

Champagne · En enhet för romantiker · Norrsken

Fysikaktuellt

SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET

NR 4 • DEC 2023



Grattis till Nobelpriset!

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

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,
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 1/2024 är 15 januari 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 hos Fri Tanke förlag. Ange koden "fysikersamfundet" i kassan på fritanke.se.
- Förmånsprenumeration på Forskning & Framsteg. Erbjudandet gäller 10 nr (20 % rabatt). Länk till beställningssida: <http://fof.prenservice.se/KodLandning/Index?Internetkod=057-0571329>

Layout: Christina Kjellstrand

Tryck: Trydells, Laholm 2023



OMSLAGSBILDEN: Lundaprofessorn Anne L'Huillier tilldelas årets Nobelpris i fysik för sitt arbete med attosekundpulser. Självklart firades det med champagne i föreläsningssalen. Läs mer på sidan 5 och framåt.

Foto: Johan Mauritsson
(ÖVRIGA FOTON PÅ FRAMSIDAN: PIXABAY)

Stödjande medlemmar

- Glerups Utbildning AB
www.glerups.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**
Jan Marcus Dahlström
- 4 **AKTUELLT**
- 5 **NOBELPRISET I FYSIK 2023**
Attosekundpulser
- 8 **NOBELPRISET I FYSIK 2023**
Intervju med
Anne L'Huillier
- 10 **BLAND SVÄVNINGAR
OCH YLANDEVARGTÖNER**
- 12 **NORRSKEN
I FLERA DIMENSIONER**
- 14 **LISE MEITNER
OCH NOBELPRISET**
- 18 **GOD FYSIK**
Bubblande champagne
- 21 **AVHANDLINGEN**
Linn Eriksson undersöker
planetesimaler
- 23 **INTERVJU**
Linn Eriksson
- 24 **CANDELA**
- 26 **MED FOKUS PÅ OBJEKTIV**
- 28 **DEBATT**
Sverige sviker blivande
rymdingenjörer
- 29 **RECENSION**
- 30 **VARDAGENS FYSIK**
Droppar din kran?



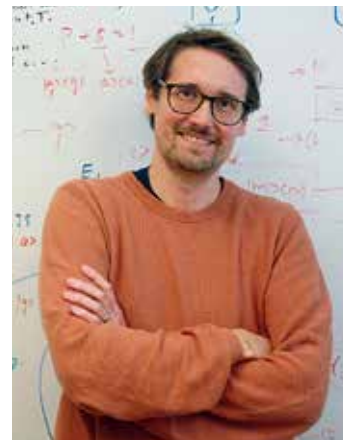
Hur kom det sig att Lise Meitner aldrig fick något Nobelpris? Läs mer om turerna bakom hennes många nomineringar på sidan 14.

Hur finner man den "nya" fysiken?

2023 års Nobelpris i fysik utdelades för experimentella metoder som genererar attosekundpulser av ljus för studier av elektrondynamik i materia¹. Priset gick till tre pristagare, men av dessa kommer jag att fokusera på professor Anne L'Huillier, som nu blivit den första Nobelpristagaren vid Lunds Universitet. Hon fick telefonsamtalet från Nobelkommittén när hon föreläste i atomfysik på programmet för teknisk fysik vid Lunds Tekniska Högskola. Efter detta samtal fortsatte hon sin föreläsning som om inget hade hänt. Detta är mycket utmärkande för Anne: Hon avslutar alltid det som hon påbörjat, och fysiken kommer alltid först!

Annes avhandling heter *Multi-elektron-multifoton-jonisation av atomer* (1986). Med andra ord: hon bestrålade atomer med en intensiv laser och studerade elektronerna som kom ut. Hennes stora upptäckt kom tidigt i hennes karriär, endast ett år efter att hon försvarat sin avhandling vid Université Pierre et Marie Curie i Paris. Upptäckten bestod i att atomer som bestrålas av intensivt laserljus själva skickar ut strålning med mycket högre frekvens. Denna strålning består av ett stort antal "övertoner" som sträcker sig, med jämförbar styrka, från överton fem upp till överton trettiofem. Laserns infraröda ljus kan därmed transformeras till det extremt ultraviolette området. Anne har sedan lagt de följande trettiosex åren på att bättre förstå hur övertonerna uppstår och hur de kan bilda världens kortaste ljusblitzar (attosekundpulser, $1 \text{ as} = 10^{-18} \text{ s}$).

Fysiken bakom denna transformation av ljus är fascinerande, men det är Annes vetenskapliga tålamod och nyfikenhet som gjort att hon nu tilldelats Nobelpriset. Idag vet vi att blix-



tarna uppkommer i gränslandet mellan kvantmekanik och klassisk fysik. För att skapa kontrollerade blixtrar måste det också råda ett välstämt samspel mellan alla atomer i gasen – fysiken för attosekundpulser sträcker sig alltså från mikroskopisk kvantmekanik till makroskopiska skalor. Upptäckten kom naturligt för Anne, eftersom hon utförde ett experiment i ett då outforskat område i "parameterrymden". Det vi kan lära oss av Anne är att vi måste våga att prova något nytt, men också vikten av att ha en stark koppling mellan experiment och teori.

Under de senaste femton åren har jag själv haft det stora nöjet att forska med Anne i rollen som teoretiker. Ett exempel på bra samspel mellan experiment och teori publiceras 2017 i *Science*, där den "tid" det tar för atomer att fotojoniseras kunde mätas och tolkas upplöst på en tidsskala av enstaka attosekunder.

JAN MARCUS DAHLSTRÖM

Ordförande för AMO sektionen,
Docent och universitetslektor vid
Matematisk Fysik på Lunds universitet

¹ Läs mer om Nobelpriset och Anne L'Huillier på sidorna 5–9.

Nominera till Oseenmedaljen '24!

■ Samfundets stödjande institutioner inbjuds härmed att nominera en avhandling som framlades under 2023. Förslagen skall vara inkomna **senast den 31 januari 2024**.

Vinnare tilldelas Oseenmedaljen, ett diplom och en prissumma på 100 000 kr (prispengarna är från Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs minnesfond). Avhandlingen och pristagaren presenteras dessutom i *Fysikaktuellt*.

Samfundets stödjande institutioner kan nominera vardera ett bidrag. Nomineringar skickas till: Oseenmedaljen@fysikersamfundet.se.

En kort motivering (1–2 sidor) och en länk till avhandlingen ska skickas med nomineringen.

13 gånger populär fysik

■ Missa inte Uppsala universitets öppna föreläsningar! På www.uu.se/kalendarium hittar du samtliga kommande föreläsningar.

Just nu pågår serien 13 × 13, med populärvetenskapliga framställningar från institutionen för fysik och astronomi. Mer information finns på www.physics.uu.se/samverkan/13x13.

Poddtipset



Forskarpodden

■ Uppsala universitet bjuder på samtal med forskare från alla möjliga områden, och får höra mer om vad de forskar om och hur deras forskning kan lösa olika problem. Bland annat kan man höra Maja Olvegård, forskare i fysik, prata om kalla magneter, Marika Edoff, professor i fasta tillståndets elektronik, om nästa generations solceller, och Ulf Danielsson, professor i teoretisk fysik, om bland annat strängteori.

forskarpodden.podbean.com



FOTO: ERIK BRYLAND

Dubblerat läger

■ I höst har föreningen Ung Vetenskaps-sport följt upp förra årets premiäromgång med att arrangera två fysik- och astronomiläger för gymnasister, ett i Uppsala och ett i Göteborg. På bilden ovan syns deltagarna på Ångströmlaboratoriet: 70 gymnasister från hela Sverige och 20 ideella ledare, i huvudsak studenter som tidigare tävlat i uttagningarna till fysik- och astronomiolympiader. Syftet med lägren är att stimulera intresserade elever och

på programmen fanns föreläsningar, studiebesök, sociala aktiviteter och lek-tioner med fokus på problemlösning.

– Innan jag kom hit var jag intres-serad av fysik, men nu älskar jag fysik, sammanfattade Goran Amin från Malmö Borgarskola sin upplevelse av Göteborgsläget.

Projektledarna Benjamin Verbeek och Erik Bryland har redan börjat planera för att det ska bli fortsatta läger nästa år. Läs mer på www.physics.uu.se/nyheter/enskild-nyhet/?tarContentId=1070496.

RAPPORT OM FORSKNINGSANKNYTNING

Bristfälligt samband

■ Kungliga Vetenskapsakademien har nyligen presenterat en utredning om sambandet mellan forskning och utbildning vid Sveriges universitet och högskolor, *Forskningsanknytning – en nyckelfråga för den högre utbildningens kvalitet*. Utredare har varit Kerstin Sahlin, professor i företagsekonomi vid Uppsala universitet och tidigare 3:e vice preses i akademien.

Högskolelagen föreskriver att utbildningen skall vila på vetenskaplig eller konstnärlig grund samt på beprövad erfarenhet. Utredningen menar att detta förutsätter ett nära samband mellan forskning och utbildning, som dock i verkligheten ofta är bristfälligt:

- Forskningsanknytningen är otydlig och hanteras schablonmässigt.
- Det är ett svagt fokus på kvalitet i forskningsanknytningen.
- Administrativa begränsningar leder till inlåsningseffekter.
- Stark forskning är underutnyttjad som resurs för den högre utbildningens forskningsanknytning.

Utredningen föreslår ett åtgärdsprogram med fyra huvudpunkter, som sägs kunna genomföras förhållandevis relativt omgående:

- Ställ forskningsanknytningen i fokus.
- Öppna upp den högre utbildningens forskningsanknytning.
- Nytt utbildningsutvecklingsresurser till starka forskningsprogram.
- Utveckla kompetensnätverk för lektorer.

Utredningen menar dock att det på sikt även behövs en större översyn av högskolelandskapet. Här lyfts bland annat frågan om alla utbildningar skall forskningsanknytas, och om arbetsfördelningen mellan lärosäten kan utformas på ett annat sätt än den nuvarande modellen med en ”enhetlig högskola”.

Hela rapporten finns att läsa på: www.kva.se/app/uploads/2023/08/forskningsanknytningwebb.pdf.

De fångade ultrasnabba förlopp



Nobelpriset i fysik 2023 tilldelas Pierre Agostini, Ferenc Krausz och Anne L'Huillier "för experimentella metoder som genererar attosekundpulser av ljus för studier av elektrondynamik i materia".

När vi går in på att närmare beskriva årets pris, kan det vara av intresse att kort berätta hur den beredande instansen – Nobelkommittén för fysik – arbetar. Beslutet tas av den Kungliga Vetenskapsakademien (KVA) efter förslag från fysikkommittén. Arbetet i fysikkommittén styrs av Alfred Nobels testamente, som fastställer att förmögenheten ska avsättas i en fond vars ränta, delad i fem lika delar, ska utgöra prissummor där en av delarna ska tillfalla "den som inom fysikens område har gjort den viktigaste upptäckt eller uppfinning". För alla fem Nobelpris gäller att priset ska tilldelas de som "hafva gjort mänskligheten den största nytta".

Fysikkommitténs arbete vilar på tre ben. Varje år inbjuds ca 3 000 fysiker från hela världen till att nominera pristagare. Baserat på nomineringarna identifierar kommittén områden där viktiga upptäckter eller uppfinningar gjorts och beställer konfidentiella rapporter från experter. Ett urval tas fram i början av sommaren, varefter fysikkommittén skriver ett betänkande, drygt 100 sidor, som utmynnar

i ett konkret prisförslag. I augusti skickas detta till den beslutande instansen, KVA. Ledamöterna i KVA har då möjlighet att läsa betänkandet i god tid före besluts-mötet i början av oktober.

ÅRETS PRIS KAN SPÄRAS tillbaka till 1970- och 80-talen och, som vi kommer att se, handlar omväxlande om fotoner och elektroner. Vid ett forskningscenter i Paris-Saclay arbetade såväl Pierre Agostini som Anne L'Huillier.

Agostini var pionjär inom ett område av atomfysiken som brukar benämnas "atomer i starka laserfält". Om laserfältet är tillräckligt starkt går det att stapla flera fotoner på varandra. Fotonerna kan då jonisera en atom, även om de var för sig inte har tillräckligt hög energi för att göra det. I slutet av 70-talet demonstrerade Agostini att det också går att få atomen att absorbera fler fotoner än vad som behövs för att jonisera systemet så att elektronen får högre energi, något som döptes till "Above Threshold Ionisation (ATI)". När man detekterar elektronernas energi i ett fotoelektronspek-

trum syns tydliga toppar, separerade med energin hos en foton. Den här förmågan att absorbera extra fotoner skulle senare visa sig vara central för att kunna påvisa attosekundpulser experimentellt.

ANNE L'HUILLIER ARBETADE MED en lite annan inriktning: hur man framställer och använder atomära joner som har få eller inga elektroner kvar, så kallade högt laddade joner. L'Huillier använde intensiva laserpulser för att studera hur dessa kunde producera högt laddade joner.

I Paris-Saclay fick L'Huillier och hennes medarbetare idén att testa vilka fotoner som bildas när intensiva laserpulser får växelverka med en gasstråle av ädelgaser. För att bilda en gasstråle är ädelgaser det perfekta valet: de är ju kemiskt inaktiva och man får därmed inga problem med strålen. Tanken var att studera fluorescensen från atomerna och jonerna och L'Huillier satte en detektor som studerade gasen från sidan, men också en i laserns riktning. Någon fluorescens såg gruppen aldrig, men i framtidsriktningen kunde de detektera ▶

Årets pristagare



Pierre Agostini

Född 1941 i Tunis, Tunisien (då Frankrike). Fil.dr 1968 vid Université Aix-Marseille, Frankrike. Professor vid Ohio State University, Columbus, USA.



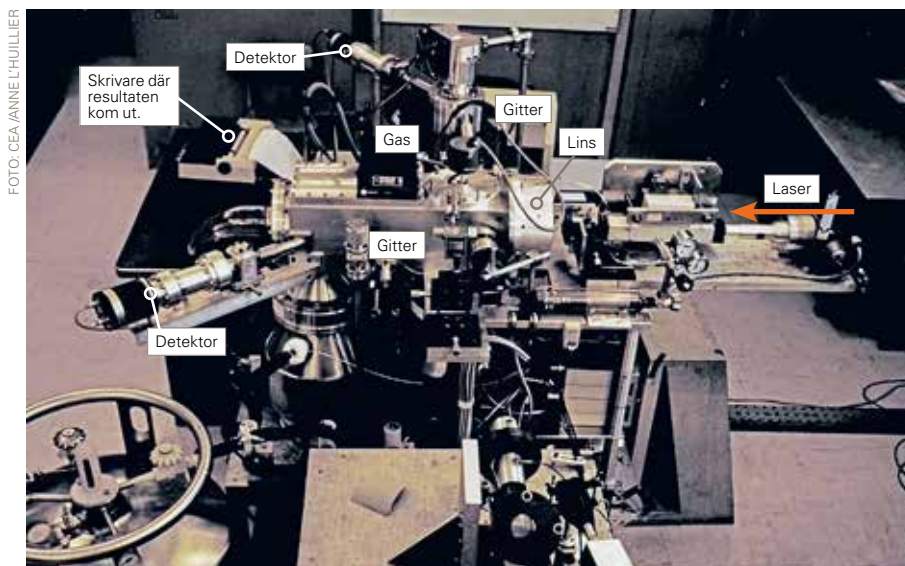
Anne L'Huillier

Född 1958 i Paris, Frankrike. Fil.dr 1986 vid Université Pierre et Marie Curie, Paris, Frankrike. Professor vid Lunds universitet, Sverige.



Ferenc Krausz

Född 1962 i Mór, Ungern. Fil.dr 1991 vid Technische Universität Wien, Österrike. Director vid Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching och professor vid Ludwig-Maximilians-Universität München, Tyskland.



FIGUR 1 Foto av den experimentuppställning som användes då de första övertoner observerades i Paris-Saclay. Lasern som användes vid experimentet var en Nd-YAG-laser med våglängd 1 064 nm med en intensitet av 10^{13} W/cm² när ljuset fokuserades på en gasstråle av krypton, argon eller xenon. Uppställningen byggdes för att kunna detektera XUV-fluorescens både rakt fram och från sidan. Från sidan syntes aldrig någon signal, men i framtäckningen syntes flera höga övertoner. Övertongenereringen leder till fotoner som har en frekvens som utgör udda övertoner av grundfrekvensen, (1 064 nm).

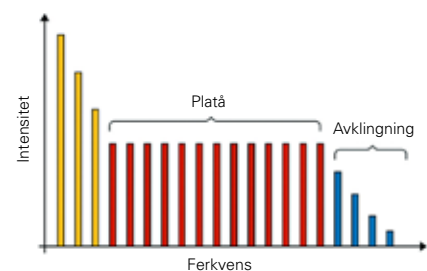
► flera övertoner med ungefär samma intensitet, vilka bildade en platå. Övertonerna var udda multipler av grundfrekvensen hos lasern som användes. Här staplades flera fotoner på varandra igen, men i stället för att skicka i väg en elektron med hög energi skapades en energirik foton. Att det bara skapades udda multipler går att förklara på många olika sätt, bland annat att pariteten i processen måste bevaras (ett udda antal fotoner in ger ett udda antal fotoner ut).

Figur 1 visar experimentuppställningen som L'Huillier och hennes medarbetare använde. Gruppen i Paris-Saclay var inte först med att generera övertoner, en amerikansk grupp hade gjort ett liknande experiment, men med en laser med våglängden 248 nm. Paris-Saclay-gruppen var däremot först med att använda en infraröd (IR) laser vid 1 064 nm, något som skulle visa sig helt avgörande.

FIGUR 2 VISAR, I STILISERAD FORM, vad L'Huillier observerade. Frågan som uppstod var: Varför bildar övertonerna detta mönster? Det var främst den långa platån och den snabba avklingningen efter platån som väckte uppmärksamhet.

När vi kommit så här långt i historien,

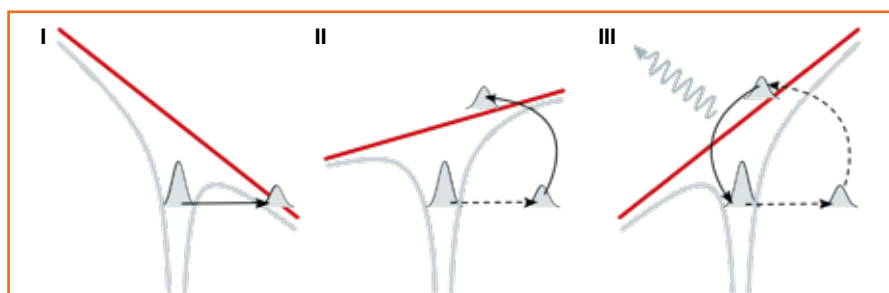
alltså kring 1987–88, kan det vara värt att stanna upp en stund och reflektera över hur korta laserpulser man vid den tiden kunde generera. Man hade nått till ungefär 5–6 femtosekunder, och i det optiska området visste man att det fanns en fundamental gräns.



FIGUR 2 Stilerat spektrum av övertoner av grundfrekvensen (våglängd 1 064 nm). Intensiteten avtar snabbt, för att sedan bli konstant över stort antal övertoner (platå), och sedan snabbt avklinga.

Ljus är en vågrörelse, och för att få ljus måste det elektromagnetiska fältet svänga minst en optisk cykel. I det synliga området motsvarar en optisk cykel ungefär 1,5 femtosekunder. Den här fundamentala gränsen kom att få benämningen femtosekundsbarriären. För att kunna studera händelseförlopp i elektronernas värld behövde den barriären brytas, något som ingen hade någon aning om hur man skulle göra, utom att det skulle behövas kortare våglängder.

I en serie av arbeten som Anne L'Huillier genomförde tillsammans med olika medarbetare, inte minst Kenneth Kulander i USA, stod det klart att den långa platån av övertoner skulle kunna användas för att framställa laserpulser



FIGUR 3 En elektron som är bunden vid en atomkärna kan normalt inte lämna atomen. Dess energi räcker inte till för att lyfta den ur den brunn som bildas av atomens elektriska fält. Men atomens fält förvrängs när det påverkas av ett starkt laserfält. När bara en smal barriär stänger in elektronen medför kvantmekaniken att det finns en inte försumbar sannolikhet att elektronen "tunnlar" genom barriären (I).

Det fria elektronvågpaketet accelereras av laserfältet och när fältet byter riktning åker elektronen tillbaka åt det håll den kom ifrån (II).

Beroende på när vågpaketet joniserades kommer det att komma tillbaka till atomen med olika energi (flera jonisationstillfällen leder till att elektronen aldrig kommer tillbaka) (III). Elektronen kommer nu att interferera med den del av vågpaketet som är kvar och en dipol som skickar ut kortvågigt ljus skapas. Om elektronen kommer tillbaka med hög energi uppstår alltså en dipol som oscillerar fortare och ljuset som skickas ut får mer energi. Den här processen skapar en kort ljusblxt som upprepas två gånger per laseracykel.

som korsade femtosekundsbarriären. Detta arbete tog tio år.

Ett viktigt steg togs av Kulander och medarbetare 1992 när de kunde visa dels hur den högsta energin på övertonerna beror på laserfältets intensitet, dels kunde formulera en semiklassisk modell för hur övertonerna genereras. Något senare tog Paul Corkum oberoende fram en liknande modell. Figur 3 illustrerar de tre stegen vid generering av höga övertoner.

NÄR DET VÄL STOD KLART att övertoner i det extremt ultraviolette området (10–120 eV) gav den nödvändiga bandbredden för att framställa attosekundpulser började årets två andra pristagare, Pierre Agostini (i Paris-Saclay) och Ferenc Krausz (i Wien), var och en på sitt håll arbeta med att förstå hur man kan mäta hur långa attosekundpulserna är.

L'Huilliers arbete hade visat att övertonerna från en enskild atom är i fas, och att många atomer tillsammans kan arbeta synkroniserat. Man kan jämföra med en symfoniorkester – om alla i orkestern spelar olika musik så uppstår ett obehagligt brus för publiken. När orkestern spelar tillsammans med en dirigent som håller i taktpinnen uppstår musik. Det är samma sak när många atomer samverkar för att generera attosekundpulser: det starka laserfältet håller tydligt i taktpinnen.

Genombrottet kom år 2001, när först Agostini framställde ett pulståg av attosekundpulser där varje puls i tåget hade en pulslängd på ca 250 attosekunder. Strax därefter lyckade Krausz med att skapa och mäta isolerade attosekundpulser med en pulslängd på ungefär 650 attosekunder (figur 4 och 5). Han använde en laserpuls som var mycket kort från början och filtrerade sedan XUV-ljuset både spektralt och spatalt.

Men hur gjorde Agostini och Krausz för att till slut knäcka nöten med att inte bara framställa, utan också mäta attosekundpulser? Båda två utnyttjade en kombination av den infraröda puls som skapade attosekundpulserna och fotoelektron-spektroskopi.

Eftersom attosekundpulserna har så kort våglängd är det lätt att använda dem till att jonisera atomer. Även här blir en

grupp forskare i Paris centrala i historien. V. Veniard, R. Taïeb och A. Maquet hade länge teoretiskt studerat egenskaperna hos joniserade elektronvågpaket och visat att dessa ärver flera egenskaper från ljuspulsen som skapade dem. De missade tyvärr det sista, logiska steget att detta kan användas till att mäta attosekundpulser. Det är inte lätt att förstå hur en lång laserpuls kan användas för att mäta ett mycket kortare förlopp, men det bygger på att fältet, och inte bara pulsprofilen, kontrolleras väldigt noga i förhållande till attosekundpulserna.

AGOSTINIS EXPERIMENT gick ut på att jonisera argon med ett pulståg tillsammans med ett ganska starkt infrarött laserfält. Eftersom övertonerna är udda multipler av den infraröda lasern kommer de att

skapa elektroner med energier separerade med motsvarande två IR-fotoner.

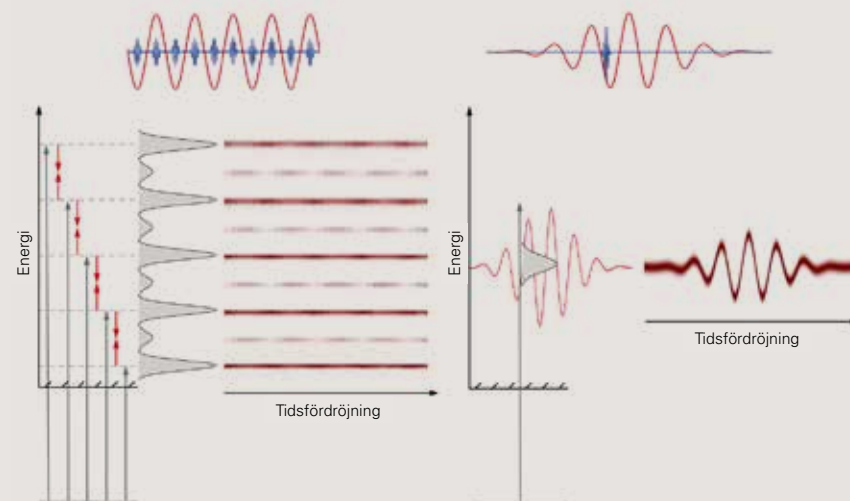
Här kommer vi tillbaka till Agostinis experiment från 70-talet, och möjligheten att absorbera ytterligare fotoner. Atomen kan alltså joniseras av en XUV-foton och en IR-foton tillsammans, det skapas då ett så kallat *sidband* till den ursprungliga elektrontoppen. IR-fotonen kan också ta energi (stimulera emission) så att det skapas ett sidband på andra sidan av den ursprungliga elektrontoppen.

Två närliggande övertoner kommer alltså att ha ett sidband gemensamt, den första övertonen plus en IR-foton och nästa överton minus en IR-foton. Det här bildar ett tydligt interferensexperiment – två olika vägar till samma sluttillstånd. Interferensen beror på fasen mellan de ►

ILL. J. MAURITSSON



FIGUR 4 Båda experimenten 2001 använde fältet för en infraröd laser till att mäta pulslängden på attosekundpulserna. I Agostinis fall var det ett pulståg av attosekundpulser där tiden mellan två pulser motsvarar en halv IR-cykel (vänster), medan Krausz skapade en isolerad attosekundpuls med hjälp av en IR-puls som bara var några cykler lång (höger). I båda fallen studerades sedan fotoelektronernas energi som funktion av tidsfördröjningen mellan fälten.



FIGUR 5 Mätning av attosekundpulser bygger på att man studerar hur fotoelektronernas energi varierar som funktion av tidsfördröjningen mellan fälten. När man använder ett attosekundpulståg studeras interferensen hos sidbanden mellan två övertoner för att på det viset få fram den relativa fasen. Med en isolerad attosekundpuls mäter man istället hur elektronenergin varierar som funktion av tidsfördröjning och kan mäta både attosekundpulsen och vektorpotentialen hos IR-pulsen.

- två övertoner och det var precis den här fasen som Agostini behövde mäta, för flera övertoner, för att kunna visa att de tillsammans skapade ett pulståg.

KRAUSZ HADE I STÄLLET en isolerad attosekundpuls och använde mer direkt IR-pulsens fält. Elektronvågspaketet som bildas när en atom joniseras av en attosekundpuls kan få ändrad energi om jonisationen sker tillsammans med ett starkt IR-fält. Beroende på fältet (eller egentligen vektorpotentialen) vid jonisations-tillfället kommer energin antingen att öka eller minska. Genom att studera hur elektronenergin varierar när tiden mellan de två pulserna ändras går det att både karakterisera attosekundpulsen och det elektriska fältet på IR-pulsen.

Dansen mellan fotoner och elektroner fortsätter. Ett starkt laserfält (fotoner) växelverkar med en gas så att elektronerna hjälper till att skapa övertoner och attosekundpulser. Dessa attosekundpulser används sedan för att skapa ett elektronvågspaket som ärver flera egenskaper från ljuspulsen så att vi sedan kan karakterisera den med ett infrarött laserfält.

Under de dryga 20 år som gått sedan genombrottet kan man konstatera att även om tekniken utvecklats väldigt mycket så är Agostinis och Krausz metoder de två plattformar som fortfarande gäller. Valet av pulståg eller isolerade pulser beror på vilken typ av problem man vill studera. Den tekniska laserutvecklingen har också lett till att man numera har tillgång till lasersystem som är mycket mer användarvänliga än för 20 år sedan.

JOHAN MAURITSSON
professor, Lunds universitet

MATS LARSSON
professor, Stockholms universitet

Läs mer

Interferens och övertoner kan enkelt illustreras med ljud. Läs mer på sidan 10.

Vad kan man använda attosekundpulserna till? Läs mer i *Fysikaktuellt* nr 4/2022.

En längre intervju med Anne L'Huillier: *Fysikaktuellt* nr 1/2017.

"Korta laserpulser", A L'Huillier m.fl., *Fysikaktuellt* nr 1/2015.



FOTO: JOHAN MAURITSSON

Anne L'Huillier tog emot samtalet från Nobelkommittén när hon hade paus i en föreläsning på LTH den 3 oktober. Sedan gick hon in och fortsatte undervisa. Här pratar hon med PR-teamet några minuter efter att priset annonserats.

Grattis till Nobelpriset, Anne L'Huillier!

Fysikaktuellts Johan Maurits-son gratulerade sin kollega Anne L'Huillier, och passade på att ställa några frågor för tidningens räkning.

Stort grattis, fantastiskt roligt och otroligt välförtjänt! Det har varit några intensiva dagar sedan den 3:e oktober då det tillkännagavs att du är en av tre Nobelpristagare i fysik i år – stort grattis!

– Tack, tack.

När blev du först intresserad av fysik?

– Det blev jag väldigt tidig. Jag har alltid haft lätt för matematik och tyckt att naturvetenskap var spännande. Men en upplevelse minns jag lite extra tydligt. Jag kommer ihåg när min mormor väckte mig som 10-åring för att vi skulle titta på den första månlandningen och de första stegen på månen. Det inspirerade mig väldigt mycket, kanske inte till att bli astronaut, men till att utforska möjligheterna som finns inom naturvetenskap och teknik.

Hur var det sedan att forska i Paris-Saclay på 80-talet?

– Det var väldigt spännande! Där var tre grupper som arbetade med lite olika saker. Pierre Agostini var redan då världsledande inom elektronspektroskopi, en grupp studerade molekyler och vi tittade på ljus från atomer och joner.

Vad trodde ni att ni skulle se när ni placerade XUV spektrometrarna vid ert experiment?

– Vi försökte se fluorescensen, men signalen dominerades helt av övertoner som vi såg i framåtriktningen. Vi kände till vad Charlie Rhodes hade sett i Kalifornien så vi förstod att vi såg övertoner, men vi såg många fler och en lång plåtå som ingen hade sett tidigare.

– Jag blev väldigt taggad att fortsätta, men när jag bad teoretiker om hjälp att förklara vad vi såg sa de att de kunde simulera signalen från en atom, men inte det samlade svaret från många. Då insåg jag att här fanns ett område att studera som ingen annan kunde då. Det gjorde att jag började arbeta med en kod för fasmatchning och att lösa Maxwells



ekvationer. Jag kom i kontakt med Ken Kulander som 1989 frågade om jag ville vara "topical editor" för en special issue för atomer i starka laserfält. När vi arbetade med det frågade jag honom om vi kunde arbeta tillsammans för att kombinera TDSE¹ och propagering och det resulterade i de första artiklarna tillsammans där vi började förstå hur övertonggenerering och flera atomer fungerar.

När var första gången du hörde talas om attosekundpulser?

– Det var från Ted Hänsch, som ungefär 1990 kom till Saclay. Då arbetade jag med Ken Kulander och Ken Schafer och Ted Hänsch frågade om jag kunde titta på simuleringarna i min dator och se om ljuset från dipolerna var i fas och kunde skapa väldigt korta pulser. När jag tittade på beräkningarna var de gjorda för enskilda atomer och hade inte filtrerats som fasmatchningen gör, och därför var det en enda röra och jag kunde inte se då att det skulle kunna bli några korta pulser av det. Sedan gjorde vi experiment tillsammans i Lund och visade att övertonerna är koherenta och att där tydligt finns i alla fall två olika banor som beter sig olika.

Vad vill du göra nu?

– Jag vill att saker ska vara som vanligt. Jag vill fortsätta att undervisa, prata med doktorander och forska vidare.

Är det något särskilt experiment som du drömmer om att göra nu?

– Det är många experiment som jag skulle vilja göra. Men ett speciellt är att jag skulle vilja koppla tillbaka till arbetet under min doktorsavhandling och studera multifoton och multielektron tillsammans. Experimentet jag skulle vilja studera är dubbeljonisation med två fotoner och mäta hur lång tid det tar för en jon att bli en jon.

Redaktionen för *Fysikaktuellt* önskar all lycka till med framtida experiment!

"Då insåg jag att här fanns ett område att studera som ingen annan kunde."

¹ TDSE står för Time Dependent Schrödinger Equation.

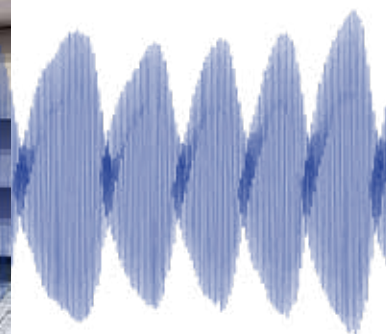
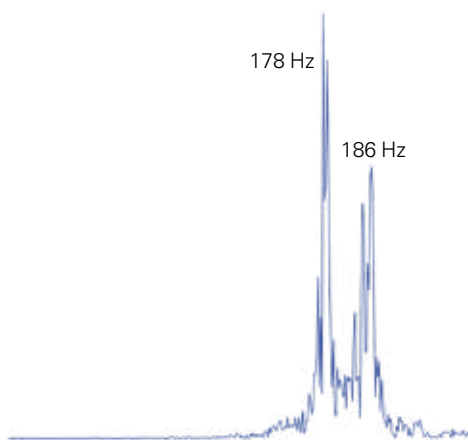
VILL DINA ELEVER LÄSA FYSIK 3?

Institutionen för fysik vid Göteborgs universitet erbjuder gymnasiekursen Fysik 3 varje vårtermin – både på distans och på Campus Johanneberg.



På Atomfysik i Lund, där Anne L'Huillier är professor, finns en vägg som besökande Nobelpristagare brukar signera. Självklart har Anne nu också signerat den.





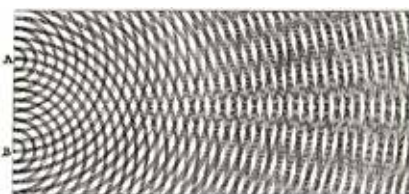
Cellisten Ulrika Lorenzi demonstrerar vargtoner och övertoner i humanistlaboratoriets ekofria rum på Lunds universitet.

Bland svävningar och ylande vargtoner

Årets Nobelpris kan tyckas svårbegripligt, men det går faktiskt att demonstrera principerna bakom det med **enkla experiment** i klassrummet!

Årets Nobelpris tilldelas en trio fysiker för det experimentella arbetet bakom attosekundspulser (se sidan 5). Det handlar om att addera ljus med flera olika våglängder. De olika våglängderna är övertoner till lasern som används för att generera dem. För att det verkligen ska bli korta pulser måste man sedan kontrollera den inbördes fasen mellan övertonerna. Liknande fenomen, fast på en helt annan tidsskala, går enkelt att demonstrera i lektionssalen och ibland, om det vill sig illa, i en symfoniorkester. Både övertoner och hur dessa adderas går nämligen att illustrera med ljud, kanske enklast med ett stränginstrument som en cello.

Om två vågor med samma frekvens adderas kommer de att interferera konstruktivt eller destruktivt, beroende på deras fasförhållande. Ungefär år 1800 använde Thomas Young detta för att påvisa vågenskaperna hos ljus genom att låta ljuset från en källa passera två spalter. Young använde vad han hade till hands och skar två tunna spalter i ett spelkort. Sedan studerade han interferensmönstret på en skärm



FIGUR 1 Thomas Youngs bild av hur ljus som lyser genom spalter vid A och B skapar konstruktiv och destruktiv interferens.

på andra sidan. Eftersom fasen mellan vågorna från de två spalterna varierar med avståndsskillnaden till skärmen uppstår ömsom ljusa, ömsom mörka partier i rummet (figur 1).

OM VI ISTÄLLET ADDERAR två vågor med *olika* frekvens kommer de att förstärka eller släcka ut varandra vid olika tidpunkter. Fenomenet kallas för *svävning* och svävningsfrekvensen som man kan höra hos två ljudvågor är skillnaden i frekvens mellan de två vågorna. Eftersom det är få förunnat att ha absolut gehör brukar det vara det här fenomenet man utnyttjar för att stämma ett instrument. En kalibrerad

stämgaffel, till exempel ettstrukna A med 440 Hz, slås an samtidigt som man tar motsvarande ton på instrumentet. Är instrumentet ostämt hörs en tydlig svävning där ljudstyrkan varierar som funktion av tiden. Efterhand som man stämmer instrumentet bättre kommer svävningsfrekvensen att bli mindre och mindre, det vill säga en långsammare modulation.

SVÄVNING GÅR ALLTSÅ ENKELT att illustrera med två stämgafflar om frekvensen på den ena ändras lite med hjälp av en vikt. I figur 2 syns intensitetsvariationen, och i den länkade ljudfilen kan man tydligt höra hur ljudet varierar. Med en app på en telefon¹ går det också att analysera vilka frekvenser signalen innehåller (här 440 Hz och 427 Hz).

Det döljer sig mycket förståelse för årets Nobelpris i detta enkla experiment! Figur 3 visar en simulering då de två ljudvågorna

¹ Sök på till exempel "frequency analyzer" där du brukar hämta appar, så dyker det upp ett antal alternativ.



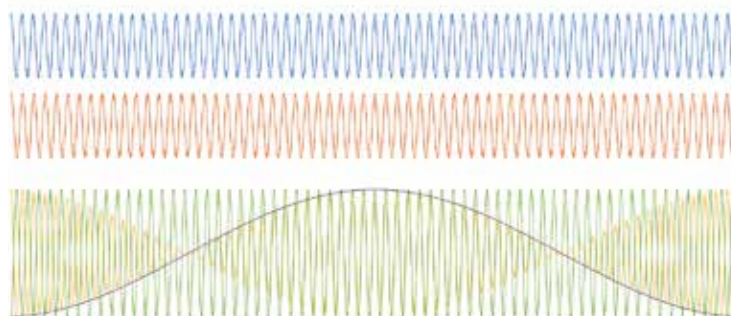
FIGUR 2 Två stämgaflar med aningen olika frekvens. Svävningen hörs tydligt i ljudfilen: www.fysikersamfundet.se/wp-content/uploads/Svavning.mp3.

från figur 2 adderas (440 Hz och 427 Hz). Den gula vågen är summan av de båda och det syns tydligt hur amplituden varierar. Den gröna vågen är medelfrekvensen och har lagts in som en referens. Intensiteten på ljudvågen varierar, men det går också att se att fäsen ändras med π när man går från en buk till nästa, på samma sätt som fäsen på pulserna i ett attosekundspulståg skiftar från puls till puls.

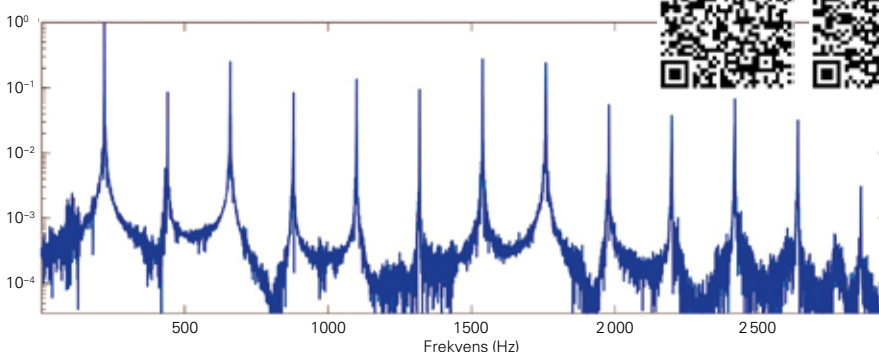
Årets Nobelpristagare adderade istället ljusvågor, och inte bara två utan flera olika frekvenser. På samma sätt som i exemplet med svävningen fick de en modulation av signalen. Genom att addera fler än två ljusvågor, och se till att deras frekvens var udda multipler av grundfrekvensen, fick de ett tåg av korta ljuspulser istället för bara en svävning. Svårigheten när flera övertoner adderas är att fäsen mellan *alla* vågorna måste kontrolleras så att vi samtidigt får konstruktiv interferens. Vill man själv testa att ändra fas och amplitud på de olika frekvenserna i ett pulståg kan man besöka pulsetrain.openopticsmodule.com/en.

TILLBAKA TILL CELLON, som inte bara är ett fantastiskt instrument utan också kan användas för att illustrera både övertoner och svävningens fenomen. Från en cellists synvinkel har instrumentet både önskade övertoner – som ger cello dess underbara klangrymd – och oönskade svävningar som ibland kan låta som ylande vargar, och därför också brukar kallas *vargtoner*.

För att studera både övertoner och vargtoner hos en cello lånade vi humanistlaboratoriets ekofria rum på Lunds universitet (www.humlab.lu.se/sv/utrustning/ekofria-rummet) och bjöd in cellis-



FIGUR 3 Simulering av ljudvågorna från experimentet i figur 2. Den gula vågen är summan av vågorna, och den gröna visar medelfrekvensen.



FIGUR 4 En del av cellons frekvensinnehåll. De länkade ljudfilerna är dels en vanlig ton (vänster), dels en vargton (höger): www.fysikersamfundet.se/wp-content/uploads/Ton_A.mp3 och www.fysikersamfundet.se/wp-content/uploads/Vargton.mp3.

ten Ulrika Lorenzi. Rummets golv, väggar och tak är designade för att reflektera så lite ljud som möjligt och när man stänger dörren blir det verkligen tyst. Så tyst att man hör sina egna andetag. Det är en ovan upplevelse att spela ett instrument i det här rummet, eftersom återkopplingen blir så annorlunda mot ett normalt rum. Här är ett kort stycke inspelat i rummet: www.fysikersamfundet.se/wp-content/uploads/Musik_1.mp3.

ALLA STRÅKINSTRUMENT, men framförallt en cello, är väldigt övertonsrika. Med en frekvensanalysator på telefonen går det som sagt enkelt att se hur en ton faktiskt innehåller många olika frekvenser och att dessa är övertoner till grundfrekvensen. I figur 4 syns en del av frekvensinnehållet från cello (som påminner mycket om hur ett övertonsspektrum för ljus ser ut), och i den länkade filen kan ni höra ljudet. Men man hör ingen modulation i tiden här.

Ett tillfälle där det hörs en tydlig modulation i tiden är om man råkar slå an en vargton. Vargtoner finns i alla sträng-

instrument, men är kanske mest framträdande i just cello. Om vi frekvensanalyserar en vargton ser vi att där är två tydliga toppar vid grundfrekvensen, vilket leder till en tydlig modulation i tiden på samma sätt som svävningen mellan de två stämgaflarna. Vargtonerna beror inte på kvalitén på instrumentet utan på resonanser som ligger nära den ton man tar.

SOM MUSIKER VILL MAN förstås helst undvika de ylande ljuden, och det finns olika metoder för detta. En av de vanligare metoderna är så kallade vargtonsdödare som man fäster på den aktuella strängen nere i stallet. Dessa flyttar resonansfrekvenserna till ett annat område, man blir alltså aldrig helt av med dem.

Det kan vara svårt att förstå hur ofattbart korta attosekundspulser är, men hur vågor med olika frekvens adderas för att skapa pulser i tiden är förhoppningsvis lite mer begripligt nu.

JOHAN MAURITSSON
Lunds universitet

Norrskén i flera dimensioner

FOTO: PIXABAY

I norra Sverige byggs en ny vetenskaplig infrastruktur för att bättre förstå **fysiken i jordens övre atmosfär** (jonosfären), genom att studera svaga ljusemissioner från framför allt norrsken.

Solen sänder ut en ström av laddade partiklar, *solvinden*, som mestadels består av elektroner och protoner. När solvinden växelverkar med det område i rymden som domineras av jordens magnetfält, *magnetosfären*, överförs energi till denna. Detta medför att laddade partiklar accelereras in mot polarområdena längs magnetfältlinjerna och så småningom krockar med atomer och molekyler i jordens övre atmosfär, *jonosfären*. Därvid exciteras dessa, och sänder ut ljus (fotoner) av en bestämd våglängd ("färg"). Det är detta ljus vi ser som norrsken, *Aurora Borealis* (norra halvklotet), och sydsken *Aurora Australis* (södra halvklotet).

Stabiliteten hos det exciterade tillståndet avgör den genomsnittliga tiden till fotonemission. Exempelvis är den cirka 120 s när en elektron kolliderar med en syreatom på 250 km höjd. Det resulterar i den så kallade röda linjen (6300 Å).

Sker samma kollision längre ned (på runt 110 km höjd) är tiden endast 0,7 s och ljuset får den grönaktiga färg (5577 Å) som oftast associeras med norrsken. Om elektronen kommer ännu längre ned och kolliderar med en kvävemolekyl sker fotonemissionen nästan omedelbart och resulterar i det vackra blåviolettera (4278 Å) norrskenensljuset. Ju högre energi som elektronen har, desto längre ned i jonsfären kommer den, vilket alltså återspeglas i våglängden hos det utsända ljuset. Utöver dessa emissioner, som de flesta kan se med blotta ögat, har norrskenet ett rikt linjespektrum med många olika våglängder av intresse. Även protoner kan ge upphov till norrskenemissioner.

Den förste som mätte upp norrskenets spektra var Anders Ångström (1814–74) och enheten Ångström ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$) är

FIGUR 1 Karta visande i drift tagna ALIS_4D stationer (gröna) och ännu ej i drift tagna (gula). EISCAT_3D stationerna har markerats med "3D". EISCAT:s kvarvarande radaranläggningar, under avveckling, finns i Tromsø. Nedan: stationen i Tjautjas.



FOTO: U. BRÄNDSTRÖM

FIGUR 2 Kupolen med instrument ovanpå stationernas små "hus". Från vänster: ALIS_4D kameran med filterhjul (6 filter), meteor-kamera. Ramarna längst ned är positioneringssystemet som gör det möjligt att rikta kameran mot en viss del av himlen.

uppkallad efter honom. Under det senaste århundradet har studier av norrskenensljuset markant ökat förståelsen av fysiken i jonsfären. Ändå har jonsfären ibland skämtsamt kallats för "ignorosfären" eftersom vi ofta överförenklat eller bortsett från de komplicerade fysikaliska processer som pågår där.

ALIS_4D ÄR EN NY öppen forskningsinfrastruktur som bygger vidare på sin föregångare ALIS (Auroral Large Imaging System, 1993–2019) men med både högre tidsupplösning (därav _4D) och känslighet.

I dagsläget består systemet av fem mätstationer med kameror placerade i Abisko, Silkkimuotka, Kiruna, ESRANGE och Tjautjas (figur 1). Inom några år kommer systemet att bestå av totalt åtta automatiska mätstationer inom en baslinje om cirka 50 km. De nya stationerna placeras i Nikkaluokta, Karesuvanto och Skibotn.

Principen är att avbilda norrskenemissionerna genom att använda smalbandiga

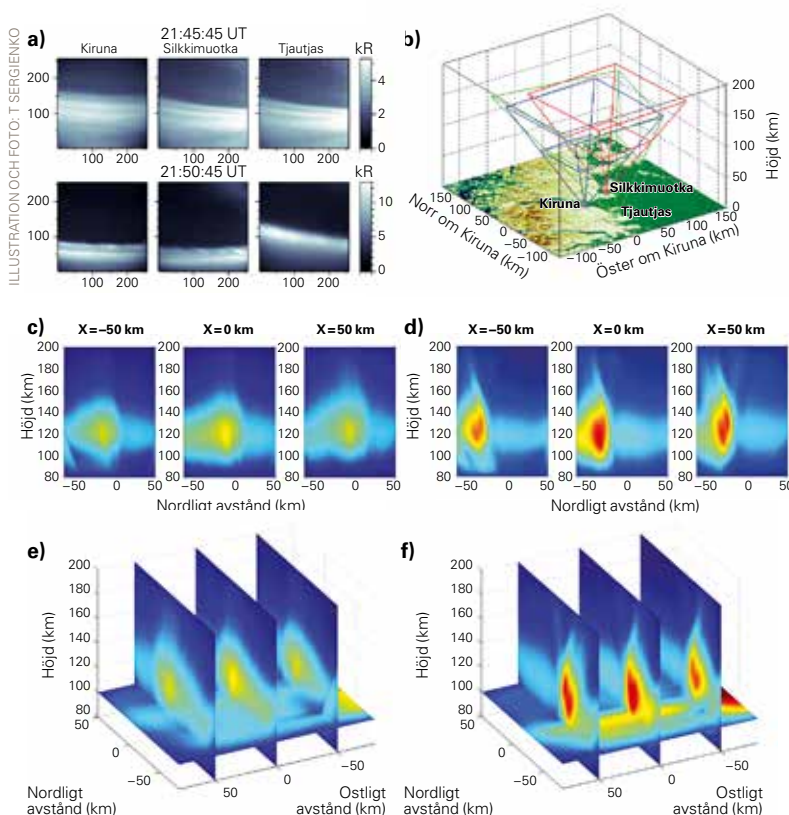
interferensfilter. Dessa är ett slags bandpassfilter som bara släpper igenom ljus av en viss våglängd. Filtren erfordrar en specialoptik och är placerade i filterhjul med 6–8 positioner så att olika våglängder kan studeras (figur 2).

FÖR ATT KUNNA OBSERVERA en gemensam volym har respektive kamera en öppningsvinkel på cirka 100° – 180° vilket möjliggör rekonstruktion av en viss ljusemission (antal fotoner per volymelement) med hjälp av tomografilikhande matematiska metoder (figur 3). Kameran är dessutom placerad i ett positioneringssystem så att olika volymer kan väljas på himlavalvet.

Som avbildande detektorer används så kallade EMCCD-chip (Electron Multiplying Charge Coupled Device). Dessa är mycket ljuskänsliga och möjliggör hög tidsupplösning med gott signalbrusförhållande. GPS-tid används för synkroniserade mätningar.

Sedan hösten 2019 har ALIS_4D ersatt ALIS vid vetenskapliga mätkampanjer tillsammans med EISCAT (läs mer om EISCAT och EISCAT_3D i *Fysikaktuellt* nr 1/2023), sondraketer, med mera. Under hösten 2023 har reguljära observatoriemätningar påbörjats. Ett AI-system, utvecklat av japanska samarbetspartners, används nu för att starta ALIS_4D när det är klart väder och norrskens samt stoppa mätningarna vid dåliga optiska förhållanden. Detta AI-system klassificerar även norrskensformer vilket kommer att styra val av observationsprogram. Detta förväntas påskynda utvecklingen av automatisk interaktion mellan olika vetenskapliga instrument i området som ALIS_4D, EISCAT_3D, med flera. Förhoppningen är att alla instrument i området ska kunna utnyttjas mer optimalt än vid traditionell tidsbokning, och endast observera när rätt förutsättningar föreligger för en viss typ av vetenskaplig studie.

ALIS_4D utgjorde huvudinstrumentet för optiska mätningar i samband med raketexperimentet BROR (Barium Release Optical and Radio experiment) som sköts upp från ESRANGE den 23 mars 2023. Målet var att studera småskaliga strukturer och processer i norrskensjo-



FIGUR 3 Tredimensionell fördelning av norrskens-emissionen för gröna linjen (5577 Å). **a)** Exempel på bilder med överlappande synfält. **b)** Geometrin för de överlappande synfälten. **c, d)** erhållen höjdfördelning av volym-emissionen vid två tidpunkter. **e, f)** Illustration av tomografivolymen med de i c, d visade höjdfördelningarna.

nosfären genom att där släppa ut små moln av barium och strontium. ALIS_4D observerade i gröna linjen (5577 Å) under nedräkningen och därefter joniserat barium (4934 Å) och neutralt strontium (4607 Å) under raketens flygtid.

Genom att använda en mycket kraftig radiosändare i kortvågsområdet (EISCAT Heating Facility nära Tromsø, med 12 sändare på 100 kW vardera) kan aktiva ”laboratorieexperiment” utföras i jonosfären. Härvid uppstår mycket svaga ljusemissioner. När detta skrivs pågår sådana experiment med ALIS_4D och EISCAT. Detta är en fortsättning på studier som bedrivits med ALIS och EISCAT sedan sekelskiftet, då sådana ljusemissioner på höga latituder otvetydigt observerades för första gången.

UTÖVER ATT FUNGERA SOM ett självständigt observatorieinstrument är ALIS_4D av stor betydelse för de vetenskapliga målen med EISCAT_3D. Hela 16 av 23 vetenskapliga mål med EISCAT_3D, inom rymd- och atmosfärfysik, kräver optiska mätningar.

För att bättre kunna stödja EISCAT_3Ds vetenskapliga mål inom atmosfärfysik utökas ALIS_4D därför med två instrument för synligt ljus, ett infrarött avbildande instrument (SWIR) samt åtta positioners filterhjul på samtliga mätstationer. Detta ger större flexibilitet för snabba och automatiska byten mellan studier inom rymdfysik och atmosfärfysik. En hel del utvecklingsarbete pågår när det gäller mjukvaror för detta ändamål.

Möjligheten att rekonstruera svaga ljusemissioner i tre dimensioner med god tidsupplösning gör ALIS_4D till en världsunik vetenskaplig infrastruktur. I kombination med andra avancerade instrument och infrastrukturer, inte minst EISCAT_3D, kommer säkerligen en hel del frågeställningar inom jonosfär- och atmosfärfysik att kunna besvaras framgent.

URBAN BRÄNDSTRÖM
Optisk norrskensforskare,
Institutet för rymdfysik, Kiruna

ALIS_4D har möjliggjorts genom finansiering av Vetenskapsrådet, Kempestiftelserna, Umeå Universitet och Institutet för rymdfysik.

Lise Meitner och Nobelpriset

Lise Meitner är mest känd för sitt banbrytande arbete om kärnklyvning tillsammans med Otto R Frisch. Men trots många nomineringar tilldelades hon aldrig Nobelpriset för detta. Här beskriver vi Nobelkommitténs arbete i samband med nomineringarna, i ett försök att kasta nytt ljus över händelserna.

Lise Meitner (1878–1968), fysiker, och Otto Hahn, kemist, träffades 1907 på föreläsningar hos Max Planck och inledde ett fruktbart vetenskapligt samarbete, som kom att spänna över flera decennier. Lise Meitner blev den första kvinnliga medlemmen i Kaiser Wilhelm-sällskapet 1913, fick sin egen forskaravdelning för strålningsfysik 1918 och utnämndes som den första kvinnliga professorn 1926. År 1922, fyra år före Pierre Auger, upptäckte hon "Meitner-Auger"-processen.

När nazisterna kom till makten i början av 1930-talet ändrades Meitners möjligheter att verka drastiskt. Hon förbjöds att undervisa, men kunde fortsätta forska tillsammans med Hahn. Vid den tiden fokuserade de på studier av element bortom uran, "transuraner". Neutronbestrålningens effekt på kärnreaktioner hade upptäckts av Enrico Fermi 1934 och många laboratorier experimenterade med att producera nya ämnen. Lise Meitner började använda neutroner i sin forskning och väckte så småningom också Otto Hahns intresse. 1935 anställde de, på Meitners initiativ, Fritz Strassmann, som genom sitt kunnande inom den organiska kemin blev ett värdefullt tillskott för gruppen.

När Österrike 1938 blev en del av Tyskland förlorade Meitner sitt österrikiska pass och hennes situation i Berlin blev alltmer prekär. Hon lyckades fly med hjälp av en holländsk kollega och kom så småningom till Stockholm, där Manne Siegbahn erbjöd henne en plats. I praktiken fortsatte hon där sitt nära samarbete med Otto Hahn. Några månader efter Meitners flykt upptäckte Strassmann och



Lise Meitner i Wien 1906.

Hahn att de element som man trodde var transuraniska också innehöll barium och andra lätta produkter. Otto Hahn och Lise Meitner diskuterade brevlades dessa till synes oförklarliga resultat.

HAHN OCH STRASSMANN BESLÖT att publicera resultaten, och Hahn bad Meitner om hjälp med en förklaring. Hon, som alltså var den förste som fått veta om "kärnklyvningen", diskuterade i sin tur problemet med sin systerson Otto Robert Frisch under julkhelgen 1938. Ganska snabbt kom de på en förklaring, genom att använda sig av Niels Bohrs vätskedroppsmo-
dell. Konkurrensen mellan Coulombkraften, som vill dra isär atomkärnan, och kärnans ytspänning leder hos tunga atomkärnor till att en klyvning kan bli gynnsam ur energisynpunkt.

Meitner och Frisch började skissa på en artikel. Otto Frisch visade utkastet till artikeln för Niels Bohr, som förstod inne-

börden direkt. Det sägs att han slog sig för pannan och sa: "Detta borde vi ha förstått för länge sen". Bohr, som var på väg till USA, lovade att inte föra resultaten vidare innan Meitner och Frisch hunnit skicka in sin artikel. Frisch och Meitner planerade samtidigt ett experiment på den nya högspänningsanläggningen på Niels Bohr-institutet i Danmark, med syfte att bekräfta kärnklyvningen fysikaliskt. Detta experiment fördröjdes dock genom förse-
ningar i anläggningens färdigställande.

NIELS BOHR HADE UNDER sin båtresa till New York diskuterat kärnklyvningen med sin kollega Leon Rosenfeld, men glömde att tala om för honom att de skulle hålla tyst om resultaten. När deras båt anlände till USA, den 16 januari, spreds sig nyheten om fissionen som en löpeld. Detta var alltså innan Hahns och Strassmanns artikel i *Naturwissenschaften* hade publicerats. Den 26 januari höll Niels Bohr ett föredrag där han omnämnde Hahns och Strassmanns experiment. Bohr skickade också ett antal telegram till Lise Meitner och Otto Frisch om att de skulle skynda på med sin publicering.

Meitners och Frischs gemensamma artikel, "Disintegration of uranium by neutrons: a new type of nuclear reactions", skickades till *Nature* den 16 januari 1939, och publicerades den 11 februari. Samtidigt publicerades en artikel om kärnklyvning av Niels Bohr, där han väldigt tydligt markerar att hans arbete var en uppföljning av Meitners och Frischs idé.

Nyheten från Hahns och Strassmanns experiment blev startskottet till en febril

verksamhet på många laboratorier. Bland andra Frédéric Joliot, som länge hade forskat om transuraner i stark konkurrens med Meitner och Hahn, gjorde följdexperiment. Frischs och Meitners uppföljande experiment, där de kunde påvisa att bariumfragment slungas ut med stor kraft vid fissionsprocessen, skedde först i mars.

Niels Bohr fortsatte sin teoribildning, tillsammans med John A Wheeler, med en större artikel i *Physical Review*. Även i denna artikel pekar Niels Bohr ut Meitner och Frisch som de som förstått och förklarat Hahns och Strassmanns experiment.

Få upptäckter inom fysiken har skapat sådan aktivitet som kärnklyvningen, och det är verkligen inte förvånande att Lise Meitner blev nominerad till Nobelpriset, både i kemi och fysik, totalt 49 gånger. Vad som är mer förvånande är att hon aldrig tilldelades det.

ARNE WESTGREN, sekreterare i Kungliga Vetenskapsakademiens Nobelkommittéer för fysik och kemi 1926–43, beredde 1942 frågan för kemikommitténs räkning. Han fann att en delning av priset mellan Hahn och Meitner inte kunde komma i fråga, eftersom han ansåg att de bidrag Meitner gjort med tolkningen vägde lätt. De experiment som Frisch och Meitner gjorde i Köpenhamn var, enligt Westgren, inte mer banbrytande än ett flertal liknande som gjordes direkt när upptäckten var känd. Westgren avslutar sin utvärdering med orden:

”Hade Lise Meitner ej av olyckliga tidsomständigheter tvingats avbryta sitt samarbete med Hahn år 1938, skulle hon säkerligen ha kommit att medverka vid de undersökningar som följande år ledde fram till upptäckten av uran- och toriumkärnors klyvning. En gemensam belöning av de två forskarna hade då varit motiverad.”

Året efter, 1943, föreslog ett flertal personer Otto Hahn till Nobelprisen i fysik och kemi. James Franck, Nobelpristagare i fysik 1925, nominerade även Lise Meitner till fysikpriset. Fysikkommittén gjorde detta år en kortare bedömning, och kom till slutsatsen att eftersom Hahn också föreslagits till kemipriset skulle man avvakta kemikommitténs beslut. Man yttrade också att det inte förelåg några hinder att



Otto Hahn.



Otto Robert Frisch

tilldela priset till både Meitner och Hahn i kemi, eftersom det rörde sig om samma upptäckt. Man valde också att inte göra någon bedömning av Meitners kandidatur till fysikpriset då ”vad som gäller för Hahn även [torde] gälla Lise Meitner”. Samtidigt får man anta att fysikkommittén var väl medveten om att endast Hahn var nominerad av kemikommittén.

Frågan om Hahns Nobelpris i kemi kom upp igen 1944. Westgrens utlåtande från 1942 låg då till grund för diskussionen, och man beslöt att Otto Hahn ensam skulle tilldelas priset. Med anledning av kriget, och att Hahn var tysk, väntade man dock ett år med att offentliggöra beslutet.

I JANUARI 1945 NOMINERADE Oskar Klein Otto Frisch och Lise Meitner till Nobelpriset i fysik. Klein argumenterade för att medan Hahn kan betraktas som den som gjorde den kemiska upptäckten, så gjorde Meitner och Frisch den viktiga fysikaliska tolkningen av processen. Klein hänvisar också till de experiment som Frisch och Meitner genomförde i Danmark, som på ett sinnrikt sätt visade på rekyl hos fissionsfragmenten.

Förslaget bereddes av Erik Hulthén, som var molekylfysiker och inte kärnfysiker. Han menade att förklaringen av fissionsprocessen i Meitners och Frischs arbeten baseras på Niels Bohrs modell, och att Hahn och Strassmann redan i sin andra publikation i februari 1939 var helt på det klara över fissionsprocessen. Visserligen hade de vid tillfället tagit del av Meitners och Frischs artikel i *Nature*, men Hulthén skriver att man kan knappast anta att Meitners och Frischs publicering hade någon betydelse för Hahns och Strassmanns beskrivning. Hulthén anför vidare att så fort Hahns och Strassmanns upptäck-

Vätskedropsmodellen

Fysikaliska modeller för atomkärnan uppvisar två till synes oförenliga sidor. Den ena modellen beskriver atomkärnan utifrån varje enskild nukleons kvanttillstånd, och den andra behandlar atomkärnan som en vätskedroppe. När nukleonerna sammanlänkas i en gemensam rörelse, som vid en kärnklyvning, så ger vätskedropsmodellen en enkel och åskådlig beskrivning.

Modellen användes av Lise Meitner och Otto Frisch dels för att beskriva energivinsten, som bygger på att massan av de två klyvningsprodukterna är mindre än den ursprungliga massan, och dels för att förstå den dynamiska processen vid en klyvning.

Meitner och Frisch insåg att möjligheter till en kärnklyvning beror på balansen mellan ytspänningen, som vill hålla samman atomkärnan, och Coulombenergin som vill drar isär den. De insåg att Coulombenergin kan vinna över ytspänningen i tunga atomkärnor. När atomkärnan fångar in en neutron tillförs energi, som leder till den instabilitet som kan orsaka en klyvning. De uppskattade i sin publikation att energivinsten uppgår till cirka 200 MeV, baserat på Einsteins formel $E=mc^2$. Vidare förutsade de i sin artikel att det, förutom element runt barium, bör uppstå element runt krypton, vilket också bekräftades senare.

ter hade blivit kända, så publicerade ett flertal grupper resultat liknande Frischs och Meitners. Hulthén avslutar med att Meitners och Frischs arbeten utan tvekan är av stor betydelse, men att det saknas skäl till att tilldela dem Nobelpriset i fysik.

FÖLJANDE ÅR, 1946, nominerade tre tidigare fysikpristagare, Max von Laue (1914), James Franck (1925) och Niels Bohr (1922), Lise Meitner och Otto Frisch till Nobelpriset i fysik. Bohrs motivering var att vid tiden för Hahns och Strassmanns undersökningar ansågs det teoretiskt uteslutet att bestrålningen av uran skulle kunna leda till en klyvning av atomkärnan. Den snabba förklaring som Meitner och Frisch gav, nästan omedelbart efter upptäckten, fick således en stor påverkan för den fortsatta utvecklingen. Deras förutsägelse att fragmenten skulle slungas iväg med en stor hastighet innebar att dessa kunde observeras direkt i experiment. Bohr understryker vidare att Frisch ►



Lise Meitner med studenter på Bryn Mawr College, USA, 1959.

► och Meitner i experiment, direkt efter sina teoretiska förutsägelser, kunde mäta fissionsfragmentens stora kinetiska energi.

Bohrs förslag ledde till en ny utredning av Nobelkommittén, återigen av Hulthén. Hulthén konstaterar nu att Frischs insatser är av snarlik natur som de som gjordes av hans samtida kollegor och inte motiverar ett Nobelpris. Han fortsätter sedan med att konstatera att i och med att Hahn, Fermi och Joliot alla har tilldelats Nobelpriset för fissionsrelaterad forskning, så är utan tvekan Lise Meitner den som borde stå näst i tur. Men sedan avslutar han med den märkliga slutsatsen att eftersom Meitner och Frisch utgick från Bohrs vätskedroppsmo-
dell så är det han, om någon, som borde belönas för teoribilden av fissionsprocessen. Och eftersom Niels Bohr inte var nominerad kunde varken han eller någon annan komma ifråga.

NOMINERINGAR AV LISE MEITNER till Nobelpriset fortsatte att strömma in fram till hennes död 1968, ofta från tidigare pristagare i fysik och kemi. Men efter 1946 skedde inga ytterligare utredningar gällande hennes nomineringar. Hennes namn är dock förevigat genom grundämnet 109, Meitnerium, som framställdes för första gången 1982 vid acceleratoranläggningen i Darmstadt.

MATS LARSSON
Professor, Fysikum,
Stockholms universitet

RAMON WYSS
Professor emeritus, KTH

Nomineringar till Nobelpris

Nomineringar och utredningar i fysik och kemi gällande Otto Hahn och Lise Meitner för upptäckten och förklaringen av fission 1939–46. Lise Meitner nominerades många gånger både före 1939 och efter 1946, men hon kom aldrig närmare ett Nobelpris än under dessa år.

År	Namn	Ämne	Nominerad av (ämne och år för eventuella Nobelpris inom parentes)	Notering
1939	Otto Hahn	Kemi	Theodor "The" Svedberg (kemi, 1926)	The Svedberg pekar på att en eventuell delning mellan Hahn och Meitner skulle kunna komma i fråga för tidigare gemensamma arbeten, men kommer i sin utredning fram till att det inte är rimligt.
1940	Otto Hahn och Lise Meitner	Fysik	Arthur Compton (fysik 1927), James Franck (fysik 1925) med flera	Ingen utredning.
1941	Otto Hahn och Lise Meitner	Fysik	James Franck (fysik 1925)	The Svedberg skriver en ny utredning, med slutsatsen att Hahn ensam bör komma ifråga för priset.
	Otto Hahn och Lise Meitner	Kemi	Frans Jaeger, Nederländerna	
	Otto Hahn	Kemi	Arne Westgren, sekreterare i Nobelkommittén för kemi	
1942	Otto Hahn och Lise Meitner	Kemi	Wilhelm Palmaer, ledamot av Nobelkommittén för kemi	Palmaer får i uppdrag att utreda frågan, men dör i juni 1942. Westgren tar över utredningen och kommer fram till att Hahn ensam bör tilldelas priset.
	Otto Hahn	Kemi	Arne Westgren, sekreterare i Nobelkommittén för kemi	
1943	Otto Hahn och Lise Meitner	Fysik	James Franck (fysik 1925)	Nobelkommittén för fysik gör ingen utredning i frågan, med motivet att eftersom Hahn föreslagits till Nobelpris i kemi, överlåter man till Kemikommittén att hantera detta, trots att man vet att Meitner inte är aktuell för kemipriset.
	Otto Hahn	Fysik	Manne Siegbahn (fysik 1924), ledamot av Nobelkommittén för fysik	
	Otto Hahn	Kemi	Arne Westgren	
1944	Otto Hahn	Kemi	Arne Westgren	Nobelkommittén för kemi beslutar att skjuta upp prisbelöningen av Otto Hahn ett år.
1945	Otto Hahn	Kemi	Arne Westgren	Otto Hahn tilldelas 1944 års Nobelpris i kemi.
	Lise Meitner och Otto Frisch	Fysik	Oskar Klein, Kungl. Vetenskapsakademien	Nobelkommittén för fysik beställer en utredning av Erik Hulthén. Han finner det inte motiverat att tillstyrka en prisbelöning av Meitner och Frisch.
1946	Lise Meitner	Fysik	Max von Laue (fysik 1914), Niels Bohr (fysik 1922), James Franck (fysik 1925) och Egil Hylleraas, Norge	Erik Hulthén genomför en andra utredning, med slutsatsen att om någon borde prisbelönas så skulle det vara Niels Bohr.



WALLENBERGS FYSIKPRIS 2024

KVALIFICERINGSTÄVLING

25 januari på din skola

Tävlingen sker individuellt, men priser delas också ut till bästa skollag. Varje skolas tre bästa deltagare utgör skolans lag. Priser:

1:a pris $3 \times 4\,000$ kr	4:e pris $3 \times 2\,000$ kr
2:a pris $3 \times 3\,000$ kr	5:e pris $3 \times 1\,500$ kr
3:e pris $3 \times 2\,500$ kr	6:e – 10:e pris $3 \times 1\,000$ kr

Anmäl dig till din fysiklärare!

FYSIKVECKA OCH FINALTÄVLING

De 18 bästa i kvalificeringstävlingen får komma till en fysikvecka med föreläsningar, studiebesök och del av experimentell final 11–15 mars på Chalmers och Göteborgs universitet.

Som en del av finaltävlingen deltar finalisterna också i Nordic-Baltic Physics Olympiad i Tallinn 26–28 april 2024.

Läs mer på www.fysikersamfundet.se/wallenbergs-fysikpris

Arrangör: Svenska Fysikersamfundet

Sponsor: Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs Minnesfond

EUROPEISKA FYSIKOLYMPIADEN (EuPhO)

15–19 juli i Kutaisi, Georgien

De fem bästa i finaltävlingen får göra en oförglömlig resa och representera Sverige vid den europeiska fysikolympiaden (EuPhO).

Nästan 200 ungdomar från ett fyrtiotal länder tävlar i fysik under två dagar. Detta är en fantastisk möjlighet att träffa fysikintresserade från hela världen.

Kanske blir det du som får åka!



Bubblande champagne

Det sägs att Dom Pérignon ropade "Kom fort, jag dricker stjärnor!" när han smakade **champagne** första gången. Än idag är det något festligt med ett glas champagne, och vi förknippar det med tillfällen när vi vill fira.

Det finns mycket kul fysik att fundera på när man studerar hur bubblorna rör sig uppåt i ett glas skumpa. En bubbla uppstår när balansen mellan koldioxiden som är löst i vätskan och koldioxiden i den vätskeomslutna kaviteten tippas över. När det händer stiger en bubbla uppåt genom vätskan, som en välstämd klocka kommer det sedan en ny bubbla, en efter en, i en strid ström. En kombination av vätsketryck, mängd löst koldioxid och de ytaktiva ämnas antal och struktur avgör hur stora bubblorna hinner bli innan de passerar ytan och spricker. När de spricker hjälper de till att sprida partiklarna i vätskan så att dryckens arom når konsumenten.

En bubbla är alltså en gasfylld, vätskeomsloten kavitet. Den sfäriska formen optimerar förhållandet mellan volymen och gränsskiktets area. Bubblorna i champagne innehåller koldioxid som skapas vid en andra jäsnings på flaska efter tillsats av lite socker. Hur mycket socker som tillsätts kommer att avgöra hur söt champagnen blir, men också hur mycket koldioxid som produceras och därmed bubblornas storlek. Bubblornas storlek bestäms av en balans mellan vätsketrycket, ytspänningen och gastrycket men även av hur ytaktiva ämnen formar sig runt bubblan.

OM CA 9 GRAM koldioxid skapas vid den andra fermenteringen på flaskan räcker detta till att skapa nästan 20 miljoner bubblor. I flaskan kan det skapa ett övertryck på 5–6 atmosfärer. Det är detta övertryck som gör att det går att lösa stora mängder koldioxid i vätskan.

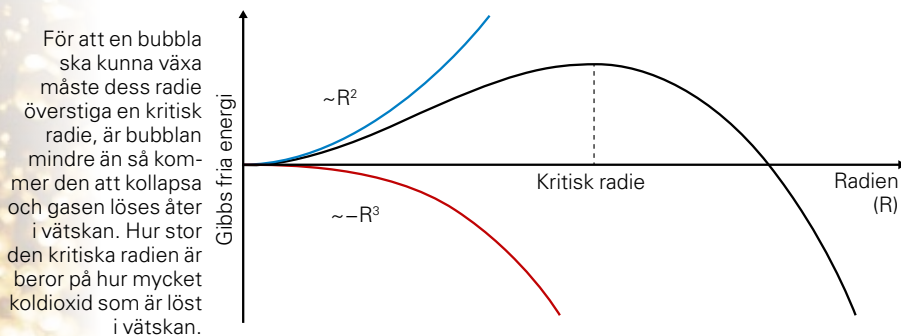
Det är just bubblorna i champagnen som framför allt skiljer den från ett glas vanligt vitt vin, men bubblorna kan inte skapas *ex nihilo* – de kan inte framställas ur intet – så hur startar bildningen av en bubbla? Jäsningen i flaskan skapar koldioxid och kan alltså bygga upp ett tryck på ca 6 gånger atmosfärstrycket. Vid detta tryck är det mesta av koldioxidgasen löst i vätskan och vi har en balans mellan gastrycket i den lilla volymen uppe vid korken och den lösta gasen i vätskan. När flaskan öppnas rubbas balansen, vi har nu mer gas löst i vätskan än vad som kan hållas kvar, det vill säga en övermättad lösning. En stor del av koldioxiden kommer att frigöras via vätskeytan (ca 80 % under normala förhållande), men en del kommer att bilda bubblor.

NÄR VI VÄL HAR en bubbla kan den fortsätta att växa genom att gas frigörs från vätskan, men var kommer själva bubblorna från? I varje bubbla har vi en balans

mellan trycket i bubblan, trycket från omgivningen, och ytspänningen, och dessa skalar lite olika med bubblans storlek. På liknande sätt som en ballong är svår att börja blåsa upp när den är liten, för att sedan kräva mindre och mindre av uppblåsaren, är det svårt för en liten bubbla att växa. Det finns en kritisk radie för bubblan – är bubblan mindre är så kommer balansen i gränsskiktet väga över så att mer koldioxid går från gas till vätska än tvärtom och bubblan kollapsar. För en nyöppnad champagne är denna radie ca 200 nm, där mindre bubblor krymper tills de försvinner.

FÖR ATT BUBBLORNA SKA kunna uppstå behöver de lite hjälp på traven och det syns tydligt i ett glas mousserande vin att bubblorna bara dyker upp i vissa punkter. Något slags ojämnheter i ytan i just dessa punkter bildar helt enkelt startpunkter för bubblorna. Det är lätt att förledas att tro att bubblorna skapas vid någon liten repa i glaset, men det är oftare en kvarbliven liten fiber från kökshandduken som hjälper bubblorna att växa sig tillräckligt stora för att inte kollapsa. En fiber studerad i ett mikroskop ser ut ungefär som ett sugrör och där kan bubblorna växa till sig, för att sedan lossna ute vid fibermyningen. Givetvis går det att laser-etsa liknande strukturer i glasets botten så att bubblorna skapas där i ett önskat mönster. Ett polerat glas som är rengjort så att inga fiber är kvar på insidan kan alltså resultera i att inga bubblor bildas. Men även i detta glas kommer champagnen att bli platt efter en stund, eftersom den mesta koldioxiden lämnar vätskan vid ytan och inte via bubblorna.

Om du nu funderar på varför det



bubblar så lite i flaskan jämfört med i glaset beror det inte på att det inte finns möjliga startpunkter (som till exempel fiber) i flaskan, utan på att dessa med tiden har fyllts av vätska och därför inte längre kan fungera som tillväxtzon på samma sätt som i glaset.

NÄR BUBBLORNA VÄL HAR skapats beror deras storlek på flera faktorer, som koldioxidmängd och koncentration av ytaktiva ämnen. Genom att tillsätta mindre *dosage* (socker) kan producenterna skapa en produkt med lite mindre löst kolsyra i vätskan, vilket ger den torrare champagne som är populär just nu. En mindre mängd kolsyra löst i vätskan leder till två saker: dels kommer den kritiska radien att öka, så bubblorna måste vara större när de skapas och det kommer därför inte att ske på lika många ställen (det här går att se i ett glas som man låter stå, efter ett tag kommer antalet bubbelströmmar att avta), dels kommer bubblorna att växa långsammare, så trots att de föds större kommer de att vara mindre när de når ytan än de är i en dryck med mer löst koldioxid.

En annan bidragande faktor till bubblornas beteende är ytaktiva ämnen. De bidrar till bubblornas stabilitet i vätskan och har traditionellt tillskrivits främst proteinrester från jästsvamparna. Olika jästsvampar har olika sammansättning och kan därmed påverka smakupplevelsen, men eftersom proteiner är ytaktiva bidrar de också till att stabilisera gasbubblorna i vätskan. Proteinkedjornas uppbyggnad ger omväxlande hydrofila och hydrofoba regioner som gör att de kan vecka sig vid bubblans gränsyta. Fettsyror är en annan grupp ytaktiva ämnen som härstammar från både druva och jäst. Fettsyror består av en hydrofil del med en hydrofob svans som gör att de effektivt kan stabilisera gränssytor, men också ge karakteristisk smak.

När bubblorna spricker anrikas de ytaktiva ämnena vid ytan vilket gör att bubblornas livstid ökar med tiden, men det påverkar också spridningen av aromer ovanför ytan. När bubblorna spricker i gränssytan mellan vätskan och luften ovanför skjuts jetstrålar av extremt små droppar upp i en aerosol ovanför ytan, vil-

ken bidrar till doften vi känner. Här spelar också glasets utformning stor roll.

VILKET GLAS SKA MAN DÅ HA? Ludvig XVI österrikiska fru Marie Antoinette sägs ha varit en mycket vacker kvinna och enligt en myt är de så kallade coupeglasen formade som hennes bröst. Champagneflötjen, eller flûteglaset, är annars det kanske vanligaste champagneglaset. Båda sorternas glas är festliga, men de är faktiskt inte så lämpliga för mousserande vin (coupeglasen är dock utmärkta för att bygga torn, se *Fysikaktuellt* nr 4/2021).

Ett coupeglas har en stor yta och koldioxiden kommer snabbt att dunsta från vätskan. Glasets form samlar inte heller vinets doft. Eftersom bubblorna dessutom rör sig en kort sträcka genom vätskan kommer de inte att ta med sig lika mycket av vinets arom.

Ett flûteglas har den omvända utformningen (smalt och högt). Fördelen med detta glas är att bubblorna har en längre sträcka att växa till sig och samla arom som kan spridas när de spricker vid ytan, men den smala öppningen gör det svårt att känna doften och leder dessutom till att koldioxiden ansamlas och kan upplevas som lite från att dofta på.

Ett modernt vitvinsglas, gärna av lite större modell, är ett utmärkt glas för mousserande viner! Här blir förhållandet mellan vätskevolymen och ytans area bättre så att man i lugn takt kan avnjuta vinet utan att det blir avslaget. Bubblorna har en ganska lång sträcka på sig när de stiger genom glaset (och observeras av konsumenten) och glasets utformning gör att dofterna samlas, men eftersom volymen är större än i en flûte kommer koldioxidkoncentrationen inte att bli besvärande.



Flûteglaset och coupeglaset (ovan) är de vanligaste att serveras champagne ur. Men ett vanligt, lite större vitvinsglas är egentligen att föredra.



JOHAN MAURITSSON
OCH MALIN SJÖÖ
Lunds universitet



GÖTEBORGS
UNIVERSITET

INSTITUTIONEN FÖR FYSIK

LÄRARE I FYSIK? FÖLJ MED TILL CERN!



Institutionen för fysik vid Göteborgs Universitet erbjuder tre gymnasielärare i fysik en unik möjlighet att följa med på studieresa till världens största partikelaccelerator CERN i Genève. Resan äger rum 24-28 mars 2024. Institutionen bjuder på boende samt arrangerar hela vistelsen och alla besök vid laboratoriet men ersätter inte flygbiljetter eller andra resekostnader. Inkom med intresseanmälan senast 25 januari!



Planetesimaler och planetära gap

Unga stjärnor är omgivna av en skiva bestående av gas och stoft. Observationer visar att dessa skivor ofta har "gap" i sig. Man tror att dessa gap kan ha karvats ut av jätteplaneter. I sin avhandling använde **Linn Eriksson** datorsimuleringar för att studera huruvida så kallade planetesimaler, stora asteroidliknande objekt, kan bildas vid kanten av gapen – och vad som sedan händer med dem.

Planeter föds inuti skivor bestående av gas och stoft, så kallade protoplanetära skivor. Dessa skivor omger nyfödda stjärnor och är en biprodukt av stjärnformationsprocessen. Observationer visar att de protoplanetära skivorna består av cirka 1 % stoft och 99 % gas, och att de har en livstid på några miljoner år. Under en skivas livstid minskar densiteten allteftersom stoft och gas förlorar rörelsemängdsmoment, cirkulerar inåt och till slut faller in i stjärnan.

Bildandet av planeter är en flerstegsprocess som börjar med kollisioner mellan mikrometerstora stoftpartiklar. När stoftpartiklarna kolliderar tenderar de att fastna i varandra. Resultatet av en serie kollisioner är bildandet av småstenar som är några millimeter eller centimeter i diameter. Men dessa småstenar fastnar inte i varandra när de kolliderar. De tenderar istället att studsas eller splittras, vilket gör det svårt för dem att fortsätta växa och bilda planeter. Istället för kollisioner måste naturen alltså ta till andra processer.

Till skillnad från stoftpartiklarna så är småstenarna stora nog för att påverkas av ett betydande luftmotstånd från gasen. Detta luftmotstånd leder till en förlust av rörelsemängdsmoment som får småstenarna att börja cirkulera in mot stjärnan. Hastigheten de faller in mot stjärnan med är omkring 1 m/s, vilket innebär att en

The formation and fate of planetesimals at planetary gap edges

- Författare: Linn Eriksson
- Lunds universitet, 2022
- ISBN: 978-91-8039-196-2 (print), 978-91-8039-195-5 (pdf)
- Länk till avhandlingen: lup.lub.lu.se/search/files/116093106/Avhandling_Linn_HELA.pdf
- Handledare: Prof. Anders Johansen, Globe Institute at University of Copenhagen and Lund University Division of Astrophysics
- Opponent: Dr. Zhaohuan Zhu, Department of Physics and Astronomy, University of Nevada



småsten vid Uranus omloppsbana borde falla in i solen på mindre än 100 000 år. Detta har varit ett problem för planetbildningsteorier, eftersom observationer visar att det tar betydligt längre tid än så för planeter att bildas. Småstenarna faller alltså inte ned i stjärnan på så pass korta tidskallor. Men vad är det som stoppar dem?

Strömningsinstabilitet

För att inte all småsten ska försvinna från den protoplanetära skivan måste någon process antingen stoppa småstenarna från att falla in mot stjärnan, eller omvandla

småstenarna till mycket större objekt som övervinner luftmotståndet. En sådan process är strömningsinstabilitet, som jag har studerat i min avhandling.

Instabiliteten uppstår eftersom en ansamling av småsten känner av ett mindre luftmotstånd än en ensam småsten. Det är ungefär som när en klunga tävlingscyklister hjälper varandra att minska luftmotståndet. En ansamling av småsten faller därför långsammare in mot stjärnan, vilket leder till att ensamma småstenar kommer i kapp, alltså tvärtemot vad som gäller för cyklister. Därför växer ansamlingen, vilket får den att falla ännu långsammare in mot stjärnan. Processen leder till bildandet av trådlika ansamlingar av materia i skivan. Dessa kan uppnå tillräckligt hög densitet för att under sin egen gravitation kollapsa till cirka 100 km stora asteroidliknande objekt, *planetesimaler*. Men för att strömningsinstabiliteten ens ska kunna ske krävs en överdensitet av småsten någonstans i skivan, och vilka processer som skapar dessa överdensiteter är ett aktivt forskningsområde.

Planetesimalerna fortsätter växa genom kollisioner, tills de fått tillräckligt stor massa för att med sin gravitation kunna attrahera småsten. Om endast små mängder småsten är tillgängliga blir slutresultatet en jordliknande stenplanet. Om planeten växer till över fem gånger jordens

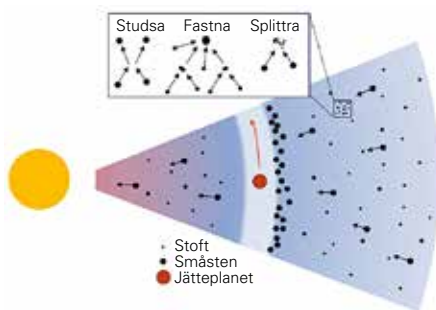
- massa börjar stenplaneten också attrahera gas från skivan.

Planetära gap

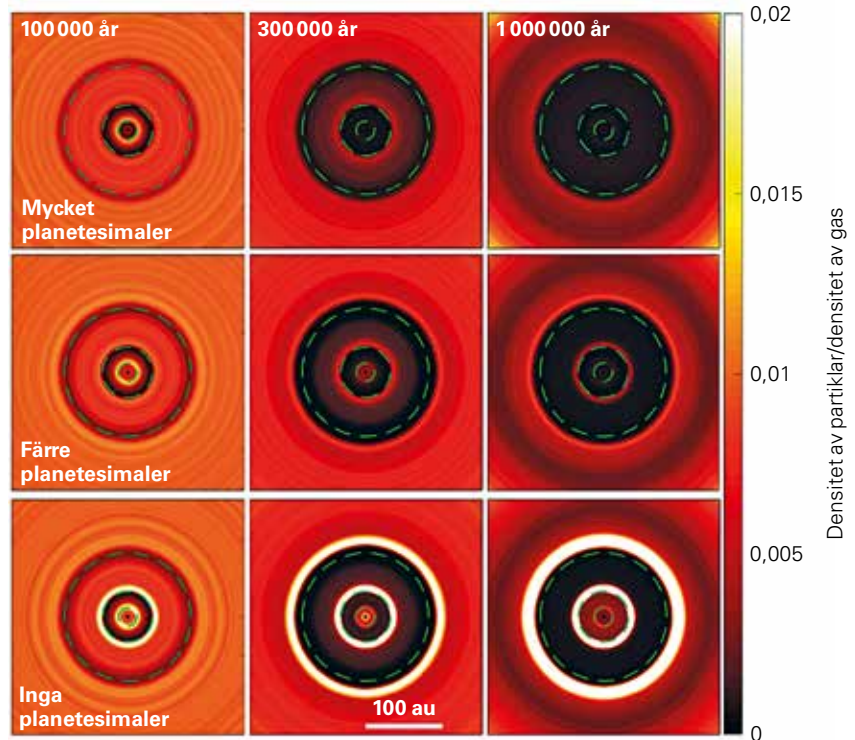
Uranus och Neptunus är exempel på planeter som började attrahera gas, men inte lyckades dra åt sig tillräckligt mycket för att bli gasdominerade. Dessa planeter har inte heller tillräckligt stor massa för att det ska uppstå så kallade planetära gap, vilket sker när mängden stoft och gas har minskat drastiskt i ett stort område kring planetens omloppsbanan. Jupiter och Saturnus är däremot exempel på gasjättar som attraherade en så pass stor mängd gas när de bildades att de sannolikt karvade väldigt djupa gap i den protoplanetära skivan.

I min avhandlings första studie ställer jag frågan: om en planet karvar ett gap i skivan, kan då planetesimaler bildas vid kanten av gapet? I figur 1 syns en skiss över processen. Småstenar som faller in mot stjärnan har svårt att passera över gapet eftersom luftmotståndet på dem minskar vid kanten av gapet. De tenderar därför att stanna vid kanten, vilket leder till att vi får en överdensitet där. Om densiteten blir tillräckligt stor borde strömningsinstabiliteten triggas igång och leda till bildandet av planetesimaler.

Denna hypotes testade jag genom att simulera hur 100 000 stoftpartiklar växer och rör sig genom en protoplanetär skiva som innehåller tre planetära gap. Dessa partiklar behandlas som superpartiklar i koden, vilket innebär att en ensam partikel



FIGUR 1 En växande jätteplanet karvar ett planetärt gap i den protoplanetära skivan. Stoftpartiklar i skivan kolliderar, fastnar och växer till småsten. Vidare kollisioner mellan småsten leder till fragmentering eller studsning. Småsten cirkulerar in mot stjärnan och fastnar vid kanten på gapet. Blir densiteten av småsten hög triggas strömningsinstabiliteten igång.



FIGUR 2 Bilderna visar hur densiteten av partiklar (stoft och småsten) utvecklas med tiden i tre olika simuleringar. De gröna streckade linjerna visar planeternas omloppsbanor. Om majoriteten av småstenarna blir till planetesimaler vid gapkanterna så finns inga småstenar kvar i den inre skivan (övre bilderna). Om få planetesimaler bildas så är resultatet ringar med småsten utanför de planetära gapen (nedre bilderna).

i simuleringen representerar en stor mängd identiska partiklar och en stor mängd massa i verkligheten. Simuleringarna gjordes i en dimension, med koden PLANETESYS som jag bidragit till att utveckla under min doktorandtid. I mina simuleringar bildas flera hundratals jordmassor av planetesimaler vid kanten av gapen.

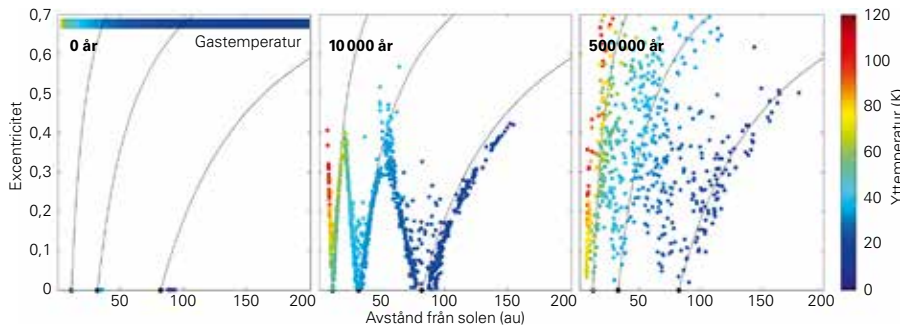
Simuleringarna jag utfört demonstrerar inte bara att en stor mängd planetesimaler kan bildas just vid kanten av planetära gap, men också att själva processen har stora konsekvenser för partikelfördelningen i skivan. Detta är intressant eftersom fördelningen av partiklar i skivor runt nyfödda stjärnor i vår omgivning kan observeras med ALMA-teleskopet i Chile, vilket innebär att vår modell kan testas empiriskt. I figur 2 visas hur partikelfördelningen varierar med tiden i en simulering där många planetesimaler bildas (de övre bilderna), i en simulering där färre planetesimaler bildas (de mellersta bilderna), och i en simulering där inga planetesimaler bildas (de nedre bilderna).

Hur stor andel av partiklarna som kollapsar till planetesimaler vid gapkanterna är inte känt, och det är en av de frågor som jag studerar i min nuvarande forskning på Stony Brook University i USA. För att studera detta krävs 3D-simuleringar med väldigt hög spatial upplösning och omkring en miljard partiklar. Jag använder NASA:s superdator med flera tusen datorkärnor för att köra dessa simuleringar och ändå tar de månader att genomföra.

Vad händer med planetesimalerna?

I avhandlingen ingår även två studier där jag undersöker vad som händer med planetesimalerna när de bildats. Jag studerar detta med koden REBOUND. Denna kod använder en N-kroppsmetod för att studera hur ett system bestående av N antal partiklar utvecklas dynamiskt via gravitationella krafter. Ett exempel som ofta undersöks med denna metod är planeternas rörelse kring solen.

Mina simuleringar innehåller två el-



FIGUR 3 Bilderna visar hur planetesimaler som bildas vid planetära gapkanter utvecklas med tiden. Planetesimalerna lämnar sina födelseplatser och sprids ut i skivan. Planetesimaler i excentriska banor nära stjärnan får höga yttemperaturer. Planeternas avstånd från stjärnan är markerade med svarta prickar. De svarta linjerna visar omloppsbanor som har samma perihelium som planeterna.

ler tre jätteplaneter och tusen till tio-tusen planetesimaler som placerats vid kanten av de planetära gapen. Eftersom planetesimalernas massa är försumbar i jämförelse med planeternas behöver jag inte ta hänsyn till den lilla gravitationella kraften mellan planetesimalerna. Detta gör att simuleringarna kan genomföras enormt mycket snabbare, då antalet beräkningar per tidssteg minskar drastiskt.

I studierna såg vi att de korta avstånden mellan planetesimalerna och planeterna leder till att planetesimalerna hamnar i mycket excentriska omloppsbanor, lämnar sina födelseplatser och sprider ut sig i skivan. I figur 3 visas hur planetesimalernas excentricitet och avstånd från stjärnan utvecklas över tid i en av simuleringarna. Planetesimaler som hamnar i den inre delen av skivan kan få höga yttemperaturer på grund av friktion med gasen, vilket leder till att material på ytan sublimeras och lämnar ytan i form av gas. När gasen lämnar planetesimalen kyls den snabbt ner och övergår till fast fas igen. Detta material kan då bilda nya småstenar som cirkulerar in mot stjärnan och därmed bidrar till bildandet av nya planeter och planetesimaler. Planetesimaler som hamnar i den yttre delen av skivan där temperaturen och densiteten av gasen är lägre utsätts däremot inte för någon sublimering utan behåller sin massa.

Få kollisioner

I den sista artikeln i avhandlingen, som gjorts i samarbete med forskare vid

Zürichs universitet, studerade vi vilken andel av planetesimalerna som kolliderar med planeterna och därmed bidrar till planetbildningen. Våra resultat visar att antalet kollisioner är väldigt lågt, även i de fall då vi placerar planetesimalerna mycket nära planeterna.

Resultatet är intressant eftersom observationer visat att gasjättar generellt har metallrika atmosfärer, och en process som ofta används för att berika atmosfärer i simuleringar är kollisioner med planetesimaler. Men våra resultat visar att den här processen är väldigt ineffektiv, och att det därför sannolikt behövs andra processer för att förklara varför gasjättar har så pass mycket metaller i sina atmosfärer.

I min avhandling visade jag alltså att stora mängder planetesimaler sannolikt bildas vid kanten på planetära gap. Dessa planetesimaler lämnar snabbt sina födelseplatser och sprids ut i skivan. Till skillnad från vad man tidigare trott så är det väldigt ovanligt att planetesimalerna kolliderar med planeterna. Exakt hur stor andel av småstenarna som omvandlas till planetesimaler vid gapkanterna är fortfarande okänt, och 3D-modeller och superdatorer kommer att krävas för att besvara den frågan.

LINN ERIKSSON

Postdok., Stony Brook University, USA



FOTO: PRIVAT

Linn Eriksson i lagerkrans på promotionen.

Forskar om – och klättrar mot – stjärnorna

Linn Eriksson, nu postdok i astrofysik på Stony Brook i New York, har drömt om att studera astronomi sen högstadietiden hemma i Osby. Men det är inte bara på arbetstid hon siktar högt – största fritidsintresset är klättring.

När blev du intresserad av astronomi?

– Jag har vetat att jag ville studera astronomi sedan jag gick på högstadiet. Jag tror att jag blev helt säker när jag läste gymnasiebroschyren för rymdgymnasiet i Kiruna och tyckte det lät superhäftigt. Jag sökte faktiskt till rymdgymnasiet och kom in, men tyckte det kändes lite långt att flytta över 100 mil när jag bara var 16 år, så det blev internationella linjen med inriktning naturvetenskap i Håssleholm istället. Sen blev det kandidat-, master- och doktorandutbildning vid Lunds Universitet.

Vad fick dig att bestämma dig för att bli doktorand?

– Redan när jag började i Lund var det min dröm att göra en doktorandutbildning. Jag kommer ihåg att det kändes lite som något ouppnåeligt, eftersom jag i mitt huvud tänkte att man måste vara som Einstein för att lyckas, men när jag ►

► gick mastern insåg jag att det inte alls var omöjligt.

Hur går det till när du forskar? Finns det ett nära samarbete med de som gör observationer?

– Jag har aldrig samarbetat nära med dem som gör observationer, men jag läser deras artiklar och diskuterar med dem när vi träffas på till exempel konferenser. Min forskning sker helt vid datorn, och mycket tid går åt till att koda och köra simuleringar. Samt till att komma fram till varför simuleringarna fastnar eller inte går som de ska, det är mycket felsökning ...

Hur skiljer sig din postdok från doktorandtiden?

– Det är mycket mer eget ansvar. Jag har en mentor i stället för en handledare och det är jag själv som planerar mitt arbete och bestämmer vad som ska göras härnäst. Jag har ingen som säger åt mig vad som ska göras helt enkelt. Det är också stor skillnad på att vara i New York, med nya kollegor och nya arbetsplatser. Min anställning är på Stony Brook, men jag har också samarbete med astronomiavdelningen på Naturhistoriska museet. Dessutom spenderar jag mycket tid på Centre for computational astrophysics på Flatironinstitutet.

Hur ser dina framtidsplaner ut?

– Postdoken i New York varar i två till tre år, vad som händer efter det har jag ingen aning om, jag tar det som det kommer. Kanske jag gör ytterligare en postdok i New York, eller i något annat land ... Vad jag är ganska så säker på är att jag vill flytta tillbaka till Sverige inom sådär fem år.

Vad gör du när du inte arbetar?

– Jag och min sambo, Eric Andersson, som också är astrofysiker och jobbar med galaxformation, repklättrar flera gånger i veckan. Det finns superfina klättermuseer i New York. Jag tycker även om att gå på bio, shoppa kläder – tyvärr lite för mycket – samt gå på shower och konserter. Och så älskar jag att baka! Efter en del letande har jag lyckats hitta de flesta svenska ingredienserna här i New York. Men inte vaniljsocker och brödsirap, där har jag gett upp ...

ANNE-SOFIE MÅRTENSSON
Göteborgs universitet



CANDELA

En enhet för romantiker

Så här under vinterhalvåret är det mysigt att tända **ett stearinljus** när mörkret lagt sig. Och visst är det något speciellt med ett tänt ljus. Det kan väcka associationer till allt från kaskelottvalar till talet 683. Inte det? Låt mig förklara.

Det har nog knappast undgått *Fysikaktuellt*s läsare att SI-systemets grundenheter omdefinierades i maj 2019 (se artikel i *Fysikaktuellt* nr 3/2018). Från att tidigare ha baserats på fysiska artefakter, baseras de nu på naturkonstanter. Detta gäller även enheten candela (cd, från latinska ordet för ljus), grundenheten för ljusintensitet, som med rätta kan påstås sticka ut bland de sju grundenheterna. Den är nämligen den enda av dem som tar män-

niskans fysiologi i beaktande, då den baseras på det mänskliga ögats spektrala känslighet, den så kallade $V(\lambda)$ -kurvan.

Jag vidhåller att det romantiska med ett tänt stearinljus inte på något sätt förminskas av att man vet historien bakom candela. Snarare tvärtom. Men låt oss ta det från början.

INNAN ELEKTRICITETENS allmänna intåg utgjordes den artificiella belysningen huvudsakligen av en brinnande låga,

antingen från en oljelampa eller ett stöpt ljus. Därför är det inte underligt att den standard vi har idag för att mäta ljusintensitet springer ur något vi förknippar med ett stearinljus.

Innan 1948 fanns det ett antal olika "standardljus". I Skandinavien användes Hefnerlampan¹, men på kontinenten användes ett stöpt ljus baserat på *spermaceti*. Spermaceti var en mycket eftertraktad råvara under 17- och 1800-talet och utvanns från den stora kaviteten som utgör kaskelottvalens nos. Denna substans (som man ursprungligen felaktigt trodde var valens säd, därav dess namn) visade sig kunna användas för att skapa stöpta ljus som brann med en låga av mycket hög kvalitet. En *candlepower* definierades 1860 i Storbritannien som ljusintensiteten från ett spermacetiljus med vikten en sjättedels pound (ungefär 75 gram) som brann med 120 grains (ungefär 1,3 gram) per timme. Den historiska enheten candlepower motsvarar 0,981 candela, men i modernt språkbruk är enheten synonym med candela.

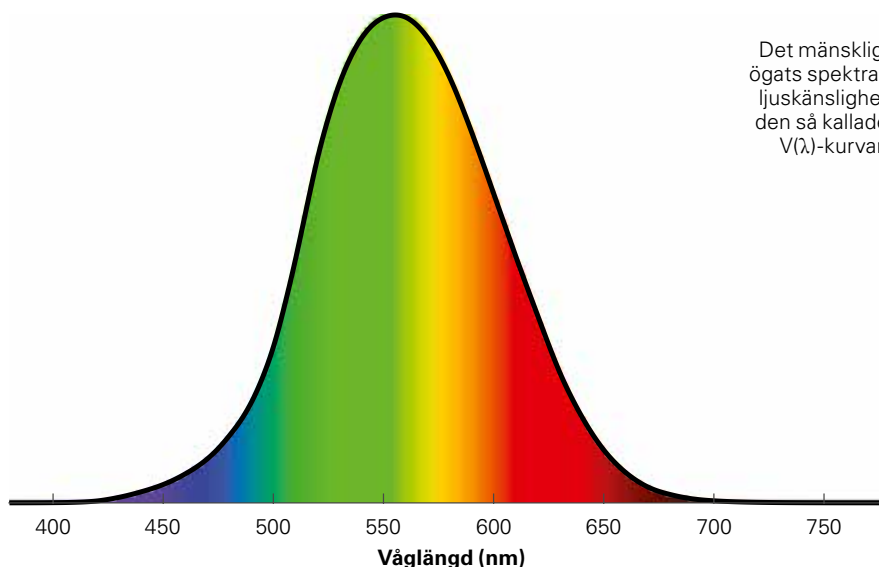
1948 FASTSTÄLLDE CIE, den internationella belysningskommissionen, en definition på enheten för ljusintensitet som baserades på svartkroppsstrålningen från metallen platina upphettad till dess smältpunkt, 1772 °C. Ljusintensiteten från en kvadratcentimeter platina fastställdes till 60 candela.

1967 förfinades denna definition, fortfarande baserad på platina, och löd:

En candela är ljusstyrkan, i vinkelrät riktning, av en yta på $1/60 \text{ cm}^2$ av en svartkropp vid temperaturen för fryssande platina (2045 K), under ett tryck på $101\,325 \text{ N/m}^2$ (1 atm).

1979 definierade man om candela, och

¹ Hefnerljus, förkortat HK (tyska Hefnerkerze), är en mättenhet för ljusstyrka som introducerades av tysken Friedrich von Hefner-Alteneck 1883 i samband med hans konstruktion *Hefnerlampan*. Lampan består av en veke med diameter 8 mm som justeras så att dess låga har höjden 40 mm. Ljusstyrkan mäts i horisontell led och utgör enheten för 1 hefnerljus.



Det mänskliga ögats spektrala ljuskänslighet, den så kallade $V(\lambda)$ -kurvan.

baserade istället enheten på den lite mer lättkontrollerade laserteknologin:

En candela är ljusstyrkan i en given riktning för en källa som avger monokromatisk strålning med frekvensen $540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$, och som i den riktningen har en strålningsintensitet på $1/683 \text{ Watt per steradian}$.

Här dyker det i definitionen upp ett till synes godtyckligt tal, nämligen 683. Det står att $1/683 \text{ Watt}$ strålningsflöde per steradian ger upphov till 1 candela. Man kan också säga att $1 \text{ Watt per steradian}$ ger 683 candela. Detta var helt enkelt det värde man behövde ta till för att den nya definitionen av candela med hjälp av laser någorlunda skulle stämma överens med den historiska candela.

Man kan räkna fram detta tal genom att med hjälp av Plancks strålningslag beräkna vad det spektrala strålningsflödet från $1/60 \text{ cm}^2$ stor yta av platina med temperaturen 2045 K är, och vikta detta mot standardkurvan för det mänskliga ögats spektrala känslighet, $V(\lambda)$. Detta resulterar i $14,6 \text{ mW/sr}$. Detta ska alltså motsvara 1 candela.

Eftersom candela är lumen (ljusflöde) per steradian ($\text{cd} = \text{lm/sr}$) betyder detta alltså att $14,6 \text{ mW}$ ger 1 lm, eller att 1 W ger $1/0,00146 \text{ lm} = 683 \text{ lm}$. Man kan säga att *växlingskursen* mellan strålningsflöde och ljusflöde är 683 lumen per watt (i alla fall just för elektromagnetisk strål-

ning med frekvensen 540 THz). Denna växlingskurs kallas för "ljusutbytet av monokromatisk strålning med frekvensen $540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$ ", och är en konstant som betecknas K_{cd} . Det är denna "naturkonstant" man tagit fasta på i den nya definitionen från 2019:

Candela, med symbolen cd , är SI-enheten för ljusintensitet i en given riktning. Den definieras genom att bestämma det fasta numeriska värdet för ljusutbytet för monokromatisk strålning med frekvensen $540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$, K_{cd} , till 683 uttryckt i enheten lm/W .

SÅ HÄR I EFTERHAND kan det verka lite bakvänt att det är candela, enheten för ljusintensitet, som är SI-enheten, och inte lumen, enheten för ljusflöde, i synnerhet med tanke på att ljusintensitet är ljusflöde per steradian ($\text{cd} = \text{lm/sr}$). Men om man tänker efter är det inte märkligare än att definitionen av metern är baserad på ljusets hastighet och hur långt det hinner på en viss tid.

Så nu får vi se om du kan tända adventsstakens ljus utan att tänka på spermacetin från kaskelottvalen eller det godtyckliga talet 683. I vilket fall hoppas jag att du känner dig upplyst.

JOHANNES LINDÉN
Lunds universitet

Med fokus på objektiv

I denna artikel tänkte jag försöka beskriva hur ett modernt **kameraobjektiv** skiljer sig från äldre konstruktioner ur ett optiskt perspektiv. Eftersom jag jobbar på Hasselblad sedan många år kommer jag för enkelhetens skull referera till våra produkter.

Den kameratyp som länge varit den dominerande för mer avancerad fotografering är spegelreflex, det vill säga en konstruktion där strålgången efter objektivet länkas av mot en mattskiva med hjälp av en spegel. Spegeln faller sedan upp när bilden ska exponeras. En på många vis utmärkt konstruktion. Den är dock behäftad med en stor nackdel: spegelboxen, som tar upp en stor volym bakom objektiven. När spegelreflexlösningen var ny innebar detta särskilt begränsningar vid konstruktion av vidvinkelobjektiv. Införandet av den så kallade retrofokusdesignen (uppfunnen av fransmannen Pierre Angenieux, brukar man säga) löste detta, men vidvinkelobjektiv för spegelreflex har alltid varit förhållandevis klumpiga och komplicerade konstruktioner.

Lite mer om retrofokus: när man ritat förenklade objektiv på papper brukar de definieras av en tunn lins med brännvidden f mm, samt av ett främre och ett bakre fokalplan. Ska man komma lite närmare en verklig modell av objektivet beskriver man det som två huvudplan – främre och bakre – och två fokalplan (också främre och bakre). Avståndet mellan huvudplanen motsvarar ungefär objektivets

tjocklek. Problemet med vidvinklar för spegelreflexkameror är att det bakre huvudplanet – som alltså är placerat f mm framför filmen/sensorn – måste hamna i tomma luften i spegelboxen, utanför själva objektivet.

Rent praktiskt löstes problemet genom att man konstruerade objektiv med en främre del med negativ brännvidd, och en bakre del med positiv brännvidd, vilket kan flytta det bakre huvudplanet bakom objektivet. I figur 1 syns retrofokusobjektivet HCD28, för spegelreflexkameror ur vår H-serie, i genomskärning, med huvudplanen och viss strålgång utritade. Man kan se att det bakre huvudplanet befinner sig långt bakom själva optiken, och man kan även se hur strålgången expanderar i den främre negativa delen, för att gå ihop längre bak. Ett objektiv där man gör tvärtom – alltså kombinerar en positiv främre del med en negativ bakre del – kan istället ha huvudplanen "omkastade". Det bakre huvudplanet kan då vara placerat framför objektivet, objektivet har alltså en fysisk längd som är kortare än dess brännvidd. Konstruktionen kallas då telefoto, och används för just tele-objektiv när man vill försöka hålla nere storleken.

I och med att kamerorna har över-

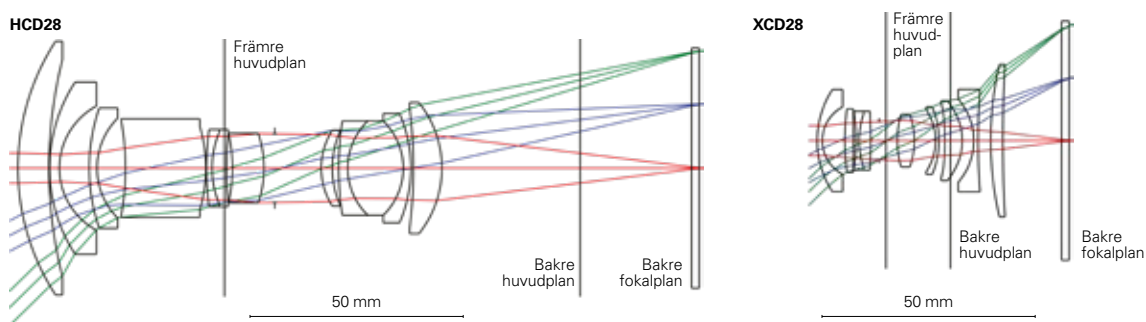
gått till digitala sensorer, där sökaren är elektronisk och visar en live view-ström från sensorn, har begränsningen med spegelboxen försvunnit. I figur 1 kan man även se optiklayouten för XCD28, ett vidvinkelobjektiv för det spegellösa X-systemet. HCD28 och XCD28 har samma brännvidd och ljusstyrka och jämförbara prestanda. Skillnaden i storlek när objektivet kan "tryckas in" i kameran på det här sättet blir som synes dramatisk – de visas skalenligt.

Vidvinkelobjektiv med sån här "pannkaksdesign" är det bästa exemplet på hur ändringar på kameran lätt till nya objektivdesigner, men det har även påverkat många andra objektivtyper, som zoomar.

Nya tillverkningsmetoder

Linselement formas traditionellt i en process med slipning och polering som ger dem en sfärisk form. Fram till inte alltför länge sedan var element med asfärisk form något ganska sällsynt, främst på grund av att de tillverkades med dyra processer. Sedan ett par decennier har billigare processer fått stort genomslag. En bidragande faktor till detta är att utbudet av glasmaterial som lämpar sig för pressgjutning har ökat stort. Dessa pressgjutningsmaterial

FIGUR 1 Layout för HCD28 (retrofokusobjektiv för spegelreflexkameror), vänster, och XCD28 (vidvinkelobjektiv för spegellösa kameror), höger. Objektiven visas skalenligt.



har till exempel betydligt lägre smältpunkt än normala optiska glas.

På 1990-talet fanns i Hasselblads utbud asfäriska element i någon enstaka objektivtyp, idag innehåller varje ny objektivtyp normalt sett flera asfäriska element.

Historiskt har linselement i objektiv för användning på kameror nästan alltid haft ytor med sfärisk form, de är alltså delar av klot, och de är rotationssymmetriska runt objektivets optiska axel. En asfärisk yta avviker från sfärformen, och brukar beskrivas med en funktion av ytans radie. Alltså: hur mycket ytan – räknat längs objektivets längdaxel – avviker från sfärisk form, som funktion av radien. Funktionen som används är normalt sett ett polynom, oftast av grad 8–10 ungefär, men upp till grad 20 förekommer. Här är en formel för beskrivning av asfärisk form (flera varianter finns):

$$z(r) = \frac{r^2}{R(1 + \sqrt{1 - (1 + \kappa) \frac{r^2}{R^2}})} + \alpha_4 r^4 + \alpha_6 r^6 + \dots$$

där z anger avvikelser från sfärisk form, längs optiska axeln, som funktion av radiella avståndet r från optiska axeln, R är ytans grundläggande sfäriska krökningsradie, κ anger den koniska konstanten, och α_4 , α_6 och så vidare är polynomkoefficienter.

Med $\kappa = 0$ och alla koefficienter = 0 får vi alltså en sfärisk yta.

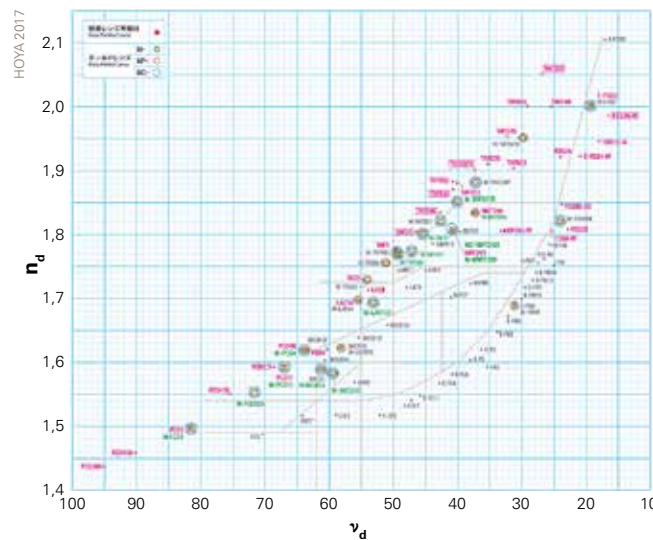
Man kan förstås beskriva en enklare asfärisk form även utan att använda polynomkoefficienterna. Om $\kappa < -1$ kallas ytan hyperbolisk, för $\kappa = -1$ är den parabolisk och så vidare.

Fördelen med asfäriska linselement är att antalet frihetsgrader vid optimeringen av objektivdesignen ökar, ett element får alltså större möjligheter att korrigera olika optiska fel (*aberrationer*). Objektiven kan då i slutändan få högre prestanda, eventuellt byggas med färre element, göras kompaktare och så vidare.

Om objektiven i figur 1: I HCD28 användes inget asfäriskt element, i XCD28 användes två.

Glasmaterial

Utöver att mängden material som lämpar sig för pressgjutning har ökat har även



FIGUR 2 Glaskarta från det japanska företaget Hoya. Kartan plottar alla deras material i med brytningsindex (y-axeln) mot dispersion (x-axeln). Enheten för dispersion är Abbe-tal (v), och lågt Abbe (till höger) anger hög färgspridning. Materialet längst ner till vänster, med $n=1,43$ och $v=95$ är i princip kalciumfluorit. Material som heter något med "M-" är till för pressgjutning.

utbudet – och tillgängligheten – av glas med mer extrema egenskaper ökat. Idag är material med brytningsindex nära 2 (eller till och med högre) inte ovanliga, och material med extrema egenskaper när det gäller färgspridningen (*dispersionen*) har blivit mycket mer tillgängliga. När det gäller dispersionen kan det handla om material med mycket låg färgspridning. Ofta används uttrycket ED-glas – som kan utläsas som extra-low dispersion – om denna typ av material. De benämns ibland också fluoritglas, efter kalciumfluorit, ett föregångsmaterial av denna typ. Det kan också handla om material med avvikande del-dispersion – kortfattat kan man beskriva det som material där dispersionen inom något våglängdsintervall avviker från det "normala". Att glas av dessa typer blivit så tillgängliga har till exempel gjort det möjligt att konstruera objektiv med avsevärt bättre korrektion för de optiska fel som har med ljusets våglängd att göra – kromatiska fel.

På samma vis som för asfäriska linselement har användningen av element med mycket låg (eller avvikande) färgspridning ökat dramatiskt. Runt 1990 användes glaselement av ED-typ i två av alla objektiv i Hasselblads utbud (med ett element i varje). Idag innehåller nya objektivtyper regelmässigt minst ett, ibland flera, element med material av dessa typer.

Optiska glas är ett intressant ämne i sig. Även om man under senare år städad rejält i utbudet – bland annat i samband

med att man ersatt alla material som tidigare innehöll bly med nyare typer – finns det en uppsjö. Katalogen för en av de ledande leverantörerna – Hoya – innehåller i skrivande stund 194 glastyper (figur 2), och på hela marknaden finns över 1000 material. Ungefär 40% av Hoyas typer är avsedda för pressgjutning.

Objektiven HCD28 och XCD28 (figur 1) innehåller ett element av ED-material var.

Reflexer och annat

Med allt mer komplicerade objektivkonstruktioner har problemen med reflexer som uppstår i glas/luft-ytorna i ett objektiv blivit värre. Dessa reflexioner påverkar bilden bland annat genom att generera ströljus och spökbilder, och minska transmissionen. Lösningen heter antireflexbehandlingar, och utvecklingen går mot fler och fler lager. Idag kan vi specificera användning av antireflexbeläggningar med 0,2–0,3% reflektion per glas/luft-yta över i stort sett hela det synliga spektrat.

Utöver detta har nya mekanismer för fokusering, bättre beräknings- och simuleringsmetoder och nya metoder för att i efterhand använda data för det specifika objektiv som använts för att ta bilden för att korrigera den förstås bidragit till utvecklingen, men det är ämnen för minst en hel artikel till.

PER NORDLUND
Optikdesigner, Hasselblad



Den svenska rymdpolitiken måste ses över så att svenska studenter får möjlighet att arbeta inom NewSpace, skriver Aaron Dinardi.

Sverige sviker generationer av blivande rymdingenjörer

Detta är en debattartikel. Åsikterna som uttrycks är skribentens egna.

■ Sverige är visserligen väldigt bra på att bedriva rymdforskning (inom områden som astronomi, planetvetenskap, rymdfysik, etc.) och att bidra med hårdvara till europeiska vetenskapliga rymdprojekt, men den globala rymdverksamheten är inte längre inriktad främst på vetenskap. Även om jakten på ny vetenskaplig kunskap alltid kommer att förbli en viktig del av bilden, har den nya prioriteringen blivit *nyttjandet* av rymden – och det nya tillvägagångssättet bygger på *kommersiella tjänster*.

Trots att många i Sverige vill tro något annat, är sanningen att Sverige ligger förvånansvärt långt efter andra europeiska länder inom rymdsektorn. Anledningen är att, medan andra länder har börjat navigera sig in i "NewSpace"-eran, ett kommersiellt drivet rymdinitiativ som skapar nya förmågor och marknader, har Sverige envist valt att stanna kvar i det förflutna och fortsätter således fokusera på sådant som är irrelevant för den nya verkligheten. Som följd går svensk rymdindustri miste om enorma möjligheter på en snabbt växande marknad och Sverige är på väg att tappa ett helt verksamhetsområde till grannländerna.

Jag vill vara väldigt tydlig med mina avsikter. Det jag mycket gärna vill är att:

■ Sverige utvecklar förmågan som behövs för att delta och lyckas när det gäller framtidens rymdverksamheter.

■ Svenska studenter ska få (inhemska) möjligheter att arbeta inom NewSpace.

TYVÄRR KOMMER DEN VÄG som Sverige valt att följa inte resultera i något av ovanstående. Än värre är att nuvarande väg får rymdentreprenörer (som kunde ha blivit framtida arbetsgivare för dagens studenter) samt nyutbildade rymdingenjörer att packa ihop och lämna Sverige.

Det finns ingen anledning att det ska vara så! Sverige är en tekniskt avancerad nation med ett universitetssystem i världsklass och en historia av kommersiellt framgångsrika innovationer inom många andra områden. Men faktum är att både svensk akademi och rymdindustri fokuserar på fel saker – på grund av myndigheters felaktiga prioriteringar inom det ekonomiska incitamentssystemet. Detta resulterar i att svenska rymdföretag inte kan konkurrera framgångsrikt på kommersiella marknader, det vill säga utanför "stängda" system som den europeiska rymdstyrelsens (ESA) geo-retur finansieringsprocess, och att utexaminerade studenter från svenska universitet behöver flytta utomlands om de vill få erfarenhet av att arbeta med sådant som har relevans för aktuella branschtrender och/eller framtida tillväxtpotential.

Omfattningen av den globala rymd-

ekonomin är enorm (för närvarande mer än 400 miljarder USD årligen, och år 2040 beräknas den vara i storleksordningen 1 000–3 000 miljarder USD) – men tyvärr är Sverige inte ens med just nu, sett ur ett NewSpace-perspektiv. Frustrerande nog ligger utmaningarna inte i brist på teknisk förmåga, utan snarare i en utbredd missuppfattning i Sverige om vad NewSpace verkligen innebär och vilka förutsättningar som krävs för att skapa en framgångsrik kommersiell rymdindustri.

NEWSPACE UTVECKLAS TYVÄRR inte spontant och kan inte skapas enbart av kommersiella aktörer själva. Snarare kan det bara uppnås när myndigheter beslutar sig för att aktivt skapa och främja den – genom att implemetera radikalt förändrade upphandlingsmetoder.

Medan andra europeiska länder (Storbritannien, Tyskland, Finland, Danmark, med flera) har lyckats förstå marknadsförändringarna och anpassar sig till den nya verkligheten har beslutsfattare i Sverige fortsatt att prioritera grundforskning och vetenskapliga projekt – områden utan kommersiell potential och som inte ger någon tillväxt.

Redan för 10 år sedan identifierade Riksrevisionen problemen och konstaterade att svensk rymdverksamhet inte

används som en strategisk tillgång (RiR 2013:1). Det framgick tydligt och entydigt i Riksrevisionens rapport att befintliga prioriteringar för statligt finansierade rymdinsatser bör omprövas och att regeringens sätt att styra rymdverksamheten behöver ändras. Än idag har inget förändrats!

DEN BISTRA SANNINGEN är att svenska rymdaktiviteter behöver bli mycket mer kostnadseffektiva för att lyckas på lång sikt. Nyckeln till att uppnå detta är NewSpace, men Rymdstyrelsen fortsätter medvetet att endast prioritera forskning och deltagande i ESA-projekt. Statligt finansierad rymdverksamhet behöver riktas om mot utveckling av produkter och tjänster inom områden som har kommersiell potential på den internationella marknaden. Skälet till detta är att NewSpace-approachen ger både helt nya tekniska förmågor och betydande prissänkningar, vilket även skulle gynna vetenskapliga projekt (genom mer och bättre forskning, för samma eller mindre pengar).

Ska Sverige bli en riktig aktör i den globala rymdindustrin måste prioriteringarna revideras omgående. Styrningen av svenska rymdinvesteringar behöver omstruktureras radikalt för att prioritera 1) stödandet av kommersiell innovation, framför vetenskaplig forskning samt 2) entreprenörers och nya företags behov, framför etablerade företag som saknar förmågan att konkurrera effektivt på kommersiella marknader.

Sverige måste helt enkelt byta (rymd)banan. Detta är avgörande för Sveriges – och svenska studenters – framtid i rymden.

AARON DINARDI

Rymdingenjör och rymdkonsult, med erfarenhet från den ursprungliga utvecklingen av NewSpace i USA (bland annat på SpaceX under företagets tidiga stadier)

Detta är en debattartikel. Vill du svara? Kontakta redaktionen på: fysikaktuellt@fysikersamfundet.se.

Paradoxalt stickspel

I FA4 2021 recenserade jag fyra **brädspel med fysiktema**. Nu har det kommit ut ett nytt spel, *Cat in the Box*, med stark koppling till kvantfysik som recenserar lagom till det att julklapparna ska köpas in.

Cat in the Box: Deluxe Edition

Antal spelare: 2–5

Tid: 20–40 minuter

Cirka pris: 350 kr

Passar för: Den som gillar stickspel



De flesta har nog spelat stickspel. Exempel på sådana är whist, plump och hjärter. Det gemensamma för dessa är att de är kortspel där den första spelaren väljer ett kort från sin hand och spelar ut. Övriga spelare måste följa den aktuella färgen och där den som lägger det högsta kortet i denna färg vinner sticket. Kan man inte följa färg får man *saka*, vilket innebär att spela ett kort av en annan färg. Vinnaren av sticket spelar i sin tur ett nytt, valfritt kort, från sin hand och så fortgår spelet tills alla kort har tagit slut. I vissa spel så räknas en viss färg som trumf och sakar man ett sådant kort så räknas det kortet som bättre, även om dess valör är lägre än det högsta i den ursprungliga färgen.

Cat in the Box spelas med 45 svarta kort vilka är numrerade 1–9. Korten blandas och delas ut jämnt fördelat mellan spelarna. Spelarna slänger var sitt kort och gissar före spelets början hur många stick denne väntas ta. Det som sedan utmärker detta stickspel är att det först är när ett kort spelas ut som spelaren deklarerar vilken färg detta kort anses ha: grön, gul, blå eller röd (trumf). Samtidigt markeras den aktuella kombinationen av färg och valör på ett bräde med en marker tillhörande spelaren.

I fortsättningen får ingen annan spela ut just den kombinationen. Spelet fortgår tills dess att en spelare upptäcker att denne inte kan spela något kort på grund av att alla färgkombinationer med de valörerna denne har på hand redan är upptagna. Då uppstår en så kallad *paradox* och spelet avbryts omedelbart. Spelarna får nu poäng utefter hur många stick denne tog, utom spelaren som orsakade paradoxen, som får motsvarande antal minuspoäng. De spelare som gissade rätt på hur många stick man själv skulle ta får dessutom lika många bonuspoäng som denne har lyckats få ortogonalt sammanhängande marker av på brädet. Man spelar lika många gånger som antalet spelare så att alla får chansen att börja varsin gång. Den slutliga vinnaren är den som totalt sett har fått flest poäng.

Spelet är mycket underhållande och mot slutet sitter alla som på nålar och hoppas att undvika att utlösa den ofrånkomliga paradoxen. Kopplingen till Schrödingers katt är uppenbar, och spelets designer har valt att låta temat lysa igenom. Spelarmarkörerna är exempelvis utformade som atomkärnor, E-kolvar, planeter, katter och äpplen. Regelboken, vilken är spelets enda egentliga svaghet genom att vara otroligt krånglig, är fylld av roliga referenser till kvantfysik. Och för den som inte får nog av grundspelet så planeras det för två expansioner, *String Theory* respektive *The Doppler Effect*.

JONATHAN WEIDOW
Fysikaktuellt



Droppar din kran?



En kran kan lyfta, kanalisera snuva eller reglera ett (vatten) flöde. Det senare varianten finns numera på många ställen, inte minst i våra bostäder. Vi vrider på den många gånger per dag, men vad händer **inuti kranen**? Dess utförande har blivit alltmer avancerat, både på insidan och utsidan.

Förr fick man uppsöka någon brunn, något vattendrag eller någon sjö för att få tag på vatten. I städerna var vattnet ofta otjänligt med återkommande kolerautbrott. Sveriges första vattenverk invigdes 1861 i Stockholm, vilket minskade dödstalen. Då fanns omkring tre mil vattenledningar och under andra halvan av 1800-talet byggdes nätet ut. Numera kommer dricksvattnet in i nästan alla våra bostäder, och i Sverige använder vi hela 140 liter per person varje dygn, varav 30 liter till toaletten.

Tvågreppsblandare

För att reglera och därmed spara på vattnet behövs kranar och 1845 tillverkades den första skruvmekanismen av Guest and Chrimes (figur 1). Efter första världskriget byggdes bostäder med både kallt och varmt vatten. Kranarna hade separata vred, men efter hand förseddes de med gemensamt utlopp. Tar man loss kranratten syns kranöverstycket. Skruvar man ur det, sitter på dess undersida den lätt löstagbara krankäglan, vars gummipackning då och då kan behöva bytas.

Engreppsblandare

Med skruvmekanismen kunde endast flödet styras. Amerikanen Alfred Moen (1916–2001) lär ha bränt sig på varmvatt-

net från en blandare med separata vred. Han lyckades konstruera en blandare med ett enda handtag 1939, vilken reglerade både temperatur och vattenflöde. Han fortsatte utveckla blandaren under andra världskriget och sålde sin första engreppsblandare 1947. Runt 1960 fanns Alfred Moens blandare i många amerikanska hushåll.

Till Europa kom den först 1966, men det tog ytterligare några år innan den slog igenom i Sverige. Engreppsblandare är numera den vanligaste typen av blandare i kök eller badrum. Man kan lätt reglera temperatur och flöde, vilket uppskattas av äldre, handsvaga.

Det åstadkoms med en genialt enkelt ingest (kartusch/insats), som om spaken lyfts reglerar flödet genom att två njurformade öppningar öppnas och stängs (figur 2). Temperaturen regleras genom att spaken vrids och då öppnas/stängs öppningarna olika mycket. Figur 2 visar min "igengeggade", numera pensionerade, 20 år gamla badkarsblandare, för att ge en touch av realism.

Termostatblandare

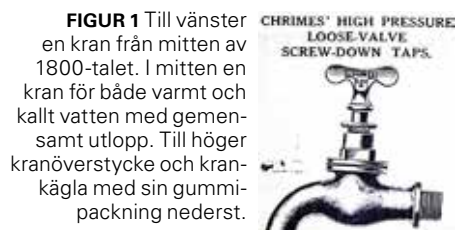
Engreppsblandarna reglerar bara hur mycket vatten som släpps genom varje öppning, utan att ta hänsyn till vattnets temperatur. Därför innebär de termo-



FIGUR 2 På översta bilden kommer vattnet upp genom de två njurformade öppningarna. Nere till vänster och till höger syns kartuschen uppochnervänd. Den reglerar flöde om spaken lyfts och temperatur om spaken vrids. Till vänster avstängd och till höger lagom flöde, där lika mycket varmt som kallt vatten släpps fram. Vattnet blir ljummet.

statiska blandarna ett verkligt lyft. Man slipper justera temperaturen eller överraskas av varierande temperatur och flöde i duschen, om någon samtidigt spolat i toaletten. Blandaren har två reglage som sitter i respektive ände, ett för flöde likt tvågreppsblandarens och ett för temperatur (figur 3).

I blandarens termostatsinsats finns en rörlig kolv som ser till att kall- och varmvattnet får samma tryck. Där finns också en termostat med en avkännare som inne-

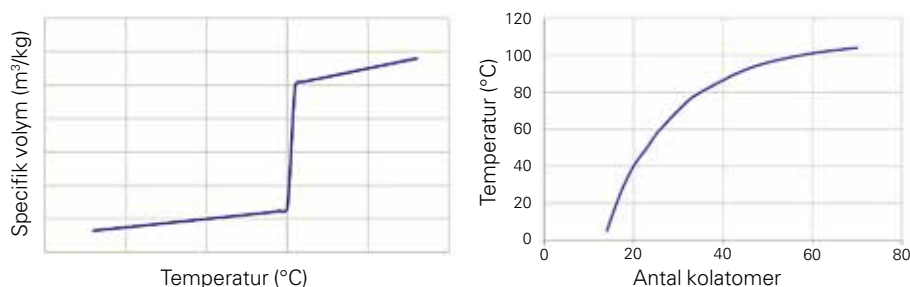


FIGUR 1 Till vänster en kran från mitten av 1800-talet. I mitten en kran för både varmt och kallt vatten med gemensamt utlopp. Till höger kranöverstycke och krankägla med sin gummipackning nederst.





FIGUR 3 Termostatblandare där flödet regleras till vänster och temperaturen till höger. Till höger termostatpatronen som, när dess två röda markeringar syns i linje, är inställd på 38 °C. Vattnet kommer in genom de två silverfärgade filtren och temperaturen väljs till höger, när temperaturvredet satts på.



FIGUR 4 Till vänster principskiss av volymökningen vid en viss temperatur. Till höger smälttemperaturer för olika antal kolatomer i kolvätekedjan.

håller grafitvax. Vaxblandningen finns i en sluten anordning likaså utrustad med en kolv. Den rör sig i takt med ändrad temperatur och justerar blandningen av varmt och kallt vatten (figur 3). Blandare ska klara varmvattentemperaturer på 60–65 °C och kallvattentemperaturer på 10–15 °C. Ut kommer sedan mer behagliga 20–50 °C med en temperaturspärri inställd på 38 °C.

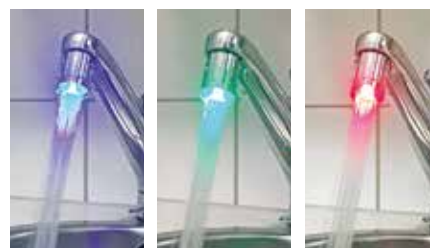
Termostatens grafitvaxer är uppbyggda av linjära kolvätekedjor, så kallade n-alkaner C_nH_{2n+2} . Dessa kolvätekedjor är mycket regelbundna och bildar en tätt packad struktur. Vaxerna övergår på under en sekund från fast till flytande tillstånd, samtidigt som de expanderar upp mot 15 procent (figur 4). Det finns också ett samband mellan smältpunkt och kedjelängd, vilket tillverkarna kan utnyttja för lämplig design av termostaten. Vaxet kan skraddarsys för att smälta inom

ett smalt temperaturintervall och med aktiveringstemperaturer inom ett brett intervall. Detta utnyttjas i tillämpningar som radiatorer, fossilmotorer etc.

Denna vaxblandning, som snabbt och tyst bidrar till att hålla duschvattnet på önskad temperatur, är värd en uppskattande tanke.

Lysande flöde

En LED-bestyckad strålsamlare kan enkelt ersätta den vanliga. Den erbjuder både inre och yttre gänga (24 mm), vilket gör den lättmonterad. Flödet driver en liten propeller/turbin på en generator, vilken ger en spänning. När den är tillräckligt hög börjar dioderna lysa, och sedan ökar luminansen med flödet (figur 5). De olika färgerna avslöjar temperaturen och överstiger den 51 °C blinkar det röda ljuset. Då vet man att legionellabakterierna vantrivs, men för att minska risken för



FIGUR 5 Blått då $t \leq 31$ °C, grönt då $32 \leq t \leq 43$ °C, rött då $44 \leq t \leq 50$ °C och blinkande rött då $t \geq 51$ °C.



FIGUR 6 Beröringsfri blandare där sensorn (svart) sitter nedtill och temperaturvredet till höger.

skållning, får temperaturen dock vara högst 60 °C.

På avstånd

Beröringsfria blandare som styrs av sensorer är hygieniska och vattenbesparande alternativ i offentliga utrymmen. Infraröda sensorer öppnar och stänger flödet när ”ljuset” reflekteras från händerna (figur 6). Kapacitiva sensorer känner i stället av förändringar i det elektriska fältet när en användares hand kommer nära kranen. Blandarna drivs vanligen med batterier, men finns även som nätdrivna. Temperaturen regleras med ett vred på sidan, vilket dock inte är beröringsfritt! På flygplatser eller liknande är detta vred ofta bortmonterat, efter att temperaturen ställts in för handtvätt.

MAX KESSELBERG
Fysikum, Stockholms universitet



**NATUR &
KULTUR**

Heureka!

Heureka! har en självklar plats i fysikundervisningen på gymnasiet och nu är det dags för en ny omarbetad upplaga. Nya Heureka! är utvecklad i samarbete med ledande fysiker och lärare.

**Ny
omarbetad
upplaga!**



"Exempel och övningsuppgifter är realistiska och pedagogiskt välvalda, och texten är logisk, grundlig och begriplig utan förklaringsluckor"

BTJ-häftet nr 19, 2022



Läs mer på nok.se/heureka