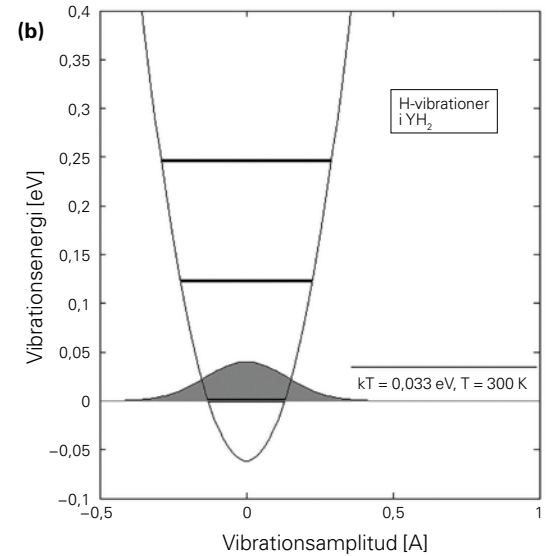
Det finns många subtila effekter av nollpunktstillstånd inom olika delar av fysiken, som till exempel Lambskiftet mellan $^2\text{S}_{1/2}$ och $^2\text{P}_{1/2}$ -tillstånden i väteatomerna, Casimireffekten som gäller attraktion mellan två parallella plattor på grund av vakuumfluktuationer i mellanrummet, och att flytande helium inte fryser ens vid de lägsta temperaturer. Men hur kontrollerar man enklast kvantmekanikens förutsägelser, och hur kan man mäta fördelningsfunktionen $f(x)$? Effekterna är störst för de lättaste elementen och ett sätt är därför att studera protoner i metallhydrid¹. Hos dem

¹ En *metallhydrid* är en kemisk förening mellan väte och någon metall.

NOLLPUNKTSFLUKTUATION



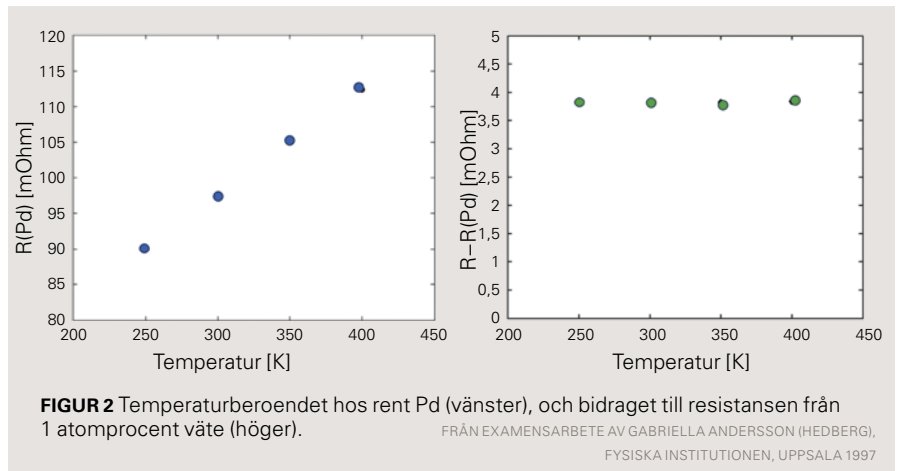
FIGUR 1 (a)
Väteatomer i en metallhydrid,
(b) Vibrationstillstånd i en harmonisk potential.



► ligger de lägsta vibrationstillstånden för protonerna vid ca 0,1 eV, motsvarande en temperatur av ca 1 000 K, vilket betyder att $\langle u_0^2 \rangle$ dominerar även vid rumstemperatur (figur 1b).

Vid låga vätekoncentrationer ligger väteatomerna H slumpmässigt fördelade i mellanrummen, men vid höga väteupptag bildar flera metaller ordnade strukturer av typen MH_2 , MH_3 där protonerna sitter i ett H-supergitter, som i figur 1a. Om en protons bindning i mellanrummet kan approximeras med en harmonisk (parabolisk) potential (figur 1b) säger kvantmekaniken att den i nollpunktsstillståndet har fördelningsfunktionen $n(x) = \exp(-x^2/2\sigma_x^2)$ kring jämviktsläget, vilket med en varians σ_x^2 motsvarar vårt tidigare nämnda $\langle u_0^2 \rangle$.

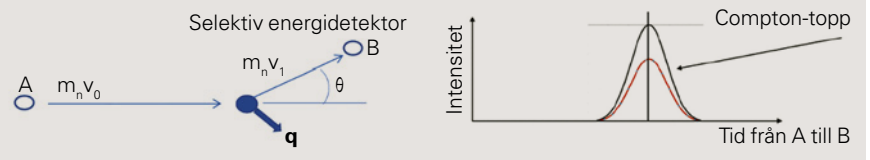
MAN KAN BÖRJA med att kontrollera att man har ett nästan rent nollpunktstillstånd upp till rumstemperatur genom att mäta resistansbidraget från väte vid låga koncentrationer (ca 1 %) i en metall som tar upp väte. I figur 2 har detta gjorts i temperaturintervallet 250–400 K för resistansen R hos $PdH_{0,01}$, och resultaten jämförs med $R(Pd)$ för rent palladium. För de tunga Pd-atomerna ökar träffytan för ledningselektroner ungefär linjärt med T på grund av deras svängningsrörelser, medan bidraget från väte, där $\langle u_0^2 \rangle_H$ dominerar, i stort sett är konstant.



FIGUR 2 Temperaturberoendet hos rent Pd (vänster), och bidraget till resistansen från 1 atomprocent väte (höger).

FRÅN EXAMENSARBETE AV GABRIELLA ANDERSSON (HEDBERG), FYSISKA INSTITUTIONEN, UPPSALA 1997

FIGUR 3 Uppställning för Comptonspridning.



Värdet på $\langle u_0^2 \rangle_H$ skulle man i princip också kunna få fram i mätningar av DW-faktorer. Det lämpar sig inte att göra vare sig röntgen- eller neutroindiffraction på protoner i kristaller men neutronerna erbjuder andra möjligheter. Om man går till högre energier, upp till 10–100 eV, får man Comptonspridning. Då rekyleter protonen och neutronens impuls minskar med $m_n \mathbf{v}_{in} - m_n \mathbf{v}_{ut} = \mathbf{q}$. Denna impuls tas upp av protonen, som får impulsen

$\mathbf{q} = m_n \mathbf{v}_{ut} \tan \theta$ och energin $E_p = \mathbf{q}^2/2m_p$. Vid Rutherford-Appleton laboratoriet i England finns en mätuppställning (figur 3) där man väljer ut händelser med en viss utgångsimpuls för neutronerna, $\mathbf{q}_{ut} = m_n \mathbf{v}_{ut}$, med hjälp av en neutronresonans i kärnan Au-197. Den tid det tar för neutronerna att röra sig från A till B i figur 3 mäts med löptidsteknik och resultatet kan sedan uttryckas i en energi- eller q-skala.

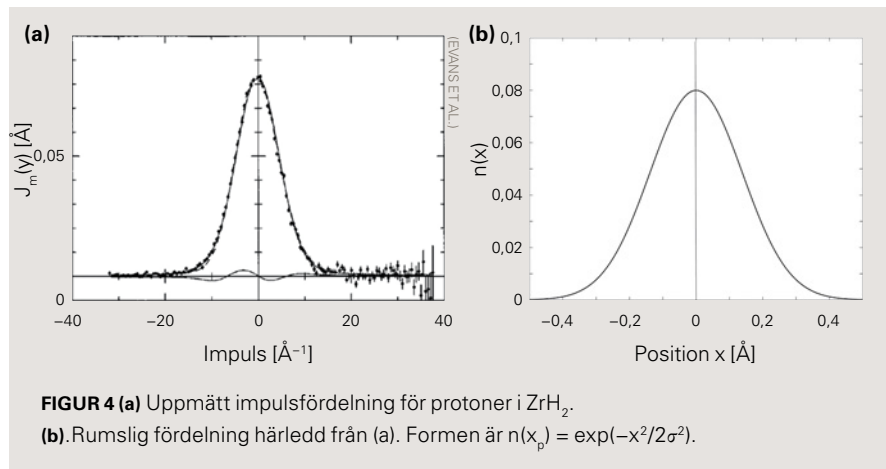
Om protonerna hade haft impulsen $\mathbf{p}_p = 0$ skulle man ha fått en bestämd löptid för varje vinkel θ . Men en serie mätningar ger en spridning omkring detta värde, den så kallade Compton-toppen, vilket beror på att protonerna har en impulsfördelning $n(\mathbf{p}_p)$ i nollpunktstillståndet och att jämvikt villkoret är $\mathbf{q} + \mathbf{p}_p = m_p \mathbf{v}_R$, snarare än $\mathbf{q} = m_p \mathbf{v}_R$, där \mathbf{v}_R är rekylhastigheten. Noggranna mätningar gjordes på 1990-talet på protoner i metallhydriden ZrH_2 av Evans och medarbetare. De mätte vid olika spridningsvinklar θ och summerade alla resultat i en enda kurva genom ett skalningsförfarande, där parametern y representerar protonens impuls (figur 4a). Mätpunkterna kunde mycket väl anpassas med en gaussisk form, $J(y) = (1/\sqrt{2\sigma_p^2}) \exp(-y^2/2\sigma_p^2)$ vilket tydde på att protonerna satt i en approximativt harmonisk potential. Spridningsmättet² vid $T = 300$ K var $\sqrt{\sigma_p^2} = 4,15 \text{ \AA}^{-1}$. Det förblev praktiskt taget oförändrat när man gick ner till $T = 20$ K.

Protonernas utbredning i rummet (figur 4b) får man fram genom en Fourier-transformation av uttrycket för $n(\mathbf{p}_p)$. Den blir $n(x) = \exp(-x^2/2\sigma_x^2)$ med variansen $(\sigma_x)^2 = 0,038 \text{ \AA}^2$, vilket är ekvivalent med vårt tidigare $\langle u_0^2 \rangle$. Protoner i metaller har alltså en typisk osäkerhet i sitt nollpunktsläge på ca $\pm 0,2 \text{ \AA}$, och deras rörelsemängd är spridd kring noll med typiskt $4 \text{ \AA}^{-1} = 4 \times h \times 10^{-23} \text{ kgm/s}$. Det gäller också att $\sigma_x^2 \sigma_p^2 = \hbar^2/4$, vilket överensstämmer med Heisenbergs relation $\sigma_x \sigma_p = \hbar/2$.

NÄSTA EXPERIMENT, som gäller den så kallade "väte-anomalin" i Compton-spridning av neutroner, visar tydligt att man måste uppfatta det som att protonen före mätningen befinner sig *samtidigt* i alla de impulstillstånd som anges av $n(\mathbf{p}_p)$ – och alltså inte oscillerar mellan dessa

2 $1 \text{ \AA}^{-1} = 1,054 \times 10^{-23} \text{ kgm/s}$ används inom neutronspridningen som enhet för impuls.

3 *Barn* (från engelskans "barn", lada) är en enhet för area och sannolikhet. Den visar hur stor sannolikheten är för att partiklar som rör sig mot objekt skall genomgå vissa reaktioner, och definieras som $1 \text{ barn} (b) = 10^{-28} \text{ m}^2$.



som i ett klassiskt svängningstillstånd. Om experimentet är arrangerat så att neutronen endast "ser" några få protoner i varje spridningshändelse visar det sig nämligen att man inte får tabellvärdet $\sigma_H = 82 \text{ barn}^3$ för tvärsnittet per proton, utan ett avsevärt mindre värde, ca 50 barn. Förklaringen är att när en neutron sprids från två protoner som ligger på avståndet \mathbf{d} uppträder en interferensterm

$$\frac{1}{2} [1 + \langle \exp(-i \mathbf{p}_p \cdot \mathbf{d}) \rangle^2]$$

Denna är lika med 1 (per partikel) för stillastående partiklar ($\mathbf{p} = 0$), men när \mathbf{p} är distribuerat i ett nollpunktstillstånd måste termen $\exp(-i \mathbf{p}_p \cdot \mathbf{d})$ integreras över alla samtidigt existerande \mathbf{p}_p , det vill säga

$$\int_{-\infty}^{\infty} n(\mathbf{p}_p) \exp(-i \mathbf{p}_p \cdot \mathbf{d}) d\mathbf{p}_p$$

Med typiska avstånd ($\mathbf{d} \approx 2 \text{ \AA}$) och impulsspridningar $\Delta \mathbf{p} \approx 4 \text{ \AA}^{-1}$ för protoner i metallhydrider så reduceras tvärsnittet till $\sigma_{\text{eff}} \approx 0,6 \sigma_H$ genom blandningen av spridningsfaser. Neutronens växelverkan med protonerna kan här ses som en "svag", det vill säga icke-förstörande, mätning som bevarar $n(\mathbf{p}_p)$. Ett bestämt \mathbf{p}_p väljs ut först när en av protonerna rekylar.

SPRIDNINGARNA I MÄTVÄRDEN för $n(x)$ och $n(\mathbf{p})$ är alltså det som ibland kallas *kvantfluktuationer*. "Fluktuationer" kan lätt leda tanken till att impuls och läge varierar med tiden, men så är det inte med nollpunktstillstånd.

Dessa tillstånd är helt stationära och impulsen (rörelsemängden) kan inte associeras med någon klassisk rörelse

av partiklar med massa. Uttrycket "fluktuation" avser här istället att upprepade mätningar resulterar i fördelningar av värden, där vågfunktionen kollapsar i ett läge med bestämd \mathbf{p}_p i varje enskild mätning. Vågfunktionen $\Psi(x, t) = \exp(-iE_0 t/\hbar) \Psi_0(x) = \exp(-iE_0 t/\hbar) |0\rangle$ innehåller visserligen en tidsberoende fasfaktor $\exp(-iE_0 t/\hbar)$, men den uppträder inte i uttrycken för $n(\mathbf{p}_p)$ eller $n(x_p)$ eller i uttrycken för partikelns energi. Den har däremot stor betydelse om man betraktar *superpositioner* av harmoniska tillstånd, $|0\rangle + \exp(-i\omega(E_1 - E_0)t/\hbar) |1\rangle$.

Sådana tillstånd utnyttjas som baser (qubits eller kvantbiter) i kvantdatorer, där fasfaktorn representerar en extra frihetsgrad utöver de binära tillstånden $|0\rangle$ och $|1\rangle$. Detta har visserligen inte realiserats med protoner som fysiska objekt, men många av de utvecklingar av kvantdatorer som pågår utnyttjar liknande superpositioner av "makroskopiska" kvanttillstånd $|0\rangle$ och $|1\rangle$ i supraleddare.

ERIK B. KARLSSON

Prof. emer. vid Institutionen för fysik och astronomi, Uppsala universitet

Läs mer

Evans A C, Timms D N, Mayers J and Bennington S M (1996) *Phys. Rev. B* 53, 3023

Karlsson E B (2022), "Scattering by atoms in zero-point states: From Debye and Waller to present days", *Trends in Physical Chemistry* 22, 1-15, doi.10.31300/TPC.22.2022.1-15

Karlsson E B (2024), *Advances in Quantum Chemistry* 89, 1 - 59, doi.org/10.1016/bs.aiq.2023.12.001

Jiachen Mi från Lund tog hem segern

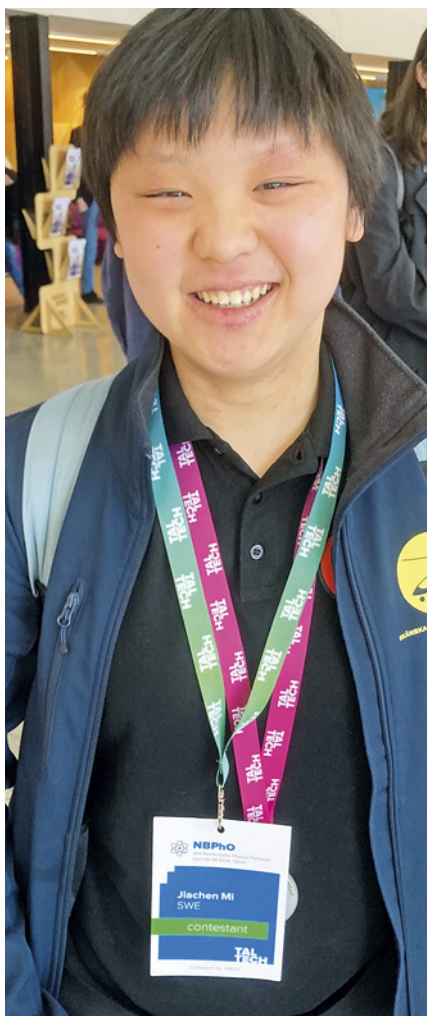
När årets upplaga av **Wallenbergs fysikpris** avgjordes sista helgen i april var det Jiachen, "Milly", Mi från Lund som tog hem förstapriset. I farten plockade hon även med sig en silvermedalj från den nordisk-baltiska fysikolympiaden där det i år var hela sju svenska elever som fick med sig medaljer hem.

Den nordisk-baltiska fysikolympiaden, NBPhO, är dels en tävling i sig, dels andra delen av finalen i Wallenbergs fysikpris. Därför åkte alla de arton svenska finalisterna till universitetet TalTech i Tallinn i slutet av april för att under två dagar tävla i fysik. Förutom olympiadens ordinarie medlemsländer Estland, Finland, Lettland samt Sverige deltog också gästande lag från bland annat Saudiarabien, Kazakstan och Vietnam. Totalt var det rekordmånga tävlande i år, över hundra.

Tävlingsuppgifterna var som vanligt på denna olympiad riktigt kluriga och intressanta. De tävlande fick bland annat försöka ta reda på hur mycket vatten som måste ha runnit genom den naturliga fissionsreaktor som var verksam i Oklo i Gabon för ungefär två miljarder år sedan, och hur lång tid det går i medel mellan att en viss plats på jorden får vara med om en solförmörkelse. Och ett exempel från de experimentella uppgifterna: Hur kan du bestämma massan per meter för en tunn tråd om den enda utrustning du har till din hjälp är en gradskiva och en liten häftklammer?

Fyra silver och tre brons

Allra bäst resultat på olympiaden fick Mihkel Rannut från Estland. Sju av de svenska finalisterna tog medaljer: Jiachen Mi från Katedralskolan i Lund, Alvin Sundberg från Uddevalla gymnasieskola, Teo Alvånger från Rymdgymnasiet i Kiruna och Lucas Johansson från Erik



Jiachen Mi tog hem segern i årets upplaga av Wallenbergs fysikpris trots att hon fortfarande går i årskurs 2.

FOTO: BENJAMIN VERBEK

Dahlbergsgymnasiet i Jönköping fick silver, medan Jack Collier Ryder från Minerva Gymnasium i Umeå, Markus Farnebäck från Berzeliusskolan i Linköping och Åke Amcoff från Södra Latins gymnasium i Stockholm fick brons.

Under olympiaden arrangeras också en orienteringstävling med fysikuppgifter vid kontrollerna. Här har Sverige abonnerat på de bästa placeringarna under många år och den fina traditionen höll i sig även denna gång: Fem av sju pristagare var svenskar och överst på prispalen stod Teo Alvånger. Mer information om NBPhO inklusive tävlingsuppgifter, lösningsförslag och resultatlistor finns på olympiadens hemsida, nbpho.ee/nbpho-2024.

Men för de svenska finalisterna i Wallenbergs fysikpris startade aktiviteterna redan i mars då fysikinstitutionerna på Chalmers och Göteborgs universitet bjöd på en träningsvecka i Göteborg med bland annat föreläsningar, träning på experimentell problemlösning och ett besök på Onsala rymdobservatorium. Under veckan arrangerades också den experimentella deltävlingen av finalen där tre olika uppgifter skulle lösas.

Problem med fettfläckar?

Hur blir man av med en förarglig fettfläck på ett tyg? Om kemikunskaper inte förslår kan man istället ta till fysik-kunskaper: Belys tyget lika mycket från båda sidorna så syns inte fläcken längre. Det var detta tyske Robert Bunsen (även



De svenska och finska ledarna under NBPhO diskuterar olika sätt att lösa uppgifterna med tävlingsansvarige Jaan Kalda.

känd för sin brännare och för upptäckten av spektralanalysen) utnyttjade när han uppfann "fettfläcksfotometrin" för att kunna jämföra olika ljuskällors ljusstyrka:

En klick matfett tas på ett finger och smetas ut i en cirkel på ett pappersark som sedan hängs vertikalt i ett stativ i ett mörkt rum. På ömse sidor om papperet placeras de ljuskällor vars ljusstyrka man vill jämföra. När ljuskällorna är lika starka kommer fettfläcken att bli (väsentligen) osynlig, annars kommer fettfläcken att se mörk ut på den ljusare sidan och ljus ut på den mörkare. Förhållandet mellan ljuskällornas ljusflöden kan alltså bestämmas genom att studera sambandet mellan ljuskällornas avstånd till fettfläcken då denna blir osynlig.

Det var denna gamla artonhundratalsmetod som togs till heder igen i en av uppgifterna under fysikveckans experimentella tävlande. Ljusflödena från en LED-lampa och från ett stearinljus skulle jämföras med det från en glödlampa för vilken ljusflödet var givet. Stämmer det att stearinljuset ger en candela? Hyggligt bra, visade det sig! 0,7 cd var vad stearinljuset bjöd på.

I den andra av de tre experimentella uppgifterna fick finalisterna undersöka något vi oftast försummar, hur utslagsvinkeln påverkar en pendels period. I den sista uppgiften gällde det att ta upp en mätserie som visade temperaturberoendet för resistansen hos en viss diod och utifrån detta avgöra hur stort bandgap dioden hade.

Som alltid krävdes det såväl kreativitet som laborationsvana och förmåga att hålla ett högt tempo av de tävlande. Endast 80 minuter per uppgift skulle räcka till att både genomföra experimenten och till att analysera och redovisa resultatet. Men momentet var uppskattat och det fanns blandade åsikter om vilken uppgift som var roligast. För Jacob Brzezinski Ädelroth från Danderyds gymnasium var det fettfläcksproblemet:

– Jag håller på ljusuppgiften, kanske eftersom den gick ganska bra för mig. Dessutom var det väldigt mysigt med levande ljus ...

Kutaisi nästa

För de fem som nått de översta placeringarna i Wallenbergfinalen väntar nu, förutom prispengar, ett erbjudande om att representera Sverige i den europeiska fysikolympiaden, EuPhO, som arrangeras i Kutaisi i Georgien i juli. Tyvärr blir detta årets enda sommarolympiad för oss. IPhO ska arrangeras i Iran, som står på UD:s

Tio i topp i Wallenbergs fysikpris

- 1 **Jiachen Mi**, Katedralskolan, Lund
- 2 **Markus Farnebäck**, Berzelius-skolan, Linköping
- 3 **Alvin Sundberg**, Uddevalla gymnasieskola
- 4 **Teo Alvånger**, Rymdgymnasiet, Kiruna
- 5 **Jack Collier Ryder**, Minerva Gymnasium, Umeå
- 6 **Jacob Brzezinski Ädelroth**, Danderyds gymnasium
- 7 **Sixten Lindhagen**, Rosendalsgymnasiet, Uppsala
- 8 **Lucas Johansson**, Erik Dahlbergs-gymnasiet, Jönköping
- 9 **Åke Amcoff**, Södra Latins gymnasium, Stockholm
- 10 **Mostafa Kerim**, Polhemskolan, Lund

lista över länder vi avråds resa till. Men sommarens EuPhO ser ut att bli en bra ersättning och ett verkligt internationellt arrangemang med drygt fyrtio anmälda laghittills.

Ett varmt tack till alla som på olika sätt bidrar till att fysikveckan och NBPhO blir en så minnesvärd tid för alla finalisterna: Olympiadledarna Erik Bryland, Melvin Storbacka och Benjamin Verbeek, föreläsare, provkonstruktörer, jurymedlemmar, Fysikcentrum i Göteborg, Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs Minnesfond och Skolverket.

ANNE-SOFIE MÄRTENSSON
Göteborgs universitet



Isbjörnsmaskoten Sven, omgiven av nöjda svenska finalister på väg hem efter NBPhO.



FOTO: ADOBE STOCK

Rare, medium eller well done? Stekgraden betyder oerhört mycket för så väl smak som struktur.

Sköt sommarens grillning som en fysiker

Grillning hör verkligen till sommarens höjdpunkter. Här möts fysiken och kemin i ljuv harmoni för att stimulera alla våra sinnen. Ofta känns grilldoften långt innan vi ser och hör hur köttbiten fräser över glöden. Känslan när vi sedan trancherar biffen gör att vi redan här inser hur gott det kommer att smaka och snålvattnet rinner till.

Konsten att omvandla ett stycke rätt kött till kulinariska höjder över en bädd av glödande kol har människan känt till i tusentals år. Lika länge har vi antagligen funderat på hur processen ska kunna fulländas. För att få till det perfekt krävs det en duktig fysiker (eller som man också kan säga: ”kock”) och rätt kontroll över de tre formerna av värmeöverföring: strålning, konvektion och värmeledning (konduktion). För att ge kemin förutsättningar att göra sin magi krävs det rätt temperatur på rätt ställen under väl avvägd tid.

För att optimera värmeöverföringen behöver vi känna till lite om kemin som vi vill uppnå. För medan en perfekt grillad



FOTO: JOHAN MAURITSSON

T-benstek i väntan på denaturering och Maillardreaktioner.

T-benstek med fin marmorering kan ge en fantastisk smakupplevelse kan samma köttbit bli otroligt torr och tråkig om den grillas för hårt och för länge. Samtidigt tycker ju inte alla om en blodig biff. Temperaturskalor för rare, medium och well done (och allt däremellan) kan man vanligen hitta för olika sorters köttbitar, men vad är det egentligen som händer i köttet? Vi måste dessutom fundera på hur vi vill att temperaturen ska vara fördelad när vi är klara.

KÖTT ÄR FULLT AV proteiner, lite förenklat kan det beskrivas som packade buntar av proteinfiber omgivna av lager med bindväv. När du lägger köttet på grillen och tempe-

raturnen stiger börjar fiberproteinet myosin veckla upp sig och denaturera. Samtidigt släpper det ifrån sig vatten som ansamlas i cellerna som i ett rör kring proteinfibrerna. Den här processen gör att köttet vid ca 50 °C är riktigt saftigt. Vill du hellre ha steken medium-rare låter du den gå lite till. Nu börjar snart proteinet att koagulera och ger en trädigare struktur, samtidigt som kollagenet i bindväven försvagas. När vi passerat 60 °C krymper bindväven allt snabbare kring muskeltrådarna och pressar ut vattnet, lite som när man vrider ur en handduk. Det fortsätter med ökad temperatur, vi förlorar alltmer av den rosa kärnan och går därmed från medium till well done. Vid 70 °C är köttet gråbrunt rakt igenom, proteinerna har denaturerat, vätska har kramats ur från de hopkrympta muskeltrådarna och kollagenet börjar istället smälta. Det stackars köttstycket har dödats en andra gång och är nu både hårt och segt.

MEN, OM DET GENOMSTEKTA köttet är torrt och segt, vad är det då som gör att köttet i långkok som ossu buco, eller pulled beef från en riktigt lång barbecue känns saftigt och nästan smälter i munnen? Här använder vi oftast inte de fint marmorade bitarna, där fett ger extra saftighet. Proteinets denaturering är irreversibel och muskelfibrerna är därför fortfarande lika stela och torra som i biffen ovan, men i dessa långkok har kollagenet smält och omvandlats till gelatin – en process som kräver både värme och tid. Bindväven bildar nu en mjuk, gel-liknande struktur. Den håller inte längre ihop muskelfibrerna i kompakta buntar, utan de faller isär och köttet upplevs därför som mörare och saftigare.

Men om målsättningen är att nå en centrumtemperatur på 54 °C, varför lägger vi då biffen nära glöden så att ytan närmar sig 200 °C? De smakrika Maillardreaktionerna som bildas vid hög temperatur, när protein får reagera med ett uns kolhydrater, ger själva essensen av grillupplevelsen. En kort stund med direkt värme ger en distinkt grillsmak också till grönsaker och vegetariska alternativ. Även om du föredrar kött som är riktigt genomstekt är en långsam indirekt grillning (eller kokning) som avslutas över hög, direkt värme alltid ett saftigare alter-



FOTO: JOHAN MAURITSSON

Konvektion och strålning styr hur biffens yta värms upp.

nativ till well done, och ger både en fin yta och dessutom bättre smak.

Ett elegant sätt att kontrollera värmeöverföringen även för den blodiga biffen är att använda samma utrustning som vi i *Fysikaktuellt* 3/2023 hade till att koka paj – en temperaturkontrollerad doppvärme (sous vide). På detta sätt undviker vi den ganska svårkontrollerade värmeöverföringen via strålning. Genom att placera vår biff i en plastpåse och sänka ned den i vatten som konstant håller 54 °C är vi garanterade att temperaturen i biffen inte går högre, och vi kan låta den ligga i så länge att vi säkert har en jämn temperaturfördelning. Under tiden har vi gott om tid att tända grillen och umgås med gästerna. 15 minuter innan det är dags att äta lägger vi våra biffar över glöden och ser till att ytan blir tillräckligt varm för att locka fram Maillardreaktionerna, det räcker antagligen med 2 minuter per sida innan vi tar av dem igen för att låta dem vila lite.

NÄR BIFFARNA ÄR GRILLADE mår de bra av att vila en stund, inlindade i aluminiumfolie, innan vi trancherar dem. Fysikern ler då lite i mjugg när hen noterar att många vänder folien på fel håll. Återigen handlar det om att kontrollera värmeöverföring, och nu vill vi bevara så mycket värme som möjligt i köttbiten.

Konvektion, strålning och konduktion

Värt att notera är att konvektion och strålning, oavsett om vi använder oss av värmeöverföring genom direkt eller indirekt grillning, eller kokning, främst styr hur biffens yta värms upp.

Transport av värmeenergi in i biffen sker däremot genom konduktion, som givetvis är beroende av ytans temperatur, men också av den övergripande sammansättningen mellan protein, kolhydrat, fett och vatten i biffen.

Även specifik proteinsammansättning och uppbyggnad av muskelstrukturen varierar mellan olika köttsorter, och även olika styckningsdetaljer från samma djur. Detta styr de temperaturskalor du säkert sett för olika köttsorter. Därmed är inte de 54 °C som i vårt exempel hugget i sten, men ett mycket bra riktmärke för vår T-benstek.

Om man studerar en bit aluminiumfolie ser man att de två sidorna är aningen olika, ytan på den ena sidan är lite mattare medan den andra är lite blankare. Många väljer då att vända den blanka sidan inåt och logiken är, antagligen, att värmestrålningen från köttet ska reflekteras tillbaka.

Men eftersom folien är i termisk kontakt med biffen kommer den snabbt att värmas upp genom ledning. Foliens låga massa och specifika värmekapacitet gör att vi inte förlorar så mycket värme från biffarna till folien innan de når termisk jämvikt. Istället för att oro oss om ifall folien värms upp är det bättre att se till så att hela paketet förlorar så lite energi som möjligt till omgivningen. Alltså ska den blanka sidan vändas utåt, eftersom en yta som reflekterar mycket av inkommande strålning också strålar ut mindre av sin energi (så länge köttet är varmare än omgivningen vill vi ju minska energiutbytet så mycket som möjligt).

Var det så mycket att tänka på att du glömde att kyla dina drycker? Nästa sommar tacklar vi det problemet.

En riktigt glad sommar med flera lyckade experiment i uteköket önskar vi er!

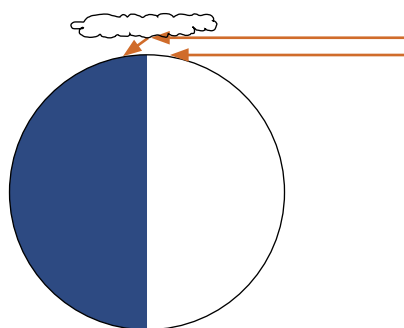
JOHAN MAURITSSON OCH MALIN SJÖÖ
Lunds universitet

Nattlysande moln gör osynliga vågor synliga

Har ni varit uppe när himlen börjat mörkna några av sommarens fina nätter? Då kanske ni har sett en vacker böljande slöja av tunna, ljusskimrande moln? I så fall har ni haft turen att se **de högsta moln som vår atmosfär kan producera**. Ni är inte ensamma om att titta på molnen. Det gör även Sveriges nya forsknings satellit MATS, som ska ta reda på hur annars osynliga vågor transporterar energi genom atmosfären.

De nattlysande molnen består av ispartiklar som bildas i den så kallade mesosfären på 80–90 km höjd, vilket är strax under det som vi brukar kalla gränsen till rymden (100 km). Detta kan jämföras med våra ”vanliga” moln som oftast håller sig under eller runt 10 km. Att de är så högt upp förklarar också varför de skiner så vackert. Det är helt enkelt så att den sjunkande solens strålar inte längre når jordytan och den nedre delen av atmosfären (troposfären), vilket gör att den mörknar, men de når fortfarande ispartiklarna vilka sprider ljuset vidare till oss (figur 1). Molnens lysande sken har gjort att de fått namnet ”nattlysande moln” även om de alltså i egentlig mening inte lyser. Visst är de vackra? Och de är även användbara, som vi strax ska se.

Det är egentligen mycket underligt att moln kan bildas så högt upp, eftersom det finns så lite vatten och trycket är så lågt att vattenmolekyler inte borde kunna forma vattendroppar eller ispartiklar – om de inte har någon hjälp i form av en kondensationskärna, det vill säga en liten partikel som attraherar vattenmolekylerna. Till skillnad från i troposfären, där det finns fullt av partiklar som kan tjänstgöra som kondensationskärnor, är luften i mesosfären mycket ren eftersom få partiklar från jorden någonsin når upp till dessa höjder. Man vet faktiskt fortfarande inte säkert vad det är för partiklar som tjänstgör som kondensationskärnor. En trolig



FIGUR 1 Schematisk bild av hur solens strålar sprids av molnen så att en observerande person på jordens nattsida ser dem som lysande.

teori är att de bildas av resterna av meteoriter, men man har inte kunnat bevisa det eftersom det är svårt att nå den här delen av atmosfären med mätinstrument. Luftballonger kan nå till max 50 kilometers höjd, och satelliter kan inte gå i omloppsbanor under 400 km utan att snabbt bromsas upp och falla ner. Det enda sättet att nå de nattlysande molnen för att undersöka vad de består av är därför raketer. Men det är inte lätt att ta prover när man bara har några sekunder på sig under vilka raketerna passerar det intressanta skiktet, innan den vänder och faller ner, och än så länge har man helt enkelt inte lyckats.

De pyttesmå ispartiklarna (mindre än 10 nm), som först bildas med hjälp av kondensationskärnan, är för små för att vi ska kunna se dem. För att de inte ska avdunsta

utan växa sig till ”stora” nattlysande molnpartiklar på ca 50 nm krävs att det är väldigt kallt. Därför kan dessa moln bara bildas på det allra kallaste stället i hela vår atmosfär: på 80–90 km höjd, vid höga latituder på sommaren (mer om varför det är den kallaste platsen senare). Även om vi i Sverige relativt ofta har lyxen att kunna se dessa moln så är de ovanliga, och kan alltså bara bildas under sommaren och, precis som norrskenet, bara på höga latituder. De moln som bildas nära polen går dock inte att se eftersom de är så tunna och himlen är för ljus under sommarnatten, så det är faktiskt runt våra svenska breddgrader man ser dem som bäst.

NATTLYSANDE MOLN HAR LÄNGE fascinerat oss människor och aktiv forskning kring hur de uppstår har skett i över ett århundrade. I och med att molnbildningen är så pass intimt kopplad till atmosfärens cirkulation och temperatur, och i och med att det är så svårt att nå denna del av atmosfären med mätinstrument, har man på senare tid börjat använda själva molnen som verktyg för att studera hur atmosfären på dessa höga höjder förändras.

Genom att observera molnens utbredning och genomsnittlig partikelstorlek på ispartiklarna (vilket kan göras från marken eller från satellit) kan man få information om hur till exempel temperaturen och kemin i atmosfärens övre delar ändras nu när temperaturen i troposfären stiger.



FIGUR 2 Nattlysande moln över Stockholms universitet.

De nattlysande molnen kan också hjälpa oss att få information om annars osynliga vågor som går genom lufthavet. Speciellt de atmosfäriska gravitationsvågorna (ej att förväxla med rymdens vågor i gravitationsfältet, som tyvärr bär samma namn) kan göra avtryck och på så vis visualiseras i molnen. Dessa vågor består av fluktuationer i tryck och temperatur som kan propagera hela vägen från marken upp till atmosfärens övre delar. Där man har lokala minimum i temperatur får man snabbare tillväxt av ispartiklar och molnet ser vitare ut. I figur 2 kan vi se hur en gravitationsvåg blir synlig tack vare molnet, som bildar ett randigt mönster som visualiserar vågens toppar och dalar. Dessa avtryck gör att molnen kan hjälpa oss att bestämma våglängd och utbredningsriktning på vågen.

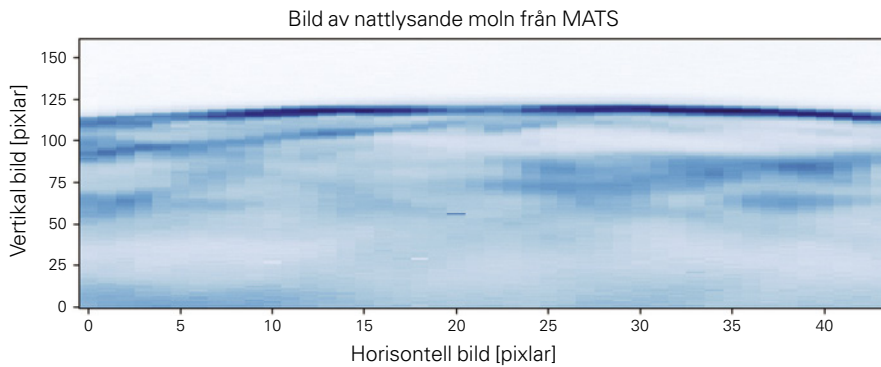
MEN, FÖRUTOM ATT det är vackert, varför bryr vi oss om dessa vågor och deras mönster i molnen? Och hur kommer det

sig att den kallaste platsen i vår atmosfär (där molnen alltså bildas) är över sommarpolen, där solen lyser dygnet om? Dessa frågor är faktiskt sammanlänkade.

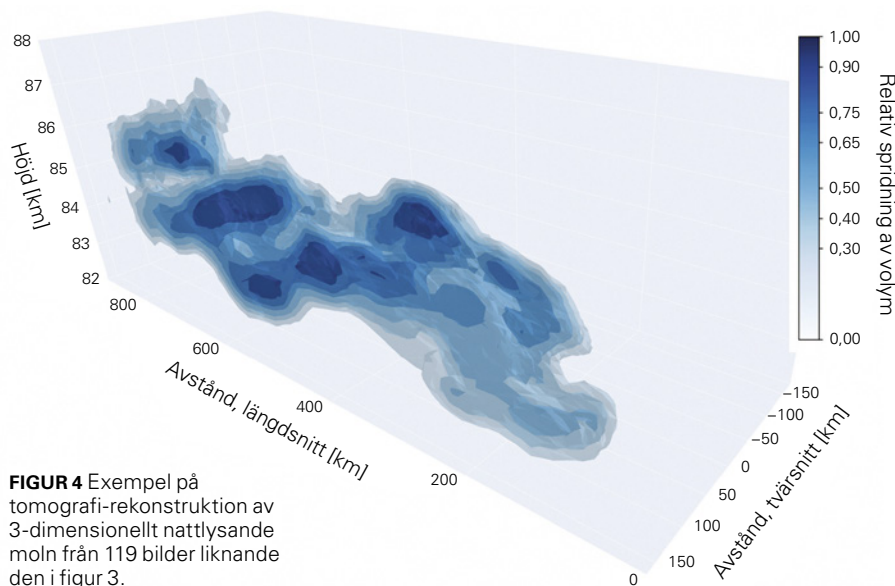
I troposfären värmer solstrålningen vanligtvis upp jordytan, som i sin tur värmer atmosfären. Vi får varma luftmassor vid ekvatorn och kallare vid polerna, speciellt vid vinterpolen. Vindarna och vårt väder uppstår i princip (med några undantag) genom att atmosfären försöker utjämna värmen. Varm luft strömmar alltså norrut på norra hemisfären, och söderut på södra hemisfären. Dessa luftströmmar böjs av på grund av Coriolis-kraften, så att vindarna i stället blir öst-västliga, men det som driver systemet är alltså en värmskillnad.

I mesosfären, där de nattlysande molnen finns, är det till stor del tvärtom – rörelseenergi driver en värmeförflyttning, ungefär som i ett kylskåp. Stora mängder rörelseenergi och rörelsemoment trans-

porteras uppåt i atmosfären med hjälp av – just det – gravitationsvågor. När vågorna bryter i mesosfären deponerar de energi. Precis som man kan känna att man dras med av en brytande havsvåg, dras atmosfären med när dessa vågor bryts och deponerar sin energi och sitt rörelsemoment, och det bildas en luftström från sommar- till vinterpolen. Vid sommarpolen bildas därmed ett undertryck och vi får uppåtströmmande luft. Stigande luft kyls som bekant ner när trycket sjunker och luften expanderar, vilket gör att det blir mycket kallt över sommarpolen. Det är alltså denna luftström, och vågorna som ger upphov till den, vi har att tacka för att vi kan skåda dessa vackra moln på sommarkvällarna. Den solbelysta sommar-mesosfären skulle annars vara mycket varmare, och molnen skulle aldrig bildas. Luftströmmen mellan halvkloten är faktiskt så robust att det finns ett mycket starkt samband mellan det datum när ▶



FIGUR 3 Exempel på 2-dimensionell bild av nattlysande moln från MATS limbteleskop. Molnen, som ligger på cirka 83 kilometers höjd, ses tydligast i tangenteriktingen men strukturer i för- och bakgrunden synliggörs också. Synfältet är cirka 50 km vertikalt och 200 km horisontellt. Pixlingen i bilden beror på att datan i de flesta fall måste grupperas ("binnas"), eftersom så många bilder tas att datamängden annars blir för stor för att sända till jorden.



FIGUR 4 Exempel på tomografi-rekonstruktion av 3-dimensionellt nattlysande moln från 119 bilder liknande den i figur 3.

► molnen börjar synas i vår svenska sommarnatt och temperaturen i stratosfären över sydpolen.

Det är alltså viktigt att veta hur mycket energi som transporteras, och vart, om man vill förstå hur atmosfären fungerar och konstruera korrekta atmosfärsmodeller. Och då är vi tillbaka på varför vi bryr oss om vågorna och deras våglängd och utbredningsriktning. Dessa parametrar är just vad som behövs för att räkna ut hur mycket rörelsemängdsmoment som vågen transporterar och deponerar.

VI PÅ STOCKHOLMS UNIVERSITET har, tillsammans med Chalmers, KTH,

Omnisys Instruments, OHB, AAC Clyde Space och Rymdstyrelsen, utvecklat en helt ny satellit för studera de nattlysande molnen och mäta de parametrar som behövs för att räkna ut hur mycket rörelsemängd som deponeras på olika ställen i atmosfären. Satellitens huvudinstrument är ett teleskop som ger oss högupplösta 2-dimensionella bilder av dessa moln, och av så kallat luftsken (figur 3). Detta är ett sken som uppstår på grund av syreövergångar i övre atmosfären, i vilket vågorna också gör avtryck. Genom att ta bilder på vågorna från olika vinklar när satelliten rör sig framåt i rymden, kan man med hjälp av tomografi (samma metod som används till exempel vid en

hjärnröntgen) skapa 3-dimensionella "bilder" från vilka vågparametrar kan bestämmas.

Satelliten, som heter MATS (Mesosfär, Airglow/Aerosol, Tomografi, Spektroskopi), sköts upp i omloppsbana i december 2022 och har än så länge gett oss ett halvt års observationer som vi nu arbetar med (i maj 2023 fick vi ett problem med satellitens styrning som vi i skrivande stund fortfarande håller på att försöka lösa). Efter en hel del bildbehandling och algoritmutveckling har vi nu lyckats skapa de första 3-dimensionella bilderna (figur 4).

Nästa steg blir att bestämma vågparametrar och räkna ut var och när energi och rörelsemängd deponeras. I vår data kan man tydligt se att vågaktiviteten varierar mycket på olika ställen på jorden, och det ska bli spännande att undersöka hur bra det stämmer överens med den energi man har lagt in i atmosfärs- och klimatmodeller.

Med hjälp av MATS hoppas vi alltså lära oss mer om både molnen och hur vår atmosfär och dess cirkulation drivs av gravitationsvågor – kunskaper som leder till bättre förståelse för hur atmosfären reagerar på de förändringar som sker.

LINDA MEGNER, JACEK STEGMAN
OCH LUKAS KRASUKAS
Meteorologiska Institutionen,
Stockholms Universitet

Denna artikel bygger till stor del på en tidigare artikel i *Polarfront* (Megner och Stegman, 2020). Linda Megner, Jacek Stegman och Lukas Krasauskas har finansierats av Rymdstyrelsen.

Läs mer

Gumbel, J., and B. Karlsson. 2011. "Intra-and Inter-Hemispheric Coupling Effects on the Polar Summer Mesosphere." *Geophysical Research Letters* 38 (14). doi.org/10.1029/2011GL047968

Gumbel, J, L Megner, O M Christensen, N Ivchenko, D P Murtagh, S Chang, J Dillner, et al. 2020. "The MATS Satellite Mission – Gravity Wave Studies by Mesospheric Airglow/Aerosol Tomography and Spectroscopy." *Atmospheric Chemistry and Physics* 20 (1): 431–55. doi.org/10.5194/acp-20-431-2020

Megner, L. och J. Stegman, 2020. "Världens högsta moln bjuder på mysterier och hjälper oss förstå atmosfärens övre delar", *Polarfront* 174: 6-9.

Fysiskt filosoferande om fri vilja

Existentiell fysik

Sabine Hossenfelder
Översättare: Claes Bernes
Förlag: Fri Tanke, 2023
Antal sidor: 297
ISBN: 978-91-8952602-0



■ Allt vi observerar i universum kan beskrivas av fysik. Till exempel är neurofysiologin en del av biologin, som i sin tur bygger på kemi och i slutändan finns enbart fysik. Fysiken skrivs på matematikens vackra språk, och den matematik som används är helt enkelt den som kan beskriva vad vi mäter i experiment. Denna typ av reduktionism implicerar alltså att fysikens grundlagar, när vi väl känner dem, kan användas för att förstå i princip vad som helst i universum. Det är med detta synsätt Sabine Hossenfelder i *Existentiell fysik* tar sig an nio existentiella frågor, som till exempel varför ingen någonsin blir yngre, huruvida universum blev till för oss människor och om fysiken utesluter fri vilja.

Hossenfelder är en tysk teoretisk fysiker vid Frankfurt Institute for Advanced Studies som har skrivit flera populärvetenskapliga böcker. En sökning på nätet ger även ett stort antal videor där hon diskuterar olika frågor. Jag skulle beskriva Hossenfelder som en fri tänkare med ibland radikala åsikter, som säkerligen kan få vissa läsare upprörda. I boken kallar hon till exempel kosmologiska teorier ”moderna skapelseberättelser”, och argumenterar för att dagens fysiker ofta tänker för lite på vad de faktiskt gör. Hon nämner också i förbifarten att många britter ofta har lite för långt hår, vad nu denna kommentar kan tjäna till. Boken börjar dessutom med en varning, nämligen att vissa läsare kan tappa livsgnistan när de inser att vi lever i en värld utan fri vilja.

KÄNNER MAN SIG SOM potentiell läsare säker på sitt mentala välbefinnande, eller gillar lite risk i vardagen, får man alltså följa Hossenfelder på en resa till fysikens horisonter och filosofins tassmarker. Innehållsmässigt finns det både bättre

och sämre delar. Till de förra hör författarens förmåga att beskriva fysikaliska koncept på ett koncist och klart sätt utan matematiska formler. Som exempel beskrivs entropi (ett mått på oordning som enligt termodynamikens andra huvudsats obönhörligen ökar och ger tiden en riktning) utifrån fördelningen av molekyler när man blandar ihop en kaksmet. På liknande manér introduceras bland annat också minsta verkans princip (varur fysikens rörelselagar kan härledas) och samtidighet i den speciella relativitetsteorin (alltså hur olika observatörer som rör sig relativt varandra uppfattar händelser i rumtiden). Kvantmekaniken, som är ökänt svårförklarligt, anser Hossenfelder inte vara konstigt rent matematiskt, utan enbart när vi försöker översätta den till vardagsfarenheter med katter i lådor eller vantar tillhörande Alice och Bob.

ETT ÅTERKOMMANDE INSLAG i boken är snabbgenomgångar av olika fysikaliska teorier som kan användas för att besvara frågorna som behandlas. Ibland känns dock diskussionerna lite väl korta och därför onödiga att ha med. Ett återkommande påstående är att teorierna i fråga inte strider mot vad vi hittills har sett i experiment och därför skulle kunna stämma. Visserligen är det rimligt att vara ärlig med våra nuvarande begränsningar när det kommer till att falsifiera teorier, men det finns säkerligen en hel del andra möjliga lösningar som inte nämns. Vad som däremot är bra är Hossenfelders klargörande kring varför vissa teorier inte är vetenskapliga.

En fråga som verkar ligga författaren extra varmt om hjärtat är just naturlagarnas determinism kontra den fria viljan. Determinism innebär att man med hjälp av ett känt begynnelsestillstånd vid en viss tidpunkt kan beräkna hur ett system kommer se ut vid en senare. Utifrån detta kan vi sluta oss till att framtiden redan är avgjord, ner till enstaka kvantmekaniska händelser som vi inte kan påverka. Alltså har vi, enligt detta sätt att resonera, ingen fri vilja.



FOTO: FRI TANKE

Sabine Hossenfelder.

Lite grovt sammanfattat skulle man kunna säga att boken behandlar stora existentiella frågor ur den fundamentala fysikens perspektiv. Många av de frågeställningar som berörs finns det, föga förvånande, inga svar på, och ofta diskuteras även olika filosofiers eller religioners syn på frågorna. Genomgående i boken är dock en önskan om att beskriva fysikens horisonter, samt vara ärlig med vad som är vetenskapligt eller inte. Som redan nämnts har Hossenfelder starka åsikter, och mängden läsare håller nog inte med om allt.

JAG SJÄLV, SOM teoretisk fysiker, får ibland när jag läser boken en nostalgisk känsla till min tid som grundstuderande, då man på sommarhalvåret kunde ligga i en hängmatta och fundera på till exempel relativitetsteoriens eller kvantmekanikens underligheter. Tidens tand, alltså entropins ökning, har dock fått mig att bättre förstå och acceptera många av den fundamentala fysikens egenheter. Därmed kan jag nu, förutsatt att jag har ett val, sluta grubbla på den fria viljan och gå tillbaka till att räkna mig till en större förståelse om universum.

NILS HERMANSSON-TRUEDSSON
University of Edinburgh

Så förändras fysiken av nya betygen

Om drygt ett år ska gymnasisterna få **ämnesbetyg** istället för kursbetyg. Men även andra förändringar följer med, till exempel att fysiken förlorar orienteringen och naturkunskapen världsbilden.

Från och med höstterminen 2025 införs ämnesbetyg i gymnasiet. Ämnena kommer fortfarande att vara indelade i separata kurser som läses efter varandra, men dessa kurser byter nu namn till "nivåer". Beroende på vilket program och inriktning som eleven går på kan den fortfarande avsluta sina ämnesstudier efter olika lång tid, men det nya är att det kommer vara betyget på den senast lästa nivån som blir ett samlat betyg för alla poäng som eleven läst i ämnet.

Betygskriterierna behöver nu därför se likadana ut på alla nivåer, men vad som läses in i dem varierar med aktuell nivå. Exempelvis anges för betyget A i Fysik att eleven "analyserar och löser komplexa fysikaliska problem", men på nivå 1 kan dessa gälla elektriska kretsar medan de på nivå 2 kan handla om "elektriska laddningars rörelse i magnetiska och elektriska fält".

Vad som utgör ett "ämne" får en speciell gymnasiedefinition: I fysik kommer nuvarande kurs 1 och 2 att bilda ämnet *Fysik*, medan kurs 3 blir ett eget ämne, *Fysik – fördjupning*. Inom matematiken blir splittringen ännu större, den delas upp i ämnena *Matematik*, *Matematik – fortsättning* och *Matematik – fördjupning*. Anledningen är att eleverna inte ska riskera att få ett rejält sänkt snittbetyg när de väljer att läsa mer avancerad matematik än den som är obligatorisk på den inriktning de valt.

Ingen orientering inom fysiken

Även om inte syftet med förändringen har varit att ändra på själva ämnesinnehållet så har det gjorts en del för-

"Jag tycker att ändringarna i huvudsak blev bra. Men det finns fortfarande skrivningar som inte helt klargör vad det är som ska tas upp."

Susanne Tegler, Spyken, Lund

ändringar i ämnesplanerna när dessa skrivits om för att anpassas till det nya betygssystemet. Fredrik Olsson, lektor på Uddevalla gymnasium, tycker att de omflyttningar som gjorts mellan nivå 1 och 2 är vettiga:

– Den första nivån är nu bättre anpassad till vad alla elever på NA- och TE-programmen bör läsa, till exempel så har avsnittet om vridmoment flyttats dit. Det är också bra att de områden som tidigare kallades "orientering om..." antingen lyfts in ordentligt – som relativitetsteorin – eller tagits bort. Det har hittills varit väldigt otydligt i vilken utsträckning dessa områden ingått som obligatoriska moment i kurserna.

– Ämnesbetygen tycker jag i princip är bra, men jag är orolig för att de passar dåligt i ett kursgymnasium, fortsätter Fredrik. Det finns en risk att nivån på *Fysik 2* kommer att sänkas, och det

finns också en ökad risk att elever väljer bort den kursen. Är det inte istället dags att inse, precis 30 år efter den famösa friskole- och betygsreformen 1994, att ett programgymnasium med relativa betyg är överlägset för att skapa kunskap och rättvisa?

Susanne Tegler på Spyken i Lund (som också tilldelades årets Ingvar Lindqvistpris i fysik, läs mer på sidan 4) var engagerad när de kommunala gymnasielärarna i Lund under förra läsåret gavs tillfälle att skriva ett gemensamt remissvar på Skolverkets ursprungliga förslag. Hon är också i stort sett nöjd med hur de nya formuleringarna av det centrala innehållet i fysikämnet utformades:

– Jag tycker att ändringarna i huvudsak blev bra. Men det finns fortfarande skrivningar som inte helt klargör vad det är som ska tas upp. Ett exempel är "Elektromagnetiska fält i omgivningen". De elektriska och magnetiska fälten finns tydligt specificerade på flera ställen under centralt innehåll och utöver detta finns "Elektromagnetiska fält i omgivningen". Är det elektromagnetiska fälts påverkan på människor eller något annat som ska tas upp?

Ökat friutrymme i *Fysik – fördjupning* och ökat tryck på elevexperiment

Ämnet *Fysik – fördjupning* består av en enda nivå som är mycket lik den tidigare kursen *Fysik 3*. Precis som nu utgör det inte någon obligatorisk del på någon av de nationella inriktningarna, men är valbart på större gymnasieskolor eller sådana som vill profilera sig mot fysik.



Fredrik Olsson under en laboration på Uddevalla gymnasium.

”Det är också bra att de områden som tidigare kallades ’orientering om...’ antingen lyfts in ordentligt – som relativitetsteorin – eller tagits bort.”

Fredrik Olsson, Uddevalla gymnasium

Hans Jakobsson, som är ordförande i Fysikersamfundets undervisningssektion och lektor på Polhemskolan i Lund, har lång erfarenhet av att undervisa i kursen eftersom skolan har en spetsutbildning i fysik:

– Totalt är intrycket att kursen bantats något. En del mindre kursmoment från *Fysik 3* nämns inte längre, till exempel tillämpningar inom radiokommunikation, vågor i jordskorpan, vattenvågor och allmän relativitetsteori. Det betyder förstås inte att de inte kan tas upp ändå, menar Hans, men ämnet får ett utökad friutrymme och det är något som flera av oss som undervisar i *Fysik 3* har efterlyst.

– När det gäller ämnet *Fysik* noterar jag att mycket är sig likt, även om det finns en hel del mindre ändringar i texterna. En väsentlig ändring är att man använder uttrycket ”experiment och laborationer”. Det tycker jag är bra, det tydliggör att eleverna verkligen ska göra experiment själva, det duger inte att läraren visar, fortsätter Hans. Totalt får jag en känsla av att nivå 1 kanske blir något luftigare och nivå 2 något mer kompakt jämfört med nuvarande kurser.

Bantade betygsriterier och behovet av nationella prov

Betygskriterierna har komprimerats avsevärt i de nya ämnesplanerna jämfört med hur de ser ut idag. Nu är det bara fyra olika punkter som ska beaktas: Hur eleven kan visa kunskap om begrepp och samband, kan lösa problem och kommunicera, kan planera och genomföra undersökningar samt kan resonera om fysiken som vetenskap och dess betydelse

för samhällsutvecklingen. Medan det för betyget E räcker att klara av ovanstående på ett ”godtagbart” sätt krävs det istället att det görs på ett ”utvecklat” sätt för betyget C och ett ”välutvecklat” sätt för betyget A.

I princip ser betygsriterierna likadana ut för alla de naturvetenskapliga ämnena, det som skiljer är inom vilken vetenskap eleven ska kunna visa kunskap. En detalj som i förstone kan verka obetydlig är att det inte tydligt framgår att det är genom praktiskt arbete som eleven ska visa sin undersökande förmåga. Den skolhuvudman som vill dra ner på kostnadskrävande utrustning och halvklassundervisning kan tyvärr peka på att systematiska litteraturstudier borde kunna duga som betygsunderlag i såväl fysik som biologi och kemi.

– Betygskriterierna är rejält nedbantade, vilket är vettigt på ett sätt, menar Fredrik. Men det blir också tydligt att det knappast är möjligt med en rättvis betygsättning utifrån enbart dessa. Avsaknaden av nationella prov i fysik kommer fortsätta att leda till stora skillnader i bedömningen av svenska elevers fysikkunskaper. Att göra de av Skolverket producerade ”bedömningsstöden i fysik” till obligatoriska moment skulle leda till en mycket bättre likvärdighet.

Susanne instämmer:

– Betygskriterierna är alltför tolkningsbara, i både den gamla och den nya versionen, för att erbjuda ett stöd för rättvis bedömning. Här behöver vi definitivt ett bedömningsstöd och gärna ett obligatoriskt sådant. Detta gäller för övrigt även kommande *Matematik – fördjupning*,

nuvarande *Matematik 5*. Här togs bedömningsstödet bort för ett par år sedan och nu måste alla skolor göra sina egna bedömningar vilket ofrånkomligen resulterar i bristande likvärdighet.

Naturkunskapen saknar numer världsbild

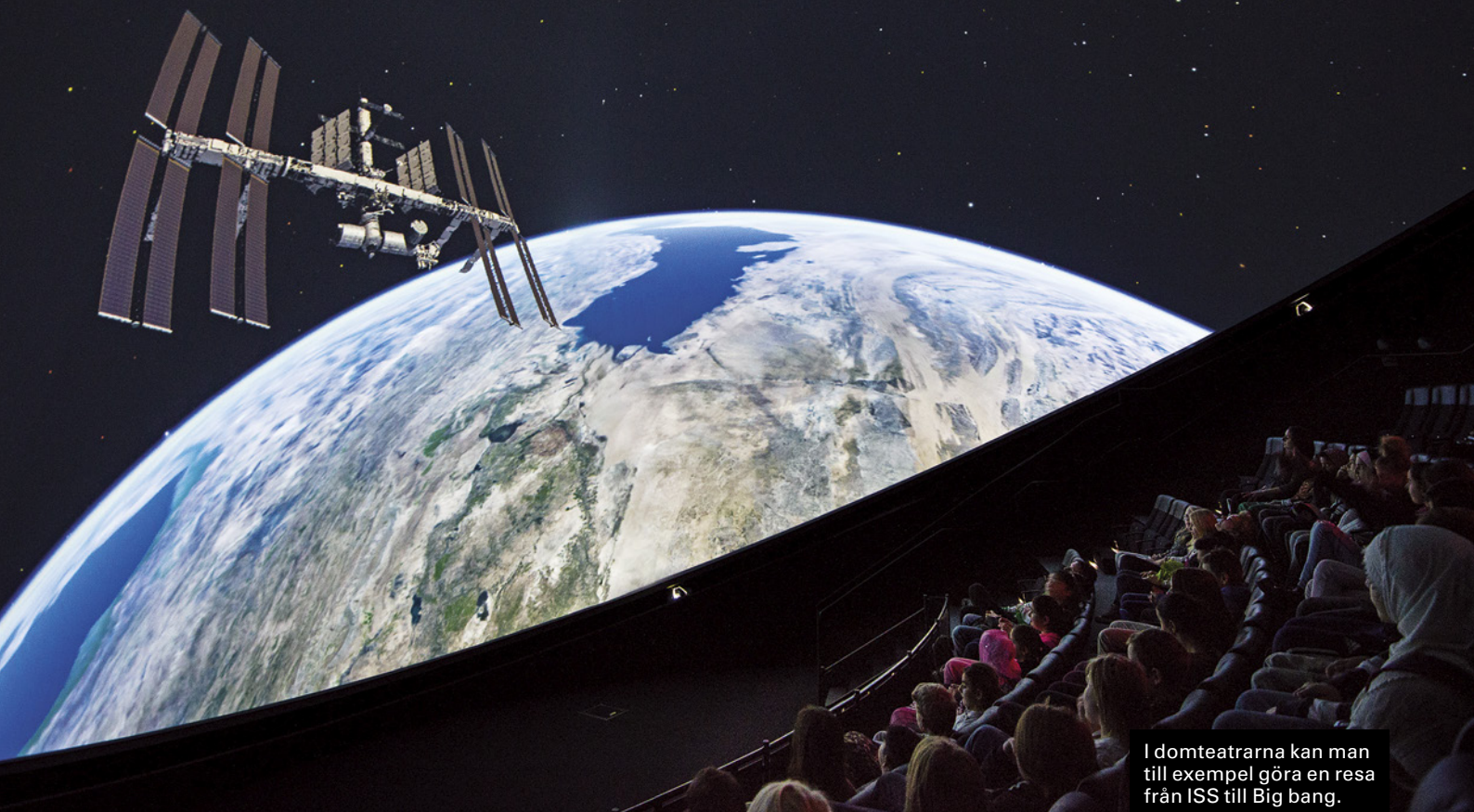
För de elever som går på program där det inte finns någon fysik är det ämnet Naturkunskap som ska tillgodose behovet av naturvetenskaplig allmänbildning. Här har det i det tysta skett stora förändringar, ämnet har bytt karaktär och har nu en stark koppling till den egna kroppen och till konsumtion och hållbar utveckling. Av ren fysik syns inte längre många spår. Begreppet energi nämns fortfarande, men ”världsbilden” har försvunnit och med den alla astronomikopplingar.

Däremot anges ”fältstudier och laborationer” explicit tillsammans med frågeställningar, planering, riskbedömning, utförande, värdering och redovisning. En välvillig tolkning är att innehållet i naturkunskapsämnet ska kunna anpassas bättre till det program som eleven läser. Elever på Frisör- och stylistprogrammet får göra andra laborationer än vad de på Fordons- och transportprogrammet får göra, och de får möta ”etiska frågor” och ”icke-vetenskapliga påståenden” som utgår från det yrkesliv de studerar inför. Men förmodligen blir det många elever som inte får möjlighet att lära sig skilja mellan energi och effekt – eller mellan stjärnor och stjärnfall.

ANNE-SOFIE MÅRTENSSON
Göteborgs universitet

Visualisering som ska väcka nyfikenhet

I Stockholm, Malmö, Göteborg, Norrköping och Umeå har **Wisdomes domtestrar** dykt upp de senaste åren. Men projektet är så mycket mer än bara 3D-film. Visionen bakom Wisdome är stor – att nå miljontals elever, studenter, lärare och allmänhet över hela Sverige genom en uppslukande vetenskaplig kommunikation.



I domteatrarna kan man till exempel göra en resa från ISS till Big bang.

FOTO: VISUALISERINGSCENTER C

Sverige beskrivs ofta som en kunskapsdriven nation med ett näringsliv som bygger på spetsteknologi. Men för att vi ska kunna bibehålla den höga kompetensnivå som krävs för att vara en sådan nation krävs massiva insatser

inom utbildning och kunskapsförmedling. Samtidigt skapar den accelererande digitala utvecklingen nu stora möjligheter till förnyad pedagogik som tar tillvara tillgänglighet och bearbetning av information med hjälp av av autonoma och

lärande system. Allt skickligare digitala användare, med nya förväntningar på teknik, innehåll och funktioner, förändrar även förutsättningarna för miljöer som science center, vars kärnuppdrag är att förmedla kunskap och entusiasmera kring

teknik och naturvetenskap. För att fullt ut kunna utnyttja den fantastiska potential som finns i den digitala utvecklingen, och för att på ett relevant sätt kunna möta och utmana besökarens intresse och kunskaper, behöver framtidens lärmiljöer alltså utvecklas – såväl tekniskt som pedagogiskt och innehållsmässigt.

Fem science center

Wisdome är ett konsortium med fem science center i storstadsregionerna. Det har sin utgångspunkt i den forskning inom visualisering som bedrivs vid Visualiseringscenter C i Norrköping och vid Linköpings universitet. Tillsammans med Sveriges ledande lärosäten och forskningsmiljöer har nya upplevelsearenor skapats i form av labb och domteatrar för akademi, skola, näringsliv och nyfikna besökare i alla åldrar.

Vårt synsinne har alltid haft stor betydelse för vårt sätt att förstå och organisera världen omkring oss. I takt med möjligheterna att producera digitala bilder har både intresset för tekniken bakom och vår förståelse för bilderna ökat. Med hjälp av visualisering kan vi idag synliggöra det annars osynliga, och tekniken är ett verktyg för såväl forskning som lärande, men den är också en del av vår vardag. Vetenskaplig visualisering innebär en enorm möjlighet att göra komplex forskning tillgänglig för alla. Wisdome gör det möjligt att ta besökare till platser vi aldrig själva kunnat nå och se det som annars skulle vara dolt för oss, och skapar en förståelse för skeenden som är för små, för stora, för snabba eller för långsamma för oss att ta in. I Wisdome förvandlas svåra utmaningar och komplexa sammanhang till hisnande upplevelser.

Tanken med Wisdome är att skapa naturliga mötesplatser som engagerar barn och unga i deras egen, och vår gemensamma, framtid och som ger nya perspektiv på de utmaningar vi står inför. Vi räknar med över två miljoner besökare vid våra fem science center, och den övergripande målsättningen är att bidra till ökat intresse för naturvetenskap, teknik och matematik.

Kunskap tillhör alla och vi vill att vem som helst ska kunna ta del av verklig data

Om Wisdome

Startskottet för Wisdome var Knut och Alice Wallenbergs Stiftelses jubileumsdonation på 150 miljoner kronor år 2017.

Wisdome syftar till att skapa ökat intresse för teknik och naturvetenskap, framför allt bland Sveriges unga. Utgångspunkt är den forskning inom visualisering som bedrivs vid Visualiseringscenter C och Linköpings universitet.

Inom Wisdome samverkar Sveriges fem ledande science center samt flera universitet och forskningsmiljöer kring forskning, teknik, tillämpning och didaktik för att hitta nya sätt att lära och engagera.

Du hittar Wisdome på Visualiseringscenter C i Norrköping, Curiosum i Umeå, Malmö museer i Malmö, Universeum i Göteborg och på Tekniska museet i Stockholm.

och information på ett enkelt och pedagogiskt sätt. Medborgarforskning och vetenskapskommunikation är en tydlig trend i samhället, och med den följer ett nytt sätt att förhålla sig till bland annat teknik och naturvetenskap. Ett av målen inom ramen för Wisdome är att producera fem domföreställningar, med ett brett spektrum av vetenskapliga ämnen.

Tekniken med domteatrar som visar filmer på så stor duk att det känns som man är "inuti" filmen har funnits åtminstone sen tidigt 1990-tal. På Wisdome kompletteras domteatern med 3D-glasögon, men det som gör föreställningarna riktigt intressanta är att respektive science center inom Wisdome också utvecklar skraddarsydda, pedagogiska besökspaket för elever och studenter, som anpassas efter varje science centers unika förutsättningar och erfarenheter. Dessa paket ska vara tydligt förankrade i läroplanen för respektive skolform.

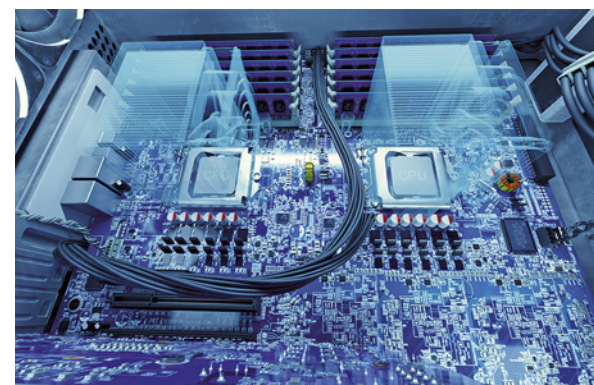
Making Magic – A Visual Effects Story

Den 3 oktober 2020 hade den första Wisdome-produktionen premiär på Norrköpings Visualiseringscenter C. Domföreställningen har titeln *Making Magic 3D – A Visual Effects Story*, och med Peter Stormare som berättarröst får

man följa med på en hisnande resa i en visuell värld. Föreställningen är baserad på forskningen bakom digitala visuella effekter, och publiken får uppleva hur effekterna till film och datorspel skapas och hur de påverkas av de naturlagar som styr den verkliga världen – från ekvationer till explosioner. Det handlar om att visa hur matematik, fysik, programmering, design och berättarkonst måste mötas för att skapa dataspelens och filmernas magi. I en scen regnar till exempel ekvationer i 3D ner över besökarna i domen, i en annan utgår vi från punkter som blir trianglar, som sätts ihop och ges färg och struktur och till slut bygger upp en hel dinosaurie.

Lärare, elever och studenter som besökt Visualiseringscenter C och Wisdome Norrköping har beskrivit *Making Magic* som "en motorväg rakt in i matematiken och fysiken". Under ett normalt skolbesök får eleverna först se domföreställningen, som alltså förklarar hur digitala effekter, 3D-modeller och datorsimuleringar skapas och kan användas i olika sammanhang. I samband med föreställningen får eleverna sedan möjlighet att diskutera och reflektera kring tekniska användningsområden där datorgrafik kan komma till nytta, och fundera på hur simuleringar kan understödja förståelsen av till exempel fysik. Vidare under besöket får eleverna möjlighet att arbeta med programvaran "Inside Explorer PRO", som är ett program för bildanalys i 3D och hantering av visuella data.

Eleverna får alltså själva ta plats som medborgarforskare, med uppdrag att undersöka en visuell modell av ett fragment ▶



I *Making Magic* får vi följa med in i en dator och se hur digitala specialeffekter byggs upp.

► från den kända Tjeljabinsk -meteoriten¹. Inför arbetet får eleverna en grundlig genomgång av programmet och samtliga moment genomförs sedan gemensamt i grupp. I samband med elevernas utforskande uppmuntras de att med hjälp av programmet spela in kortare förklaringsfilmer som sedan kan ligga till grund för vidare efterarbete i klassrummet.

Rymden som inspiration

Rymden är fascinerande och nästan alla människor har en relation till den stjärnklara himlen. Mitt eget rymdintresse startade redan när jag som 6-åring såg månlandningen, och en av mina målsättningar med Wisdome har varit att få fler att intressera sig för frågorna som universum ger upphov till. Vilka byggstenar till liv och materia finns där ute? Vilka faktorer är viktiga för att upprätthålla och möjliggöra mänskligt liv? Vilken är människans plats i den interstellära rymden?

¹ Den 15 februari 2013 passerade en meteorit över södra Uralregionen och exploderade över staden Tjeljabinsk. Den beräknas ha haft en massa på cirka 10 000 ton, och en diameter på ungefär 17 meter.

Stort 3D – en kosmisk resa genom tid och rum, är den andra av fem domproduktioner inom Wisdome. *Stort* bjuder på en resa ut i rymden, som ger oss en känsla av hur ofattbart stor den är. Vi människor har, tack vare vår nyfikenhet och strävan efter kunskap, drivits till att utforska rymden och lära oss mer om universum. Det finns dock fortfarande oerhört mycket kvar att utforska.

I filmen beger vi oss iväg på en resa som tar oss längre ut i rymden än människan någonsin varit. Allting vi får se på resan är baserat på verklig data, och filmen är producerad med hjälp av den interaktiva mjukvaran OpenSpace som utvecklas vid Visualiseringscenter C och Linköpings Universitet, i mångårigt samarbete med bland annat NASA och American Museum of Natural History.

Tanken med domföreställningen *Stort 3D* är att förstärka lärandet kring rymden genom att på ett pedagogiskt sätt förklara ämnesspecifika begrepp och rymdfakta. Vidare under ett skolbesök ges eleverna möjlighet att använda datorprogrammet och 3D-motorn ”OpenSpace”, där de med hjälp av digi-

tal visualiseringsteknik kan undersöka rymden och dess mysterier. OpenSpace är ett gratisprogram som bygger på interaktiv, dynamisk data från rymdobservationer, simuleringar och rymduppdrag (www.openspaceproject.com). Inför användandet ges eleverna en djupgående introduktion av programmet – inklusive grundläggande kunskap om hur man hanterar navigering, funktioner och innehåll. Elever och lärare får tillgång till pedagogstöd under hela programmet och uppmuntras att ta sig an olika uppdrag och göra eget utforskande. I arbetsuppgifterna ingår moment som diskussion, reflektion och samarbete.

Efter genomfört besök kan OpenSpace med fördel användas i klassrumsmiljö för att ytterligare förlänga och förstärka lärandet.

Även om filmen *Stort 3D* är en stor upplevelse, så är en interaktiv resa i domen med OpenSpace än mer omtumlande, och resan från rymdstationen ISS till Big bang ger kosmiska perspektiv på livet på jorden.

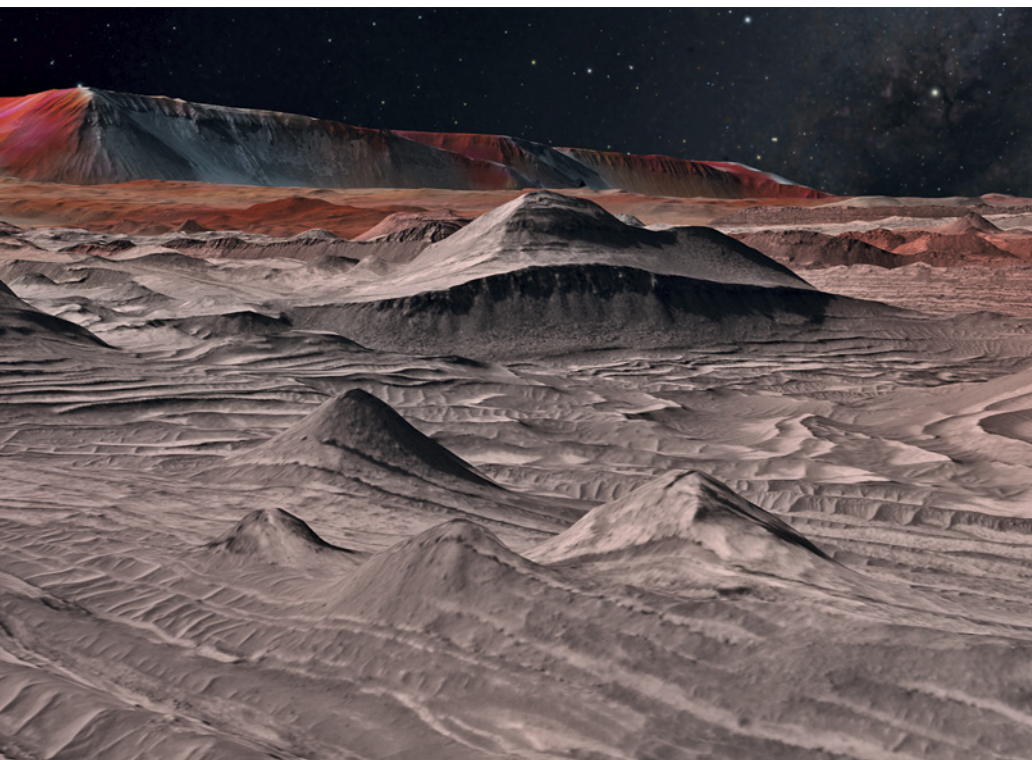
Chemistry of Life – en osynlig inre värld

Chemistry of Life är den tredje filmen som produceras inom Wisdome-projektet. Världspremiär var den 25 mars 2023, och under 2024 kommer filmen ha premiär i samtliga domteatrar inom Wisdome.

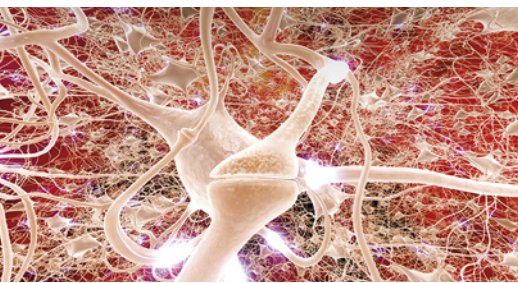
Chemistry of Life använder vetenskapliga visualiseringar för att ta oss med in i den dynamiska, molekylära värld vi alla bär inom oss. Vi utforskar mitokondrierna, cellernas kraftverk, och lär oss hur de kemiska processerna i våra celler sammankopplar oss med alla andra livsformer på jorden.

– Det känns fantastiskt att få bjuda in publiken till molekylernas värld på detta vis, säger Anna Öst, producent och manusförfattare till *Chemistry of Life*.

Höjdpunkten i *Chemistry of Life* är när produktionen av ATP (adenosintrifosfat) omsluter besökarna i domen. ATP, som med sin energirika fosfoanhydridbindning driver kemiska processer som inte kan ske spontant i celler, kallas ibland ”livets bränsle”, och produktionen pågår hela tiden. Som besökare tänker man:



Tekniken gör det möjligt att ta oss till platser vi aldrig annars kunnat besöka – som Mars.



Chemistry of Life är den tredje filmen som producerats inom Wisdome-projektet. Den tar oss bland annat med in i våra egna kroppar.

”detta händer inne i min kropp, i varje cell, just nu”.

AI och klimat

Just nu, under 2024, produceras den fjärde domproduktionen, på temat AI. Premiären är satt till början av 2025, och därefter följer en produktion på temat ”klimat och miljö” under 2026. Wisdome-konsortiets ambition är att arbetsmetodik och innehåll på alla fem science center ska bygga på forskning i framkant, inom såväl lärande som teknik. För Wisdome-konsortiet innebär det också att nya pedagogiska och tekniska metoder kontinuerligt utvecklas. Förhoppningen är att tidigt stimulera intresse och lärande inom STEM bland barn och unga.

Wisdome-konsortiet satsar nu också på att nå ut till barn och unga i ”prioriterade områden”, med vilket vi menar socioekonomiskt utsatta områden. Detta kommer att ske bland annat genom AI-driven visualisering av uppmätta och simulerade data som beskriver vår planets historia, nuvarande tillstånd och framtid, med förhoppningen att stimulera intresse och förbättra lärande inom STEM-ämnen. Håll utkik efter *TellUs – den talande planeten!*

ANDERS YNNERMAN

professor i vetenskaplig visualisering vid Linköpings Universitet, grundare och initiativtagare till Wisdome, konsortiedirektör för Visualiseringscenter C i Norrköping

LISA LINDGREN

VD Norrköping Visualisering AB vid Visualiseringscenter C, Norrköping

Förvirrande om universums evolution

Om tidens uppkomst – Stephen Hawkings slutgiltiga teori

Thomas Hertog
Översättare: Lisa Sjösten
Förlag: Fri Tanke, 2023
Antal sidor: 445
ISBN: 978-91-8858945-3



■ Detta är en bok om de samtal och arbeten som den teoretiske fysikern Hertog hade med Stephen Hawking under tjugo års tid.

Boken börjar med att vi inte har en teori som binder samman gravitation och kvantfysik, något saknas. Och bokens titel är förstas en parafra på Darwin, *Om arternas ursprung*.

Hertog börjar med fysikhistoria, hur förstår vi universums uppkomst. Vi söker ett matematiskt uttryck, precis som Einstein formulerade uttrycket för universums uppkomst som en dialog mellan gravitation och materia-tid. Men den belgiske prästen Lemaitre sade att universum måste expandera, och vad betyder då $t = 0$? I den här modellen har vi perspektivet att vi observerar universum från utsidan.

MEN DETTA ÄR FEL, sade Hawking en morgon 2006 till Hertog. Vi kan inte observera universum från utsidan, vi är en del av universum. I boken *A brief history of time* beskrev Hawking med en matematisk modell universums evolution. Men denna teori producerade inte universums eller livets uppkomst. Universums evolution är något som hela tiden observeras. Vi kan inte beskriva evolutionen. Vi kan observera strålning från universums begynnelse, bakgrundsstrålningen, och de varierande strukturer våra nya satelliter och teleskop har observerat. Vi kan också observera små rörelser i rymden, detta skulle vi kunna se med gravitationsvågor och fluktuationer av gravitationsvågor.

”Vi måste vända ut och in på vår kosmologi”, sa Hawking.

Vid starten, big bang, var universum mycket litet. Men kvantfysiken talar om för oss att vi inte entydigt kan bestämma läget för en liten struktur, till exempel en elektron. Och svar ges endast om en fråga ställs, en observation görs (som med Schrödingers katt). Det betyder att universum observerar sig självt. Och frågan ”Vad fanns före big bang?” är en meningslös fråga. Alla krafter och partiklar förenas, tid och läge förlorar sin betydelse/identitet. Vid $t = 0$ suddas allt ut till något obeskrivligt. Hawking beskrev det som att hans teori stannade vid en ogenomtränglig väg.

Här försöker Hertog introducera Darwin, med hans ”träd av liv”. Och försöker då förklara att vi har två mycket olika aspekter av universums evolution, Darwin och Einstein. Det finns ingen ”masterekvation”. I punkten $t = 0$ är allt suddigt, det kan jämföras med det Hanna Arendt kallade ”the human condition”.

NÄR JAG AVSLUTAT BOKEN är jag helt oförstående till de resonemang Hertog försöker föra fram som Hawkings nya teori om universums evolution. Hawking dog 14 mars 2018, och hans kista placerades mellan Darwin och Newton i Westminster Abbey. Hertog avslutar med att detta kanske är betydelsefullt.

Några kapitler om fysikhistoria är intressanta, liksom påpekandet om betydelsen av prästen LeMaitres insatser, men i övrigt lämnar mig denna bok ganska frågande. Handlar detta om Hertog eller om en ny teori för universums ursprung? Vår förståelse för universum idag har några stora frågetecken: mörk materia, mörk energi med mera, som väl måste studeras innan Darwins utvecklingshistoria blandas med universums evolution.

ELISABETH RACHLEW
Prof.em., KTH

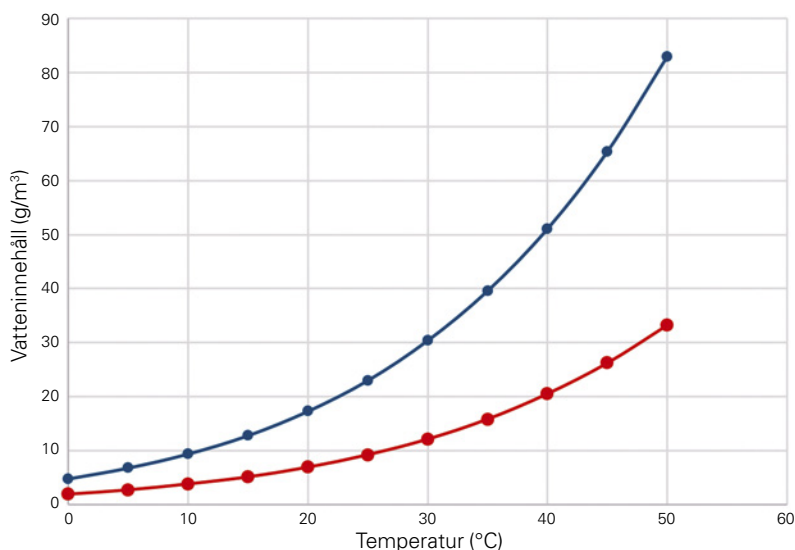
Ångbildning – bra för tvätt och svett

Vill man leva klimatsmart och inte använda **torkskåp**, **torktumlare** eller **avfuktare**, bör man lägga eller hänga sin tvätt, gärna utomhus. Det gör man i de flesta länder, för att man ofta bor trångt och inte har råd med köp eller drift av torktumlare.

För att tvätt ska torka måste fler vattenmolekyler lämna tvätten än som kommer till den. Därvid krävs energi som omvandlar vattnet till ånga och en luftström som för bort ångan. Det illustreras av drickankan, vars filtklädda näbb och huvud suger upp vatten ur glaset. När vattnet avdunstar kyls huvudet, vilket sänker trycket inuti. Den lättflyktiga vätskan i ankans mage sugs upp mot huvudet genom det inre rör som binder samman huvud och mage. Ankan blir framtung och tappar framåt och blöter åter ner näbb och huvud. Samtidigt rinner den inre vätskan från huvudet ner i magen och tyngdpunkten flyttar sig, varpå ankan reser sig (figur 1).

Den relevanta parametern är *relativ luftfuktighet* (*relative humidity, RH*). Den anger hur mycket vatten luften innehåller i procent av vad luften maximalt kan innehålla vid den temperaturen.

Av figur 2 framgår att RH är mycket beroende av temperaturen. Kurvan för 100 % utgör gränsen mellan ånga och



FIGUR 2 Grafen visar RH 35 % (röd) respektive 100 % (blå). Vertikala avståndet mellan kurvorna vid en given temperatur visar hur mycket fukt som luften i rummet kan ta upp.

vatten för olika temperaturer. Vid 50 °C kan varje kubikmeter luft högst innehålla drygt 80 g vattenånga. Vid rumstemperatur strax under 18 g och vid 0 °C endast 3,5 g. Utomhus på vintern är luften vanligen torrare. Vattnet i tvätt som hängs ute i minusgrader fryser snabbt och sublimerar, det vill säga isen övergår direkt till ånga. Den förs sedan bort om det blåser lite, fast det tar längre tid än inomhus.

Teori

Dessa kurvor låter sig inte till fullo beskrivas analytiskt, men Clausius-Clapeyrons ekvation: $dp/dT = l/TV$, gör det hyfsat (figur 3). Ångbildningsentalpin (l) avtar lite med temperaturen (T), men om den antas konstant och ångan antas vara ideal, och

dess volym (V) betydligt större än vattenvolymen, kan ekvationen integreras till

$$\ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) = l/R \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

där R är allmänna gaskonstanten.

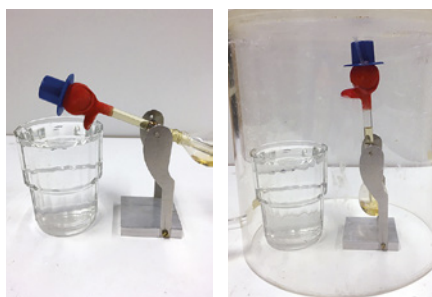
Ekvationen klarar inte långa temperaturintervall, vilket syns i figur 3, där den blå kurvan skiljer sig från de experimentella värdena överst.

Den semi-empiriska Antoinies ekvation beskriver ångtryckskurvan mycket bättre (figur 3).

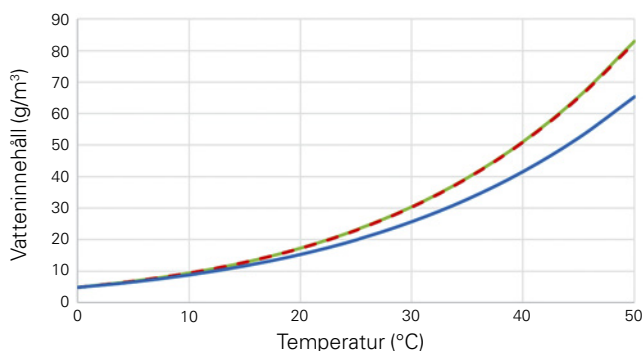
$$\lg(p) = A - \frac{B}{C+T}$$

som ger trycket i bar om temperaturen (T) anges i kelvin.

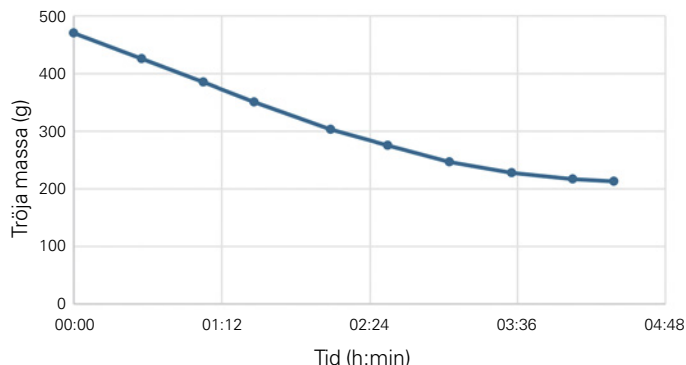
Parametrarna (A , B och C) väljs för önskat temperaturintervall. För



FIGUR 1 När ankan stängs in i plasthuvan kan vattnet på huvudet inte avdunsta, och den slutar strax att dricka.



FIGUR 3 Experimentell kurva överst (ljusgrön). Antoines ekvation (röd streckad) stämmer utmärkt, men Clausius-Clapeyrons ekvation (blå) stämmer mindre bra.



FIGUR 4 Tröjan vägde 470 g när den var våt och 213 g när den torkat, vilket tog nästan 4 h, det vill säga den innehöll 257 g vatten. Nedan tröjan efter 3 h, fotad med värmekamera.

1–100 °C rekommenderas: $A = 8,07131$, $B = 1730,63 \text{ K}$ och $C = 233,426 \text{ K}$.

Båda ekvationerna ger ångans partialtryck. Med allmänna gaslagen $pV = nRT$ kan mängden vattenånga (g/m^3) beräknas. Det är en mer passande storhet än tryck i tvättstugor.

En dust med verkligheten

Jag blötte en T-tröja av bomull, och vred ur den så den bara droppade lite grand. Jag hängde upp den på en galge och vägde den vid olika tidpunkter, allteftersom den torkade (figur 4).

När tröjan är genomblöt drar tyngdkraften vattnet till den nedre kanten. Det påskyndar torkningen, men sedan avtar avdunstningen upptill. Likaså nedtill, ty vattnet samlas på en mindre yta, vilket hämmar avdunstningen. Den största delen av vattnet finns som kapillärt vatten mellan fibrerna, vilket avdunstar före vattnet i fibrerna. Alldeles intill den våta tröjan var RH några procentenheter högre än i övriga rummet.

Jag mätte temperaturen i rummet med en termohygrometer (Trotec, C25) till 22 °C och RH till 35 %. Vid 22 °C kan varje kubikmeter innehålla omkring 20 g, men där finns redan omkring 7 g. Tvättstugan har cirka 7 m³ fri luft, således nära 100 g vattenånga. De cirka 250 g vatten som tröjan bidrog med, måste alltså vädras bort tillräckligt fort för att ångan i tvättstugan inte ska kondensera.

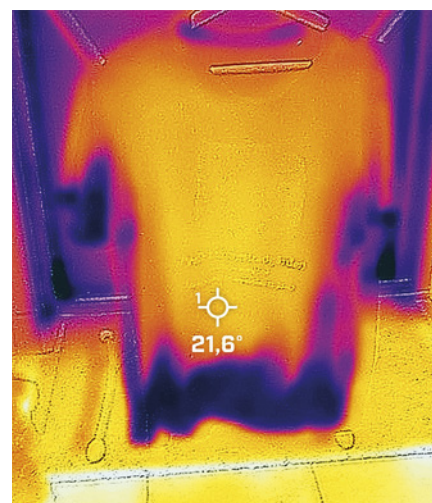
Kalla och varma miljöer

Tvätt torkar bäst vid hög temperatur och låg fuktighet. Människokroppen är mer

komplexerad och ställer andra krav på temperatur och fuktighet. De flesta människor tycker RH mellan 40 % och 60 % är lagom. Under 30 % känns luften torr, vilket kan orsaka torr hud och irriterade ögon. Statisk elektricitet kan också bildas. Vid RH över 60 % försvåras svettningen och en känsla av klubbighet infinner sig. Då torkar tvätt långsamt och mögeltillväxt kan förekomma. Den kan orsaka allergier och andra obehag. Vid RH nära 100 % tenderar kondens att bildas på olika ytor och kan orsaka korrosion.

Kroppstemperaturen bör inte avvika alltför mycket från 37 °C. Ämnesomsättningen alstrar värme, vilken ska räcka vid kyla och avges vid värme. Vid kyla minskar blodgenomströmningen i huden, men ändå förlorar kroppen värme. Visserligen skyddar det några mm tunna luftskiktet vid hudytan till en del, men blåst tunnar ut skiktet. Därvid känns huden kallare än termometern visar. Det beskrivs av ett köldindex som kombinerar omgivningens temperatur (T i °C) med vindhastigheten (v). Osczevski och Blusteins empiriska formel från 2005: $T_{\text{eff}} = 13,12 + 0,6215 \cdot T - 13,956 \cdot v^{0,16} + 0,48669 \cdot T \cdot v^{0,16}$, inklusive tabell, finns på www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/vind/vindens-kyleffekt-1.259.

I varm miljö är lufttemperaturen högre än hudtemperaturen och värmeenergi förs till huden. Då vidgas blodkärlen i huden för att blodet ska transportera bort värmen från kroppen. Dessutom kyls huden när svett avdunstar, men hög fuktighet försvårar avdunstningen och



Tröjan i figur 4 efter 3 h, fotad med värmekamera.

man kan känna sig överhettad. Även här tunnar blåst ut luftskiktet, och blåser man på huden i en varm bastu känns huden varmare. Detta beskrivs med ett värmeindex, som baseras på hur varm en människa känner sig vid given temperatur och luftfuktighet. För varma miljöer i arbetslivet finns ett mätförfarande beskrivet i den svenska standarden SS-EN ISO 7243:2017. En tabell och en monstruös formel finns på sv.wikipedia.org/wiki/V%C3%A4rmeindex.

Med hjälp av sådana indices bör man kunna undvika köldskador respektive värmeslag.

MAX KESSELBERG
Stockholms universitet

Upptäck och utforska med Stella



Miss inte vår nya stjärna Stella – en heltäckande läromedelsserie i NO och Teknik för åk 7–9.

- Struktur som underlättar terminsplaneringen
- Språkutvecklande
- Tydliga förklaringsmodeller
- Systematiska undersökningar
- Källkritiskt perspektiv

Gör det
komplicerade
begripligt



Tryckt och digitalt i ett paket!

Stella finns även som digitalt läromedel med smarta funktioner för både lärare och elev. Nu kan du beställa Stella som paket och få det digitala läromedlet tillsammans med den tryckta boken – helt utan extra kostnad.



Läs mer på nok.se/stella