

f Fysikaktuellt

NR 3 • SEPT 2020



Vi kikar in
i fysikens
värld

ISSN 0283-9148

Massor av planeter
– men finns det
någon som jorden?

Sid 10

Högupplöst
och kvantitativ
mikroskopi

Sid 14

Gymnasie-
fysik i Finland

Sid 20

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: Margareta Kesselberg, Måns Henningson, Johan Mauritsson, Anne-Sofie Mårtensson och Elisabeth Rachlew.
Ansvarig utgivare: Jonathan Weidow.
Kontakta redaktionen via: fysikaktuellt@fysikersamfundet.se
För insänt, ej beställt material ansvaras inte.
Utgivningsdatum 2020: 27/2, 29/5, 28/9, 14/12.

Medlemskap
Svenska Fysikersamfundet har ca 1000 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 4000 kr per år. Bli medlem genom ansökan på: <http://www.fysikersamfundet.se/formular.html> eller med qr-koden.

Medlemsförmåner

- Fysikaktuellt 4 nummer/år
- KOSMOS
- Rabatt på utvalda boktitlar hos Fri Tanke förlag.
Länk till erbjudanden: <http://fritanke.se/friends/fysikersamfundet/>
- Förmånsprenumeration på Forskning & Framsteg
Erbjudandet gäller 10 nr (20% rabatt).
Länk till beställningssida är: <http://fof.prenservice.se/KodLandning/Index/?Internetkod=057-0571329>

Omslag: Tomas Anunziata, Pexels.com

Layout: Göran Durgé

Tryck: Trydells, Laholm 2020



Stödjande medlemmar

- Gleerups Utbildning AB
www.gleerups.se
- Laser 2000
www.laser2000.se
- Myfab
www.myfab.se
- Scanditronix Magnet AB
www.scanditronix-magnet.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
- Lunds universitet – Fysiska institutionen
- Lunds universitet – Institutionen för astronomi och teoretisk fysik
- Nordita, Nordic Institute of Theoretical Physics
- Stockholms universitet – Fysikum
- Uppsala universitet – Institutionen för fysik och astronomi

Glöm inte att anmäla adressändring till medlemsregistret@fysikersamfundet.se

Innehåll

- 3 SIGNERAT
Carla Puglia
- 4 AKTUELLT/NOTISER
- 5-7 AVHANDLINGEN
Mohammad Zahedinjad
- 8-9 INTERVJU MOHAMMAD ZAHEDINJAD
Margareta Kesselberg
- 10-13 MASSOR AV PLANETER MEN FINNS DET NÅGON SOM LIKNAR JORDEN?
Carina M. Persson
- 14-15 HÖGUPPLÖSANDE OCH KVANTITATIV MIKROSKOPI SE ATOMERNAS LIV OCH LEVERNE
Eva Olsson
- 16-19 X-RAY SCIENCE RÖNTGENVETENSKAP MED VISION ATT FILMA MAKRO-MOLEKYLER
Jonas A. Sellberg
- 20-21 NORDISK GYMNASIE-FYSIK – FINLAND
Anne-Sofie Mårtensson
- 22-23 3D-PRINTING
Jonathan Weidow m.fl.
- 24-28 WALLENBERGS FYSIKPRIS
Anne-Sofie Mårtensson
- 29-31 VARDAGENS FYSIK SYNS KINESISKA MUREN FRÅN MÅNEN?
Max Kesselberg
- 32 ANNONS
NATUR & KULTUR

Nordiska Fysikdagarna, Uppsala 4-6 augusti 2021

Nordiska Fysikdagarna är en gemensam träff mellan de nordiska Fysikersamfundet som anordnas vartannat år i ett av de nordiska länderna. I år, 2020, var det tänkt att Nordiska Fysikdagarna 2020 (<https://www.nordicphysicsdays2020.se/>) skulle organiseras i Uppsala för att samtidigt fira 100-årsjubileum av det Svenska Fysikersamfundet som tillkom 1920 i Uppsala. Vi har tyvärr tvingats ändra planerna på grund av Covid-19 pandemin. Eftersom vi tycker att ett riktigt, fysiskt möte mellan kollegor och unga studenter främjar informella diskussioner och samtal som kan öppna vägar till nya samarbete valde vi att skjuta konferensen till nästa år istället för att organisera ett webbaserat möte. De nordiska fysikdagarna planeras nu istället att hållas i **Uppsala 4–6 augusti 2021**. Temat för konferens är fysik i hela dess bredd och kommer att bli ett spännande tillfälle för att prata och umgås med experter inom olika fält. Konferensen är organiserad av de nordiska fysikersamfundet och Institutionen för Fysik och Astronomi, vid Uppsala Universitet.

Under tre dagar, kommer de Nordiska Fysikdagarna att erbjuda ett mycket brett program som inkluderar vetenskapliga och populära föredrag av mycket brett fysikintresse. Konferensen är tänkt som ett tillfälle att samla unga och seniora fysiker inom olika forskningsområden från de nordiska länderna och vänder sig till forskare, lärare och doktorander inom alla fysikforskningsfält. Det kommer att vara en unik möjlighet att träffas för utbyte och lyssna till spetsföreläsningar med efterföljande workshops och seminarier. Många eminenta forskare har redan accepterat att bidra till Nordiska Fysikdagarna som talare (<https://www.nordicphysicsdays2020.se/speakers/>). Bland dem, kan vi nämna 2019 års nobelpristagare prof Michael Mayor (Geneva University, Schweiz) och prof



Petra Rudolf (University of Groningen, Nederländerna) 2020 utgående president och blivande 2021 vice president av det Europeiska Fysikersamfundet (European Physical Society, EPS). I samband med konferensen kommer en ny *EPS historical site* (https://www.eps.org/page/distinction_sites) tillägnad Anders Jonas Ångström att invigas av Prof Rudolf vid Engelska Parken i Uppsala.

Som ett särskilt erkännande av Uppsala universitets bidrag till fysikpedagogisk forskning, kommer Nordiska Fysikdagarna också att inkludera ett internationellt Symposium om Physics Education Research, med titel: *Representations in the teaching and learning of physics* med många framstående talare.

Syftet med Nordiska fysikdagarna är att främja nordisk samverkan på fysikområdet och lyfta fram aktuella framsteg inom fysiken, som påverkar vår världsbild och bidrar till samhällsutvecklingen. Vi ser fram emot att välkomna kollegor, studenter och lärare till Uppsala för tre spännande och lärorika dagar tillägnad fysiken även om vi nu får vänta ett år innan vi kan träffas.

CARLA PUGLIA
UPPSALA UNIVERSITET
STYRELSELEDAMOT SFS



Lise Meitner-dagarna 2020 ställs tyvärr in

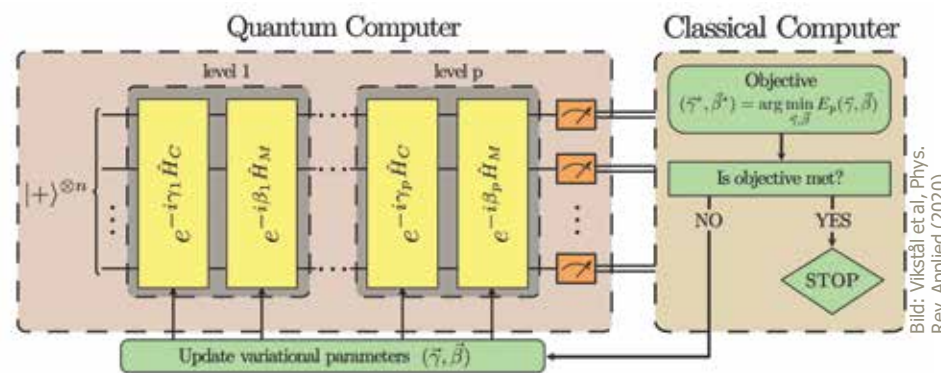
Arrangörsgruppen har diskuterat och övervägt olika digitala alternativ till Lise Meitner-dagarna 2020, men har tyvärr kommit fram till att det inte är möjligt att genomföra ett evenemang på distans som motsvarar dagarnas syfte och kvalitet tillräckligt väl. Arrangörerna kommer nu föra över så mycket som möjligt av sin planering för 2020 till nästa år istället och siktar på att Lise Meitner-dagarna 2021 blir minst lika sprudlande som tidigare år!

Följ den framtida utvecklingen på www.lisemeitnerdagarna.se

Internationella fysikolympiaden 2020 framflyttad

Den 20 maj beslöts att flytta fram de kommande internationella fysikolympiaderna 1 år. Om pandemin avtagit och inga andra hinder uppstått blir arrangörsländer de närmsta åren Litauen 2021, Belarus 2022 och Japan 2023.

Ett kliv framåt för kvantdatorn



Forskare i Chicago har demonstrerat ett robust sätt att med två storleksordningar förlänga koherenstiden för en kvantbit bestående av ett elektronspinn fångat i en orenhet i kiselkarbid. Denna typ av kvantbitar utgör en möjlig byggsten för framtidas kvantdatorer. Ett problem är att elektronspinn kopplar till fluktuationer i omgivande magnetfält som bland annat kommer från fluktuerande kärnspinn i närheten av orenheten. Ett sätt att komma runt detta är att utgå från material med isotoper som saknar kärnspinn, men sådana material är mycket dyra att framställa. En annan metod är så kallad dynamisk frikoppling där man med jämna mellanrum vänder riktning på spinnets, så att långsamma fluktuationer medelvärdesbildas bort. Denna typ av pulser är förhållandevis komplicerade att skapa. Chicagoforskarna använder sig istället av en konstant drivning med en mikrovågskälla, som kontinuerligt roterar spinnets riktning. Gruppen visar att man med denna teknik kan förlänga koherenstiden från 163 mikrosekunder till över 22 millisekunder, detta i ett kiselkarbid med naturlig isotopblandning. Detta resultat som nyligen publicerades i tidskriften Science ger ett nytt viktigt verktyg till de forskare som arbetar med att bygga en kvantdator baserad på elektronspinn.

Ett blockschema för QAOA (Quantum Approximate Optimization Algorithm), som kombinerar kvantberäkningar med klassiska beräkningar för att lösa klassiska optimeringsproblem, som t.ex. planering av flygrutter.

I Sverige arbetar vi också mycket aktivt med kvantdatorer, främst inom Wallenberg Centre for Quantum Technology (WACQT.se). Lika viktig som koherenstiden är hur snabbt man kan utföra logiska operationer med kvantbitarna. Markus Hennrich på SU publicerade nyligen en ny typ av två-kvantbitsgrind för jonfallor i Nature. Denna tar endast 700 ns, vilket är mycket snabbare än tidigare grindar för jonfallor. På Chalmers har vi supraleddande kvantbitar med koherenstider på 95 mikrosekunder, vilket är i nivå med Google och IBM. Eftersom grindarna endast tar mellan 10-200 ns ger det möjlighet att utforska kvantdatoralgoritmer. Tillsammans med företaget Jeppesen publicerade vi nyligen två artiklar i Physical Review Applied, där vi undersöker hur kvantdatorer kan användas för att förbättra planeringen av flygrutter.

GÖRAN JOHANSSON
CHALMERS

Tänk dig en ultrasnabb imiterad hjärna stor som en fingertopp

Den mänskliga hjärnan är ett av de mest komplicerade objekten i universum, särskilt sett till dess storlek. I genomsnitt innehåller den mänskliga hjärnan ungefär 86 miljarder nervceller (neuroner) i massiv växelverkan med varandra genom tusentals miljarder så kallade synaptiska förbindelser. Men vår förståelse för hur hjärnan fungerar är jämförbar med vår förståelse av ungefär 300 miljarder stjärnor i Vintergatan, bokstavligen en droppe i havet.

Vad vi vet hittills är att när neuroner stimuleras av exciterande eller inhiberande neurotransmittorer så avfyra de elektrokemiska signaler till omgivande neuroner genom axoner och synaptiska förbindelser. Dopamin, serotonin och glutamat är bara ett fåtal exempel på vanliga neurotransmittorer som kan påverka, excitera eller inhibera våra rörelser, känslor och inlärningsförmåga. Nervsignalerna överförs på tidsskalor av millisekunder. På det sättet kontrollerar hjärnan alla delar av våra rörelser, syn och kognition. Vissa neuroners avfyrning är rytmisk med mycket låg frekvens, inte mer än några tiotal gånger per sekund. Så kan till exempel neuroner i cortex avfyra i ett synkront mönster när de exciteras av externa

stimuli, till exempel när du ser någonting för första gången. Det synkroniserade mönstret associerar det vi har sett till vad vi kallar minne eller associativt minne. När du ser samma scen nästa gång kommer neuronernas kollektiva respons att följa samma mönster även om individuella neuroner kan bete sig annorlunda. Låt oss göra en övning för att få med dig i tankegången. Försök att läsa följande text snabbt:

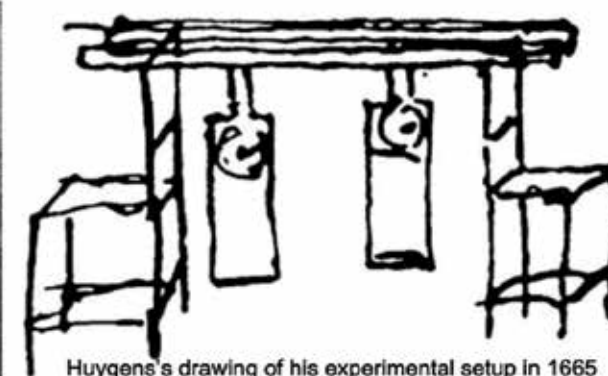
"Den vetenskapliga revolutionen i mänsklighetens historia startade genom att erkänna vår okunskap om världen vi lever i."

Förmodligen läste du texten som om där inte finns några tryckfel. Men där finns

flera stycken. Man har visat att vi bara behöver de första och sista bokstäverna rätt placerade när vi läser igenom en text med välbekanta ord. Det beror på att vår hjärna lagrar ord som mönster och inte bryr sig om de exakta detaljerna i bokstäverna som de består av. Så en felplicerad bokstav får några neuroner att avfyra på ett annat sätt, men den kollektiva synkroniserade avfyrningsresponsen består nästan oförändrad. Du kan se en fantastisk film om synkroniserade neuroner i den här länken: https://www.youtube.com/watch?v=t3TaMU_qXMc

Synkroniseringsfenomenet förblev ouppträckt inom fysiken fram till 1665 när den holländske vetenskapsmannen Christian Huygens observerade två väggklockor synkronisera i motfas, något han beskrev som "en underlig sorts sympati" i sitt brev till Royal Society. Han insåg betydelsen av det gemensamma stödet, som bidrar med växelverkan eller kopplingen (se hans teckning nedan).

Synkronisering är också en del av evolutionen för vissa arter i naturen. Titta på denna magiska bild som visar en svärm av



Figur 1. Christiaan Huygens, fysikern som observerade och förklarade synkroniseringen mellan pendelur. Huygens teckning av hans experimentupställning 1665.

eldflugor som blixtrar synkront och tillsammans åstadkommer en starkare signal i sökandet efter en tänkbar partner under parningssäsongen eller för att signalera till resten av flocken.

I min avhandling inspirerades jag av hur neuroner i hjärnan är sammankopplade och växelverkar. Jag demonstrerade en magnetisk oscillator som kallas för en spinn-Hall-nanooscillator (SHNO) och kan bete sig som en konstgjord neuron. En SHNO består av ett några nanometer tjockt dubbellager av ett lager tungmetall som t ex platina (Pt) ovanpå ett ferromagnetiskt lager av en nickel-järn-legering (NiFe). Ett tvådimensionellt nätverk av sådana oscillatorer framställdes med hjälp av avancerad elektronstrålelitografi och etsningsmaskiner i MC2-renrummet på Chalmers. Figur 3 visar schematiskt ett 4x4-nätverk av SHNO:er där varje SHNO representeras av en magnetiseringsvektor som visas som en grön pil.

När en laddningsström passerar ge-

Mohammad Zahedinejad

- Titel: Spin Hall nano-oscillator arrays: towards GHz neuromorphics
- University of Gothenburg, Physics department
- ISBN 978-91-7833-573-2, pdf
- Länk till avhandlingen: https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/61238/2/gupea_2077_61238_2.pdf
- Disputationsdatum: Sep. 27, 2019
- Handledare: Prof. Johan Åkerman, Göteborgs universitet
- Opponent: Dr. John Slaughter, IBM research in Albany, USA.

nom dubbellagret som visas i figuren går den till största delen genom platinalagret på grund av platinas mycket lägre resistivitet jämfört med nickel-järn. Genom en process som kallas spinn-ban-koppling böjer Lorentzkraften av elektroner med samma spinn i z-riktningen mot gränsskiktet mot nickel-järn-lagret. Spinnen

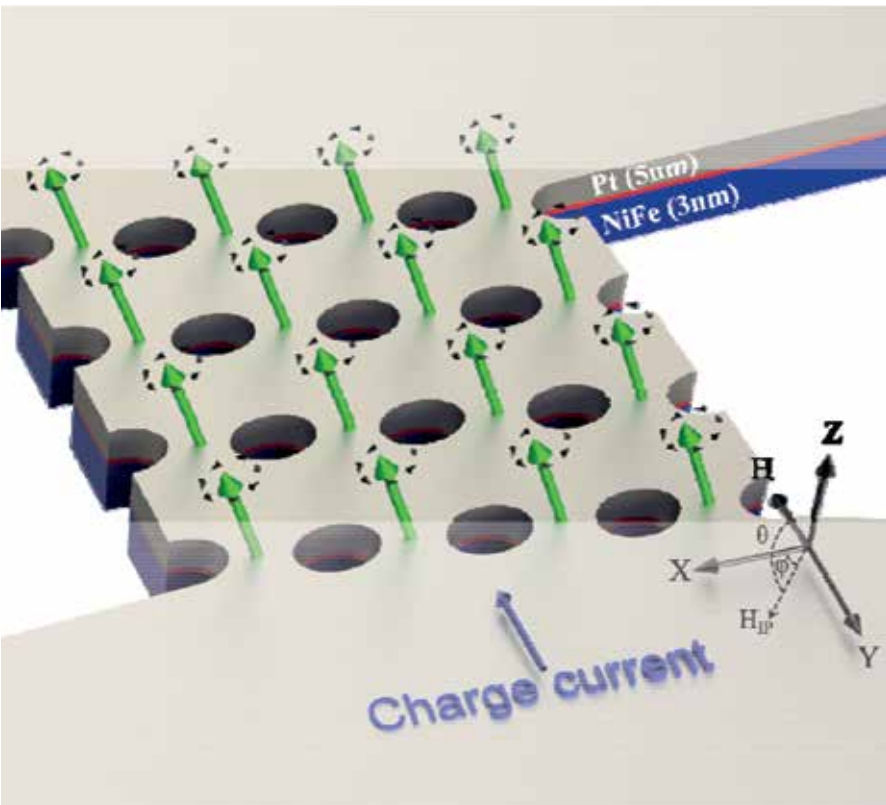
överför sitt rörelsemängdsmoment till det ferromagnetiska NiFe-lagret (grön vektor) genom ett kvantmekaniskt fenomen som kallas spinn-transfer-vridmoment och exciteras så att de precesserar med Larmorfrekvensen (små svarta pilar). Precessionsamplituden är större där spinnströmmens täthet är större, alltså där nanoinneslutningarna är lokaliserade. Eftersom den precesserande magnetiseringskomponent i planet ändrar sin riktning med avseende på den pålagda laddningsströmmen resulterar detta i ett oscillerande värde på resistansen ΔR . När denna oscillerande resistans multipliceras med likströmmen genererar den en oscillerande spänning. Dessa oscillatorers spänning svänger flera miljarder gånger per sekund motsvarande några GHz. Genom att utnyttja olika material, till exempel genom att ersätta platina med wolfram (W) och nickel-järn med kobolt-järn-bor (CoFeB)/magnesiumoxid (MgO) lyckades vi öka frekvensen. Frek-

vensen bestäms av det ferromagnetiska skiktets satureringsmagnetisering, en parameter kallad icke-linjäritetskoefficienten (N) och spinn-Hall-verkningsgraden vilka alla beror på material och gränsskikt. Att ersätta platina med wolfram förbättrar spinn-Hall-verkningsgraden med en faktor fem och införandet av CoFeB/MgO ökar icke-linjäritetskoefficienten väsentligt. Frekvensökningen gör SHNO till en tänkbar kandidat för kommunikationssystem, från området där dagens 4G-operatörer kommunicerar, till tiotals GHz för 5G, allt uppnått genom en enda nano-komponent.

Som visat i Figur 3 så har vi ett rutnät av tätt packade magnetiska oscillatorer på nanoskala som attraherar eller repellerar varandra när de precesserar. Du kan tänka på den magnetiska interaktionen som stödet för pendeluren i Huygens experiment eller den synaptiska förbindelsen mellan rytmiskt avfyrande neuroner. Beroende på hur vi tillför laddningsströmmen eller pålägger det magnetiska fältet kan vi justera kopplingarna så att alla SHNO:er oscillerar synkront, som en svärm av blinkande eldflugor eller en konstgjord samling neuroner. Återigen, i likhet med vår hjärnas associativa minne är det SHNO-ensemblens uppförande som definierar synkroniseringen, inte de individuella SHNO:erna.

Vi utökade sedan nätverkets storlek till att innehålla upp till 64 synkroniserade artificiella neuroner. Större nätverk intensifierar i sin tur den utsända mikrovågssignalen, precis som en applåderande publik i ett operahus låter förstärkt när den applåderar synkront.

När vi nu har dessa ultrasnabba artificiella neuroner som kan synkronisera, kan vi bygga en artificiell hjärna eller ett kognitivt system? Jag tror det kommer att bli möjligt om vi stimulerar neuronerna individuellt, precis som neuroner i cortex stimuleras av externa stimuli, till exempel när vi ser ett ord för första gången. Den sista delen av min avhandling handlade om att åstadkomma en sådan möjlighet att individuellt kontrollera dessa små oscillerande magneter. Vi lyckades lägga till ytterligare ett element för att kontrol-



Figur 3. När en laddningsström passerar längs ett bilager som i figuren så går den framför allt genom platinalagret eftersom det har mycket lägre resistivitet än nickel-järnlagret. Genom en process som kallas för spinn-bankoppling avlänkas elektronerna med samma spinn i z-riktningen mot gränsskiktet mot nickel-järnlagret. Spinnen överför sin rörelsemängd till magnetiseringen av det ferromagnetiska lagret (grön vektor) genom ett kvantmekaniskt fenomen som kallas för spinn-transfer-vridmoment och exciteras så att de precesserar i banor indikerade av de svarta pilarna.

Precessionsamplituden är större där tätheten för spinnströmmen är större, det vill säga där nanoinneslutningarna är lokaliserade.

Dessa oscillatorer svänger flera miljarder gånger per sekund, svarande mot GHz-frekvenser. Genom att utnyttja olika material och byta ut platina mot Wolfram (W) och nickel-järn mot kobolt-järn-bor (CoFeB) kan vi utöka arbetsfrekvensen för SHNO specifikt för kommunikationssystem. Från området där dagens 4G-operatörer kommunicerar, till tiotals GHz för 5G, allt realiserat genom en enda krets på nanoskala.

lera våra SHNO:er genom ett elektriskt fält på nanoskala. Det gjordes genom en grind mycket lik den i MOSFET-transistorer. Vi kan då kontrollera inte bara de individuella oscillatorerna (GHz-neuroner) utan också kopplingen (den synaptiska förbindelsen) mellan dem varsohelst inom nätverket.

Därmed har vi alla pusselbitar på plats för att tänka ännu större. Vi har börjat med en extremt kompakt mikrovågsskoscillator med stor möjlighet till frekvensjustering inom GHz området för kommunikationssystem. När jag se-

dan tänker större föreställer jag mig en kognitiv processor bestående av miljoner sådana oscillatorer som fungerar som artificiella neuroner på nanoskala, en imiterad hjärna mindre än vår fingerspets som arbetar miljoner gånger snabbare än vår biologiska hjärna och är den överlägsen för specifika uppgifter som maskinell igenkänning av bilder, beslutsfattande och artificiell intelligens.

MOHAMMAD ZAHEDINEJAD
GÖTEBORGS UNIVERSITET



Bild: Taoyuan, Taiwan © Tsaiian, Flickr

Figur 2. Synkronisering är också en del av evolutionen för vissa arter i naturen. Titta på denna magiska bild som visar en svärm av eldflugor som blixtrar synkront för att leta efter en tänkbar partner under parningssäsongen eller för att signalera till resten av flocken.

Det är en dröm att mitt arbete skall komma till nytta för så många som möjligt

Mohammad Zahedinjad har en önskan att hans forskning och akademiska arbete skall få praktisk betydelse för många människor, och att han själv har möjlighet att få uppleva det. Det skulle vara en stor glädje och tillfredsställelse, berättar han.



Den grundläggande forskningen är viktig, men att få kunskapen som han tillägnat sig förverkligas i tillämpningar är det stora målet.

Livsresan som Mohammad gör är något utöver det vanliga. Så länge som han kan minnas har han gillat utmaningar och när de varit för få har han skapat egna. Redan som sjuåring fick han privatlektioner i engelska för att kunna kommunicera internationellt som vuxen. Mohammad kommer ursprungligen från Iran och nästan hela hans släkt finns utsprida i olika delar av västvärlden.

Många i Mohammads situation har föräldrar vars drömmar aldrig kunde förverkligas, vilket också präglar deras barns uppväxt på olika sätt. Föräldrarna i Iran gjorde stora uppoffringar för att ge sina barn utbildning för en bättre framtid. Familjen var jordbrukare sedan generationer, men föräldrarna kände att det inte fanns möjligheter till utveckling för familjens barn utan mer kunskaper.

Mohammads största inspiratör under uppväxten var en farbror som bodde i Frankrike sedan lång tid tillbaka. Farbro-

dern berättade om "life science" och dess möjligheter internationellt och tillfällen som då skulle öppna sig att utforska andra länder och kulturer. Något som påverkade honom starkt.

Nu har enbart den akademiska världen inte tillräckligt med lockande utmaningar för Mohammad. Det som nu känns spännande att förverkliga är att kombinera alla kunskaper från utbildning och forskning och med den sammantagna kompetensen skapa nya tillämpningar med stöd från företag. Just nu, som postdoc på GU, handlar det om att skapa en ny typ av plattform, Applica-

tion Specific Integrated Circuit (ASIC), som är möjlig att utveckla kommersiellt via företag.

– Jag vill att så många som möjligt skall kunna ta del av mina och andras kunskaper i praktiska tillämpningar som är till nytta globalt.

Hur kommer det sig att du valde Sverige att doktorera i?

– Nej, Sverige var inget medvetet val, berättar Mohammad. Det var en slump mest. Jag hade planer på att studera i Centraleuropa eller Nordamerika, speciellt Kanada eftersom jag har en bror där, men blev inte antagen.

– Sverige fanns där som ett alternativ av många, men var inte mitt förstahandsval, berättar han. Det var slumpen som gjorde att det blev Sverige, något som jag aldrig ångrar.

– Tvärtom har forskargruppen och miljön varit fantastiskt stimulerande, säger han. Jag är verkligen tacksam för att det blev Göteborgs universitet och Applied Spintronics group, med så många trevliga och skickliga arbetskamrater.



Kan du beskriva dig själv med några få ord?

– Att utmana mig själv på jobbet och att se det positiva i livet är viktigt. Jag tycker om att samarbeta och är nyfiken på människor. Alltid entusiastisk och nyfiken på ny teknik och vad den kan innebära.

Du är i Schweiz nu och vi talas vid via Skype?

– Ja, jag åkte ned till Schweiz för att hälsa på min flickvän över helgen som studerar där. Sedan gjorde corona-pandemin och de restriktioner som följde att jag blivit kvar utöver planerat.

När FA:s läsare tar del av den här texten är Mohammad åter hemma i Göteborg och postdoc-arbetet.

Det är högt tempo i Mohammads arbete och FA önskar att kapitalsatsningen från samhället och forskarnas skicklighet kommer att gå hand i hand.

MARGARETA KESSELBERG
FYSIKAKTUELLT



"Jag älskar att göra saker som faktiskt fungerar i verkliga livet"

Mohammad Zahedinjad

■ 34 år, Född i Mashhad, Iran

■ Utbildning:
High school in Natural science, med inriktning mot Math and Physics, 2004
B.Sc. Electrical engineering, Electronics, Mazandaran University, 2009
M.Sc.: Electrical engineering, semiconductor devices, Teheran, 2012
Doktor i fysik vid Göteborgs universitet, 2019

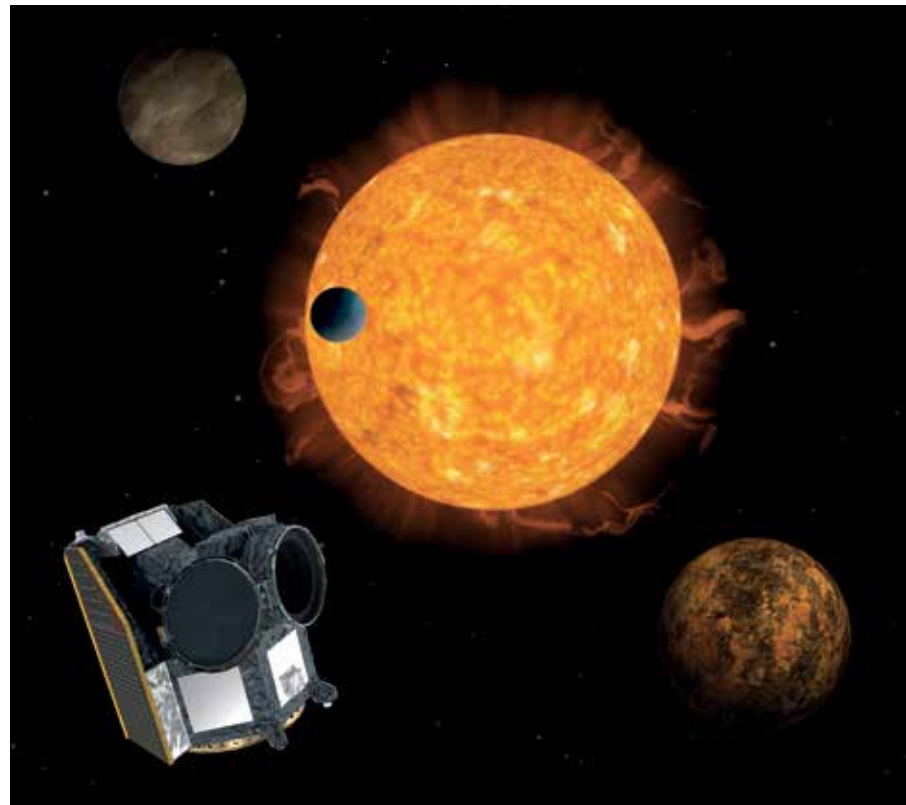
■ Familj:
Föräldrar i Iran, Shima, flickvän, som doktorerar i Kvantoptik, ETH, Zürich, Schweiz
Ali, äldre bror och elingenjör. Arbetar vid ett kraftverk i Iran.
Elahe, syster, som doktorerar i matematik i Sydney, Australien

Ehsan, yngre bror, PhD i Quantum Bioinformatics. Arbetar på 1Qbit, bor i Vancouver

■ Intressen utöver fysik och teknik
"I enjoy talking to strangers, which is ironic in Sweden".
Gillar att tälta, vandra i fjällen och uppleva naturen. Även skidåkning
Tycker också om att titta på tv-serier, och gillar även god mat med ett glas rödvin.

■ Nuvarande arbete:
Postdoc, 2020-2022

■ Framtidsplaner:
Member of a team starting a new company in Sweden to build an application specific integrated circuit processor for neuromorphic computing and Ising machine.



En konstnärs bild av rymdteleskopet Cheops med ett exoplanetsystem i bakgrunden. Cheops observerar de små ljusminskningar som uppkommer när en planet passerar precis framför sin stjärna med en ultrakänslig fotometer.

© ESA/ATG medialab

Massor av planeter – men finns det någon som liknar jorden?

Europeiska rymdteleskopet Cheops har nyligen startat utforskningen av små planeter som kretsar kring andra stjärnor.

Forskare i Sverige har deltagit i förberedelserna och jublar över data som äntligen strömmar in.

I vår galax finns det flera hundra miljarder stjärnor och det är rimligt att anta att många av dem har planeter och planetsystem, några kanske hyser liv. Som ett första steg i sökandet efter liv utanför vårt solsystem antas att liv – som vi känner det – automatiskt uppstår i rätt förhållanden. Man söker då efter jordliknande planeter gynnsamma för liv; steniga planeter med lagom storlek på lagom avstånd från en lagom stjärna där flytande vatten kan existera på ytan om planeten har en atmosfär, i den så kallade beboeliga zonen.

Studier av planeter som kretsar kring andra stjärnor – exoplaneter – innebär stora utmaningar. Exoplaneterna befinner sig på enorma avstånd och är i omloppsbanor kring stjärnor med miljarder gånger starkare strålning än deras egen. I vårt eget planetsystem kan vi ta bilder av de sju andra planeter, våra dvärgplaneter, asteroider och kometer. Man har dessutom skickat ut rymdsonder och landare för detaljerade studier som medfört överraskande upptäckter. För studier av exoplaneter måste man istället oftast använda observationer av stjärnornas ljus

och rörelser för att få *indirekta* uppgifter om planeter, vilket ställer extremt höga krav på mätningarna.

1995 upptäckte Mayor och Queloz den första exoplaneten som kretsar kring den solliknande stjärnan 51 Peg. Det var en häpnadsväckande upptäckt av en helt ny typ av planet utan motsvarighet i vårt eget planetsystem – en Jupiterliknande planet så nära sin stjärna att omloppstiden bara är 4 dygn, en så kallad Het Jupiter (se faktaruta).

Upptäckten slog ned som en bomb i forskarvärlden och stämde inte alls med

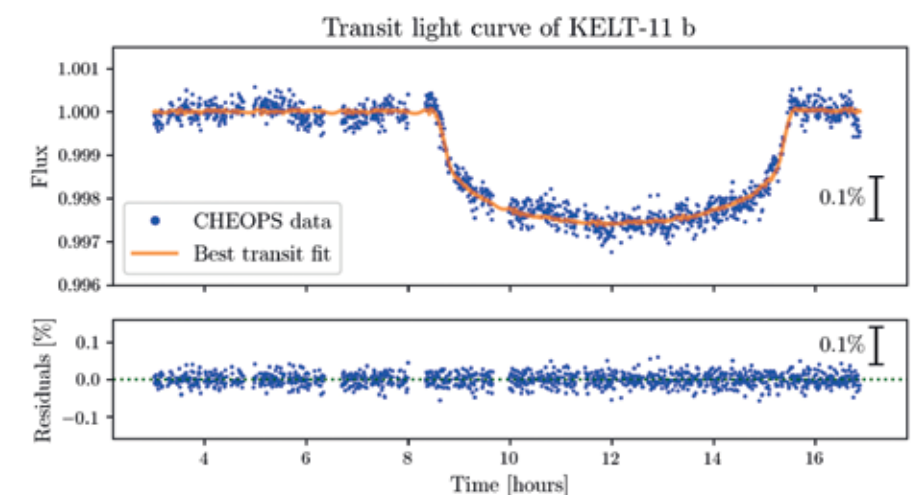
de dåvarande teoretiska modellerna för planetbildning. Många forskare var tveksamma. Stora gasjättar kan inte bildas så nära sin stjärna, det finns helt enkelt inte tillräckligt mycket material. Men snart hittades ännu fler liknande exoplaneter, och teoretiska modeller kunde snart visa att planeter migrerar. De kan bildas långt ut i systemet och efter en kort period av migration kan de hamna i stabila banor närmare sin stjärna.

Upptäckten gav Mayor och Queloz ett Nobelpris i fysik 2019 för nya perspektiv på vår plats i universum och blev startskottet för ett helt nytt spännande forskningsfält. Trots att vi idag känner till fler än 4200 exoplaneter och 700 exoplanetsystem har man fortfarande inte hittat jordens tvilling eller ett planetsystem som liknar vårt. Däremot har flera helt nya typer av planeter upptäckts (se faktaruta). Mångfalden av planeter har varit den största överraskningen. Alla kända planetsystem har dessutom en helt annorlunda uppbyggnad än vårt eget som har fyra små och steniga planeter närmast solen, och fyra gasjättar längre ut med omloppstider mellan 11 och 164 år. Den innersta planeten Merkurius har en omloppstid på 88 dagar. Men betyder detta att jorden och vårt planetsystem är unikt eller är de bara extremt svåra att hitta?

Mayor och Queloz använde radialhastighetsmetoden för sin upptäckt som mäter en stjärnas hastighet i siktlinjen. Dragningskraften från planeten ger upphov till en vaggande rörelse hos stjärnan för varje varv planeten gör. Hög planetmassa relativt stjärnan och kort avstånd ger störst påverkan.

De färgade cirkelarna visar den relativa storleken av stjärnan jämfört med sin transiterande planet (svarta cirkel), stjärnan HD 93396 (orange) och som jämförelse solen (gul). Eftersom stjärnan HD 93396 är nästan tre gånger större än solen så tar det hela åtta timmar för planeten KELT-11 b att fullfölja en passage som illustreras i ljuskurvan längst ned. KELT-11 b är större än Jupiter, men eftersom dess massa är fem gånger lägre är dess medeltäthet så låg att den skulle flyta i ett tillräckligt stort hav.

© CHEOPS Mission Consortium

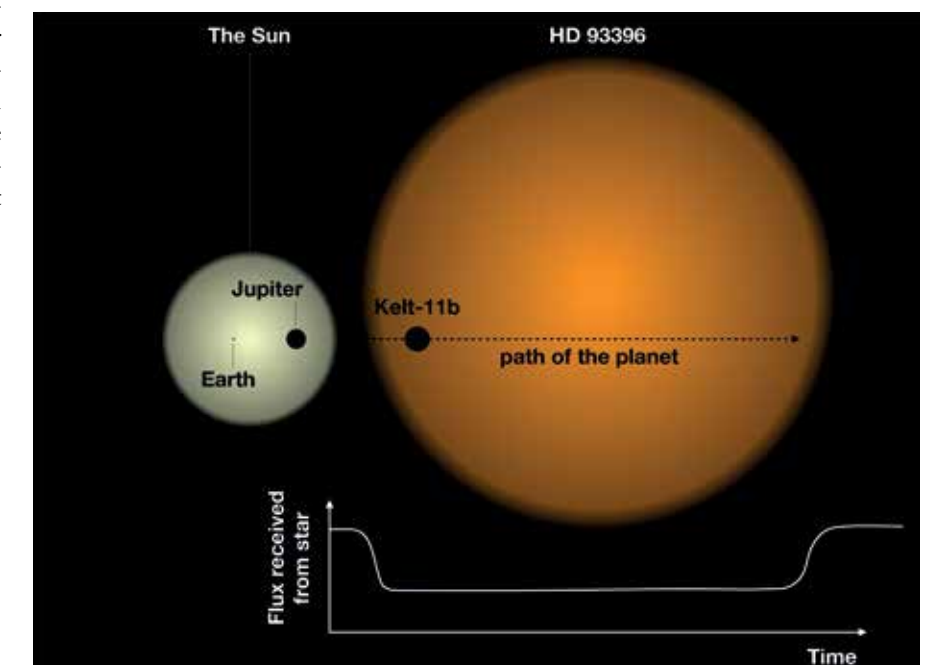


Den första ljuskurvan av en exoplanet mätt med rymdteleskopet Cheops. Gasjätten KELT-11 b kretsar kring stjärnan HD 93396 med en omloppstid på 4,7 dagar. Djupet av passagen är ett mått på planetens storlek. Observationerna är fem gånger mer exakta än mätt från jorden och visar att diametern av KELT-11 b är 181 600 km med en osäkerhet på bara 4300 km. Avståndet till systemet är 320 ljusår. © CHEOPS Mission Consortium

Den här metoden var till en början den mest framgångsrika och flera hundra planeter upptäcktes. Men den kräver mycket teleskoptid och extrem precision. Idag finns några få instrument med en precision på omkring 1 m/s, det allra senaste har ca 0,1 m/s, men de flesta har en betydligt sämre precision. Det ska jämföras med jordens påverkan på solen på bara 9 cm/s med en omloppstid på ett år, medan signaler från en Het Jupiter är

omkring 100 m/s med en omloppstid på några få dagar. Det är alltså betydligt lättare att på mycket kort tid upptäcka Heta Jupiters än små planeter i vida banor. Stjärnorna behöver även vara ljusstarka vilket är ovanligt. Man får inte heller någon information om planetens storlek med denna metod, eller lutningen av banplanet vilket gör att planetens uppmätta massa bara är en undre gräns.

Därför blev snart en annan metod



som erbjöd den saknade informationen och lättare kunde hitta små planeter mycket populär – passagemetoden (kallas också för transitmetoden). Den här metoden observerar stjärnans ljus istället för rörelser. Om en stjärna har planeter som passerar stjärnan rakt i vår siktlinje kommer stjärnans ljus att minska ytterst lite varje gång planeten passerar stjärnan. Djupet av en passage är ett mått på planetens storlek relativt sin stjärna. En stor planet skymmer mer av en liten stjärnas ljus än vice versa. Man får dessutom annan viktig information som stjärnans medeltäthet och lutningen av banplanet ur ljuskurvan.

En stor nackdel med passagemetoden är att väldigt få planeter har banor som för dem precis framför sina stjärnor i vår siktlinje. Sannolikheten är låg att en planet ska transitera. Man kan behöva observera hundratal till tusentals stjärnor för att hitta en enda exoplanet. I början av 2000-talet började man använda markbaserade teleskop för att leta efter exoplaneter med passagemetoden. Jordens atmosfär och rotation förhindrar dock upptäckter av små planeter med långa omloppstider.

Dessa problem kan undvikas med observationer från rymden där man inte är begränsad av jordens atmosfär och

stjärnorna kan dessutom observeras dygnet runt under lång tid med extremt hög noggrannhet och stabilitet.

Den första exoplanetsatelliten som använde passagemetoden var CoRoT (Convection, Rotation and planetary Transits; 2006-2013), som var ett samarbete mellan franska rymdstyrelsen och europeiska rymdstyrelsen Esa. CoRoT var banbrytande och hittade bland annat den första steniga superjorden CoRoT-7 b med en omloppstid på bara 20 timmar. När amerikanska Nasa sköt upp rymdteleskopet Kepler (2009-2018) med ett 25 gånger större fält och med ett tre gånger större teleskop än CoRoT togs klivet in i en ny epok. Antalet detektioner exploderade med tusentals nya exoplaneter. Resultat från Kepler visar att alla stjärnor verkar ha minst en planet och att små planeter är vanligast.

För att komma vidare till nästa steg i exoplanetforskningen behöver man dock kombinera mätningar från både passage- och radialhastighetsmetoden. Med både radie och massa kan man börja karaktärisera exoplaneterna. Man kan fastställa deras medeltäthet och undersöka deras uppbyggnad och sammansättning, och få nya insikter om hur planeter bildas, migrerar och utvecklas. Men allt bygger på att mätningarna är väldigt exakta.

Tyvärr kretsar de flesta av de tusentals

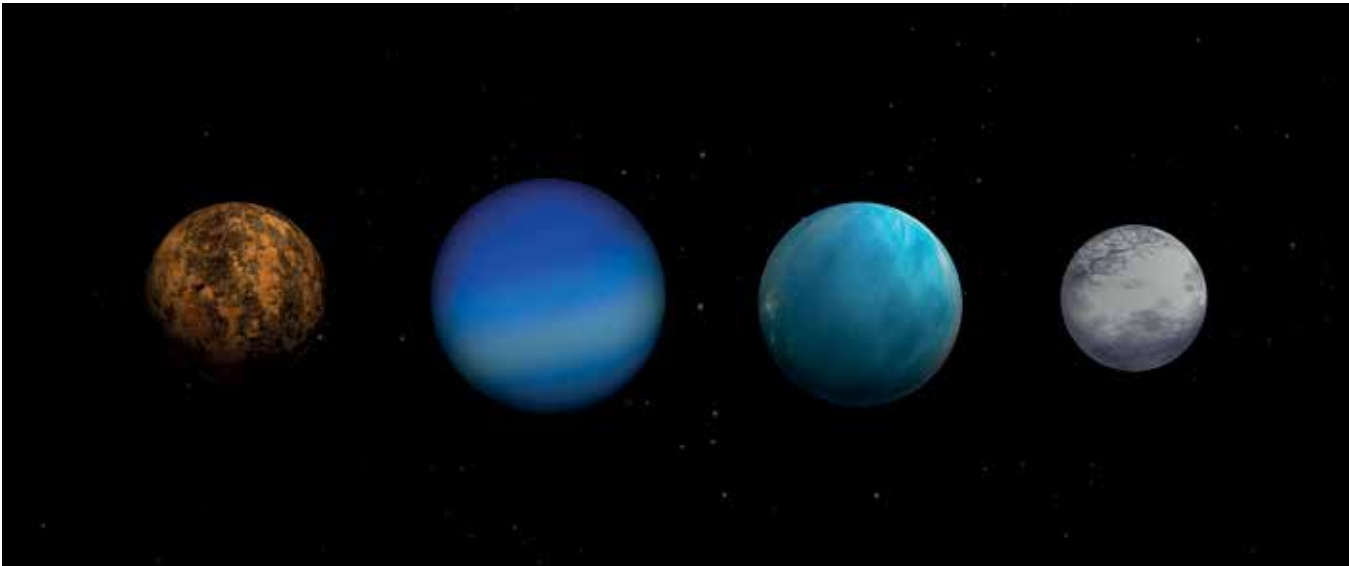
Keplerplaneterna kring ljussvaga stjärnorna vilket gör att man inte kan utföra radialhastighetsobservationer för att få planetmassor för dessa planeter. Och många av de exoplaneter som har uppmätta massor transiterar inte och har därför en okänd storlek. Totalt har omkring 600 exoplaneter både uppmätt massa och radie, men bara ett fåtal har hög precision i mätningarna och de flesta planeterna är stora. Bara några tiotals superjorder har både uppmätt massa och radie med en precision bättre än 20 %. För att kunna modellera planeternas inre behövs ännu högre noggrannhet.

Därför siktar nu alla nya projekt in sig på ljusstarka stjärnor. Problemet är att dessa stjärnor är få och de är dessutom spridda över hela himlen och bara en bråkdel av dem har planeter som transiterar. De nya missionerna angriper problemet på olika sätt.

I april 2018 sköt Nasa upp Tess (Transiting Exoplanet Sky Survey) som observerar hela himlen för att kunna fånga in passager kring ljusstarka stjärnor. Detta sker till priset av att varje del av himlen bara kan observeras under en månad, även om vissa fält på himlen överlappar. Därför har de flesta exoplaneter som upptäckts med Tess mycket korta omloppstider (dagar-tiotal dagar) och de planeter som befinner sig i den beboeliga zonen kommer därför kretsas kring lågmassiva stjärnor som kan vara ogynnsamma för uppkomsten liv.

Europa har satsat på tre exoplanetprojekt. Först ut är Cheops (Characterising Exoplanet Satellite) som sköts upp 18 dec 2019 från Esa:s rymdbas Kourou i Frankrike Guyana och kretsar nu kring jorden på 700 km höjd under minst 3,5 år. Syftet med Cheops är att karaktärisera redan kända exoplaneter. Nästa projekt är Plato (PLANetary Transits and Oscillations of stars) med planerad uppskjutning 2026. Målet är att för första gången hitta jor-

En konstnärs bild av Cheops, Esa's Characterising Exoplanet Satellite, i bana kring Jorden.
© ESA/ATG medialab



dens tvilling. Den tredje missionen är Ariel (the Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large-survey mission) med planerad uppskjutning 2028. Ariel kommer observera utvalda exoplaneters atmosfärer för att söka efter spår från liv.

Cheops är Esa:s första ”small class mission” med en kort utvecklingstid och låg kostnad. Satelliten startade de vetenskapliga observationerna den 18 april efter flera månaders tester där allt visade sig fungera som specificerat eller bättre. Cheops observerar inte en fix del av himlen under lång tid för att söka efter nya exoplaneter som tidigare missioner. Istället riktar den mot en ljusstark stjärna i taget för att mäta storleken av redan kända exoplaneter med ultrahög precision. Med kompletterande eller existerande radialhastighetsmätningar kan planeternas sammansättning bestämmas mycket noggrant. Fokus är framför allt på små planeter som superjorder och mini-Neptunus (se faktaruta). Cheops kommer också användas för att få information om Heta Jupiters atmosfärer och energitransport. Små avvikelser i passagen som utläses ur ljuskurvan kan också ge ledtrådar om planeterna har månar eller ringar.

Cheops är ett samarbete mellan Schweiz och Esa och ett konsortium av ytterligare 10 medlemsländer, lett av universitetet i Bern. Vår forskargrupp på Chalmers har tillsammans med Stockholms universitet arbetat med utvecklingen av Cheops sedan 2011 och från

Cheops observationer kommer ge information om exoplaneters sammansättning, bildande och utveckling. Framför allt för små planeter som, från vänster till höger, steniga superjorder, mini-gasplaneter, vattenvärldar, och isplaneter. © ESA/ATG medialab

2014 även med Lunds universitet. Nu har vårt arbete gått in i en ny fas där vi tar emot riktiga data och äntligen kan analysera exoplaneterna. Arbetet är intensivt, spänningen stor, och flera vetenskapliga artiklar är redan på gång.

Efter Cheops fortsätter arbetet med Plato som kommer avsöka en stor del av himlen med oöverträffad känslighet tack

vare 26 teleskop och ultrakänsliga fotometrar. Målet är att hitta tusentals nya exoplaneter i banor kring ljusstarka stjärnor. Och för första gången hitta jordens tvilling och motsvarigheter till vårt eget planetsystem – om de finns.

CARINA M. PERSSON
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA



FAKTA Olika typer av exoplaneter	Superjord
Det finns en stor mångfald av exoplaneter. De kan vara sammansatta av gas, is, vatten, sten och järn och kan ha allt från mycket låga till mycket höga tätheter. Vissa planeter har mycket tjocka och tät atmosfärer, medan andra planeters atmosfärer helt blåsts bort av stjärnans strålning och bara lämnat kvar den inre steniga kärnan. Planeternas omloppstid kring sina stjärnor kan variera från mindre än ett dygn till tusentals år. Banorna kan vara cirkulära till mycket avlånga. Det finns planeter som kretsar kring stjärnor med både låg och hög halt grundämnen tyngre än helium, kring unga och gamla stjärnor, ensamma stjärnor, dubbel- eller trippelstjärnor. Planeter finns överallt.	Stenig planet med ca 2-10 jordmassor och 1-2 jordradier. Saknar motsvarighet i solsystemet. Antas vara de bästa kandidaterna för planeter lämpliga för liv tillsammans med jordliknande planeter.
Jordliknande planet	Mini-Neptunus
Stenig planet som liknar jorden Merkurius, Venus, och Mars.	Liten gasplanet med storlek mindre än Neptunus (4 jordradier). Har förmodligen en större andel is än Jupiterliknande planeter. Har ingen motsvarighet i solsystemet.
	Het Jupiter
	En gasjätte med mycket kort omloppstid (dagar). Mycket heta planeter. Har ingen motsvarighet i solsystemet.
	Ultra-kort periodisk exoplanet
	Omloppstid mindre än ett dygn. Extremt heta planeter. Har ingen motsvarighet i solsystemet.

Högupplösande och kvantitativ mikroskopi – att se atomernas liv och leverne

Betydelsen av atomer, deras identitet och deras placering

De egenskaper som vi använder hos katalysatorer, solceller, mediciner, datorer, bilar o.s.v. beror ytterst på hur atomerna sitter ordnade i de ingående materialen, vilka atomerna är och hur elektronerna fördelar sig mellan atomerna. Vi kan idag skräddarsy material och vi har förmåga att kontrollera materialen ända ner på atomär nivå. Det finns oändligt många exempel där en enda atom eller en enda gränssyta drastiskt förändrar egenskaperna, t.ex. ett elektriskt ledande material blir isolerande p.g.a. ett atomplan läggs in mellan två perfekta kristaller. Ett annat exempel är katalysatorer där en förflyttning av en atom på några få pikometer ändrar den katalytiska aktiviteten.

Transmissionselektron-mikroskopi

Betydelsen av varje atom innebär att vi inte bara behöver information med hög upplösning utan även behöver veta var varje atom sitter med hög precision. Högupplösande, högprecisions samt kvantitativ transmissionselektron-mikroskopi (TEM) ger oss en unik inblick i atomernas värld på både ytan och inuti materialen samt även i tre dimensioner. TEM avbildar men kan också göra diffraktion, spektroskopi och experiment där atomär struktur direkt korreleras till egenskaper

och strukturen reagerar på olika stimuli i realtid (*in-situ*-experiment). Inverkan av gaser, vätskor, elektriska fält, magnetiska fält, mekanisk belastning, temperatur och ljus är bara några exempel av vad som kan studeras.

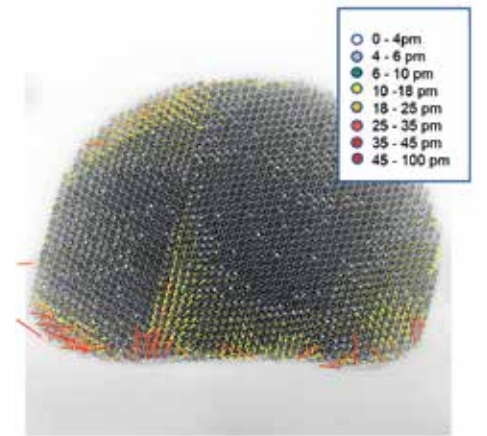
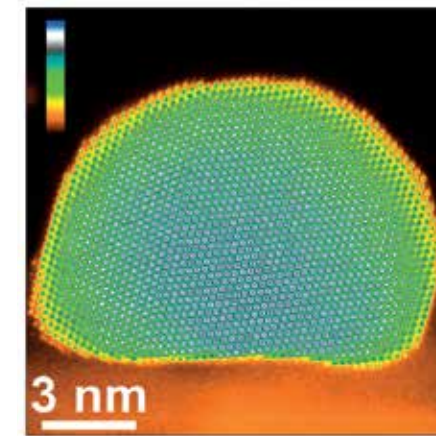
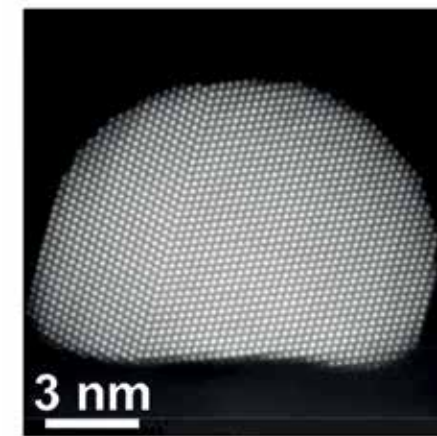
Kort historik

En atom är ca 1 Å (0,1 nm) i diameter. Våglängden hos strålningen, som används för att studera materia, sätter gränsen för upplösningen när linsoptik används för avbildningen. Våglängden för ett ljusoptiskt mikroskop är ca 5 000 gånger större än diametern hos en atom vilket innebär att ett ljusoptiskt mikroskop inte förmår avbilda enskilda atomer. Våglängden i ett TEM (Ernst Ruska fick Nobelpris 1986 för uppfinningen av TEM) är däremot några få pikometer. Principen för TEM liknar dem för ljusoptiska mikroskop men linserna i ett TEM är magnetiska. Manfred von Ardenne uppfann svep-TEM (STEM) år 1937 där elektronstrålen som träffar provet fokuseras till en liten stråldiameter och sveps över provet och de signaler som sänds ut från provet detekteras synkront med elektronstrålens svep. Upplösningen hos TEM och STEM blev steg för steg bättre men under 1980-talet stagnerade utvecklingen och upplösningen blev inte bättre än ett

fåtal Å p.g.a. aberrationer hos de magnetiska linserna som inte kunde korrigeras på samma sätt som dem hos ljusoptiska linser. Det innebar att arrangemanget av enskilda atomer i ett material inte kunde urskiljas utom i några undantagsfall där avståndet mellan atomer var stort. Ett revolutionerande genombrott kom under 1990-talet med aberrationskorrektion för magnetiska linser. Korrektionen fungerar för både TEM och STEM. På samma sätt som TEM medförde ett trendbrott jämfört med den ljusoptiska mikroskopin, som hade nått sin optimala upplösning vid ljusets våglängd ca 1900, skedde ett trendbrott under 1990-talet där upplösningen nu bröt den magiska 1 Å-barriären. Upplösningen är idag bättre än 0,5 Å (50 pm). Aberrationskorrektionen ger också bättre signal i förhållande till bakgrundssignal för både avbildning och spektroskopi vilket leder till förbättrade detektionsgränser och högre precision. Harald Rose, Maximilian Haider, Knut Urban och Ondrej L. Krivanek tilldelades Kavlipriset i nanovetenskap nu år 2020 för sina insatser för aberrationskorrigerad TEM och STEM.

Exempel på tillämpningar

Tillämpningarna av TEM och STEM är mångfacetterade. De används för studier av alla typer material och såväl oorganiska, organiska och biologiska. Här följer några fåtal exempel. Vi börjar med en katalysstudie från Institutionen för fysik och Kompetenscentrum katalys vid Chalmers. Figur 1 visar en nanopartikel av platina som vilar på en yta av aluminiumoxid. De ljusa punkterna är atomkolonner och färgskalan anger hur många atomer som finns i varje kolonn. Några kolonner har bara en atom i sig. Vi ser även hur långt varje atomkolonn och atom har flyttat sig från sin förväntade position. Störst förflyttning sker i gränssytan mellan partikeln och aluminiumytan. Förflyttningarna kunde mätas med subpikometerprecision och de små pikometerförflyttningarna påverkade den katalytiska aktiviteten (Nature Comm., vol 9 (2018) 2722). Små förflyttningar av atomer påverkar också egenskaperna hos ferroelektriska material. Riktningen

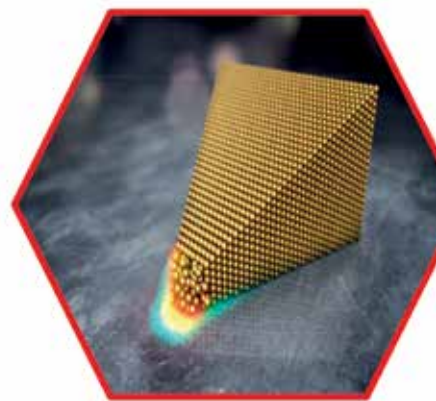


Figur 1. STEM bilder av en nanopartikel av platina som vilar på en aluminiumoxidyta. Elektronstrålen har infallit längs $\langle 110 \rangle$ -riktningen. a) En mörkfälts-STEM-bild som visar atomkolonnerna i platina partikeln som ljusa punkter. b) En färgglad version av a). Intensiteten i varje atomkolonn beror på antalet platinaatomer i kolonnen och blir högre ju fler atomer. Det finns kolonner med endast en atom längs ytan på partikeln. c) Pilarna visar storlek och riktning på atomernas förflyttning från nominell referensposition.

av förflyttningen hos atomer bestämmer polarisationsriktningen och domäner med olika riktningar kan bildas. Vid studier av PZT ($\text{PbZr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8}\text{O}$) detekterades atomära förflyttningar med en precision som var bättre än 10 pm och avslöjade domänstrukturen i materialet (Science, vol 331 (2011) 1420).

Nu i juni rapporterade Nature News (Nature, vol 582, 11 June 2020) om banbrytande TEM-resultat med sann atomär upplösning i bilder av proteiner. Forskarna hade lyckats avbilda inte bara proteinets atomer, inklusive enskilda atomer av kol, kväve och syre, utan även vattenmolekyler i fickor i proteinet. Just att avbilda vatten i proteinet är viktigt för strukturbaserad utveckling av nya läkemedel eftersom det ger ny kunskap om hur läkemedlet kan förflytta vattenmolekyler och därmed potentiellt leda till minskade biverkningar. Kry-TEM används nu intensivt världen över för att hitta lösningar för att få SARS-CoV2 under kontroll.

Figur 2 visar en schematisk illustration av en studie vid Institutionen för fysik, Chalmers, av hur ett extremt högt elektriskt fält kan förändra ordningen hos de allra yttersta atomerna på en guldtyta. Färgerna kring det konformade guldprovet representerar det elektriska fältet där den koniska geometrin förstärker fältet vid konens topp. Under *in-situ*-experimentet dess inverkan på guldets atomära struktur filmades. De yttersta atomskikten av guld övergick från ett ordnat till oordnat tillstånd vid fältet 21 000 megavolt per meter. Övergången kunde kontrolleras, var reversibel och reproducerbar (Phys. Rev.



Figur 2. En schematisk illustration av det intensiva elektriska fältet vid toppen på en kristallin nanokon av guld. När fältet når ett kritiskt värde övergår ordningen hos de yttersta guldatomerna från den kristallina strukturen till en oordnad struktur. Det kritiska fältet var 21 000 megavolt per meter. Övergången var reversibel och reproducerbar. Bild: Alexander Ericsson.

Mat. Vol 2, (2018) 085006). Filmerna finns på <https://journals.aps.org/prmaterials/abstract/10.1103/PhysRevMaterials.2.085006#supplementa>. När fältet ökades till 29 000 megavolt per meter startade fältemission av guldatomer från tippen.

I elektroniska komponenter med små dimensioner styrs funktionaliteten av starka, mycket lokalt begränsade elektriska fält, t.ex. de inbyggda elektriska fälten vid p-n-övergångar. För att optimalt kunna utnyttja de fysikaliska egenskaperna hos kvantkomponenter är det viktigt att kunna direkt visualisera dessa starkt begränsade elektriska fält och optiska resonanser. Det är även viktigt att studera hur de svarar på yttre påverkan, av t.ex. elektriska fält och ljus, för att förstå, kontrollera och optimera deras egenskaper. Det har nu blivit möjligt att avbilda den geometriska fördelningen av elektriska fält med atomär upplösning och optiska resonanser med nanometerupplösning dels genom den förbättrade upplösningen och även via utvecklingen av nya *in-situ*-experiment och detektorer.

TEM använder informationen i växelverkan mellan elektronstrålen i TEMet och materialets atomer och dess elektroner. Möjligheterna till olika typer av studier och information att extrahera är mångfaldiga och vittomfattande. Vi har bara skrapat på ytan i denna korta artikel. Allt tyder på att vi har nya banbrytande upptäckter i antågande.

EVA OLSSON
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Röntgenvetenskap med visionen att filma makromolekyler

Makromolekyler, såsom proteiner (polypeptider) och plaster (syntetiska polymerer), är viktiga byggstenar i vår värld. I organismer är proteiner involverade i en myriad av biologiska processer och funktioner, till exempel DNA-replikering, cellsignalering, molekyltransport och enzymatisk katalys.

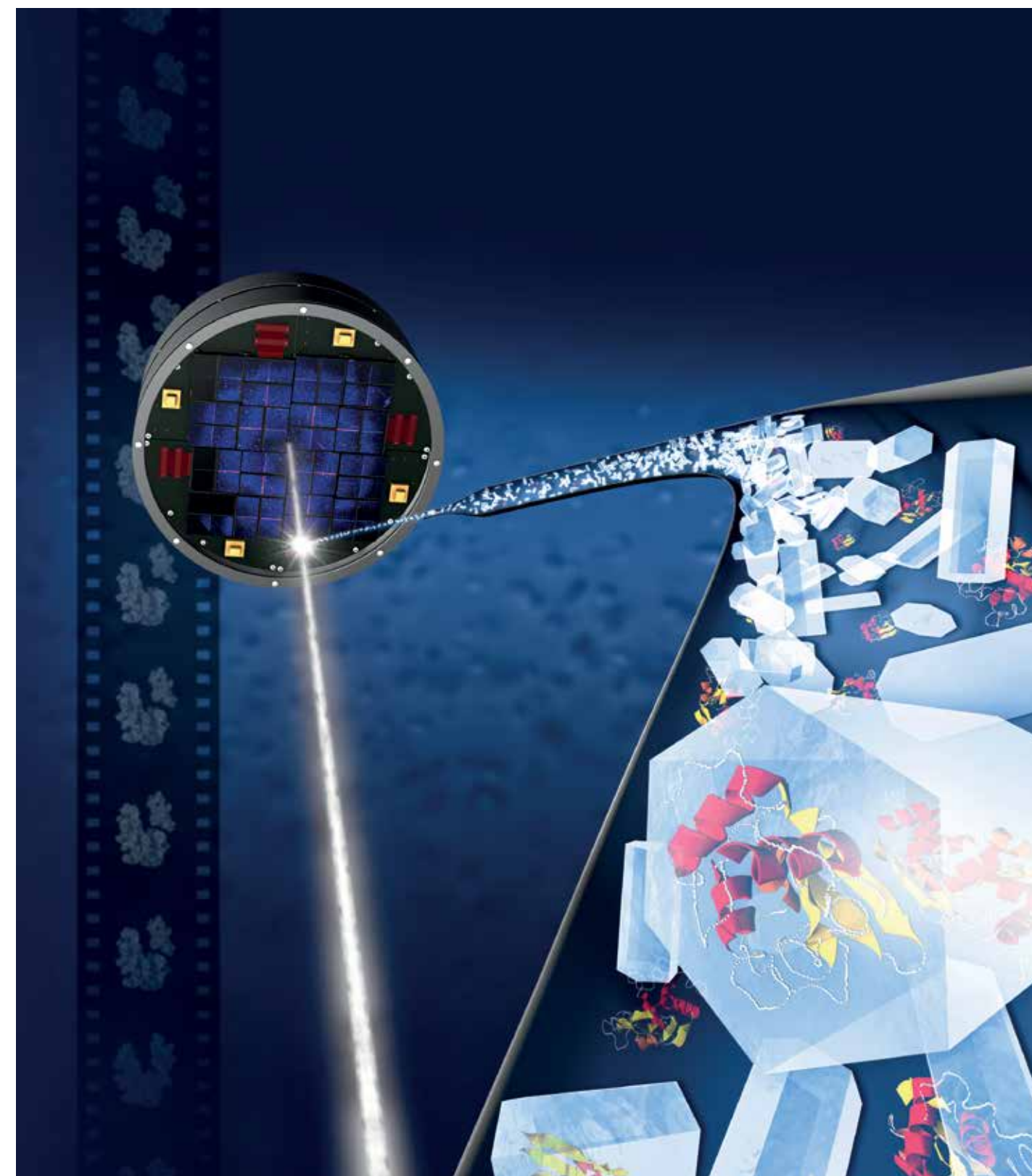
Vill man begripa och kunna modifiera makromolekylers funktion måste man förstå deras struktur såväl som dynamik. Ett idealiskt sätt att få insikt i denna mikroskopiska värld vore att filma makromolekyler i realtid, men vad krävs egentligen för att kunna göra detta?

Kortfattat krävs ett avbildande system med upplösning hög nog att kunna identifiera enskilda atomer och en exponeringstid kort nog att kunna följa deras rörelser i realtid. Den som kan grunderna i optik vet att detta låter omöjligt för ett konventionellt ljusmikroskop, eftersom upplösningen begränsas av ljusets våglängd. Vi söker således en våg vars våglängd är minst lika kort som avstånden mellan atomer, vilket motsvarar cirka 0,1 nanometer (10^{-10} m). Tar vi proteiner som exempel så har 89 procent av de hundratusentals publicerade strukturerna i proteindatabanken (PDB) strukturbestämts med röntgenkristallografi. Röntgenljus är därför en god kandidat för makromolekylär filminspelning. Samtidigt har proteiner en så kallad *hierarkisk dynamik* som spänner över många olika tidska-

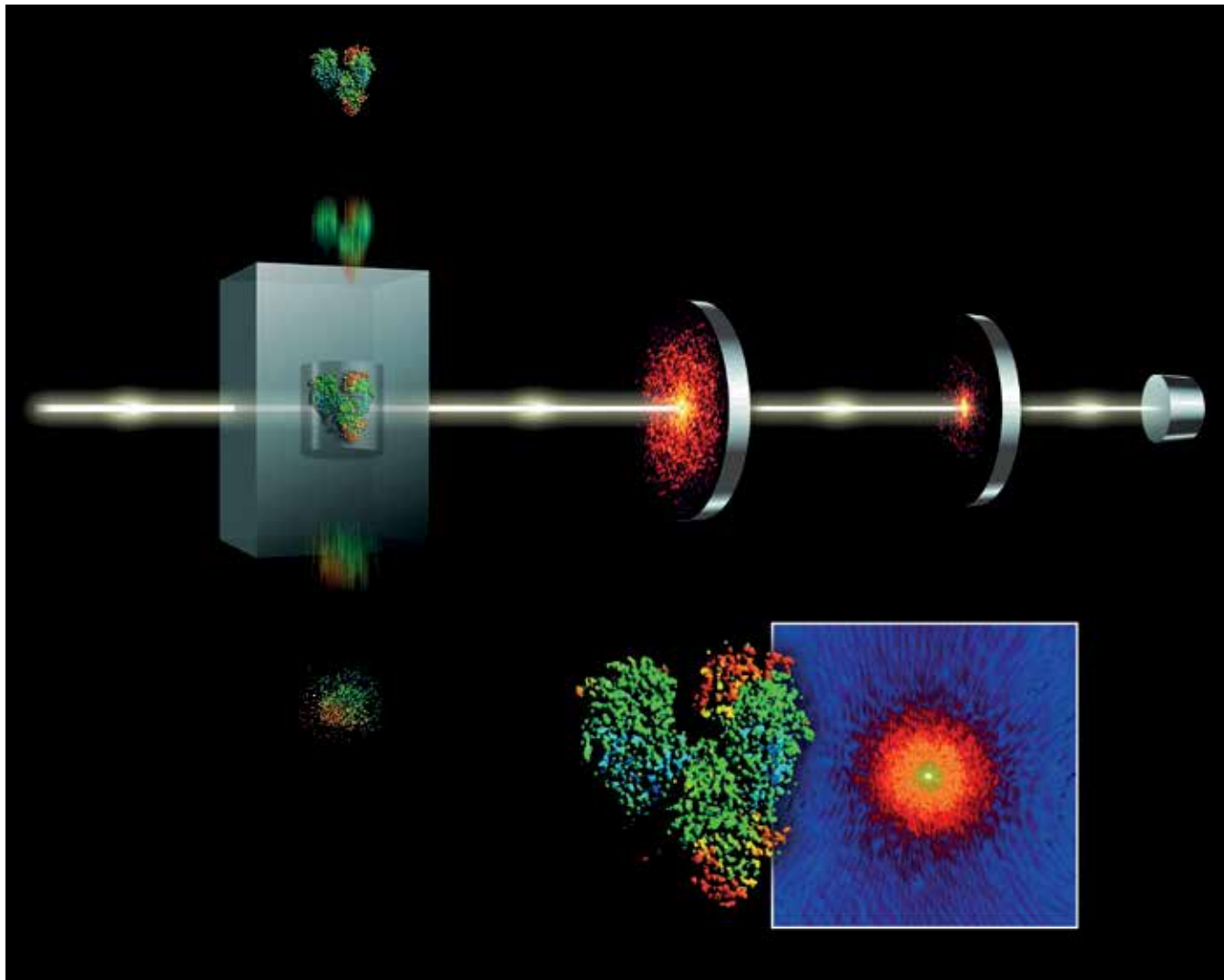
lor, från storskaliga strukturförändringar som kan ta mikrosekunder eller längre till enskilda vätebindningsbrott i det ständigt rörliga nätverket av vattenmolekyler omkring proteinet som ändras på ett fåtal pikosekunder (10^{-12} s). För att undvika rörelseoskärpa i makromolekylära filmer av komplexa förlopp krävs därför röntgenpulser kortare än de snabbaste förändringarna i makromolekylens struktur.

Detta blev möjligt i början av 2000-talet då frielektronlaser började tas i bruk i röntgenområdet av det elektromagnetiska spektrumet. Först blev FLASH vid DESY i Hamburg verksam i det mjuka röntgenområdet 2005, sedan demonstrerade LCLS vid SLAC National Accelerator Laboratory lasring i det hårda röntgenområdet 2009, vilket är det som krävs för att filma makromolekyler. Sedan dess har ett tiotal frielektronlaser byggts

(eller håller på att byggas) i USA, Europa och Asien, med ett stadigt ökande forskningsintresse som återspeglas i antalet publikationer som publiceras årligen från de storskaliga röntgenanläggningarna. Dessa *röntgenlaser* är egentligen inga riktiga laser. De baseras inte på den grundläggande principen – ljusförstärkning genom stimulerad emission av strålning – som förutspåddes av Albert Einstein redan under tidigt 1900-tal och senare skapat akronymen laser. Istället baseras frielektronlaser på spontan emission från relativistiska, obundna elektroner som växelverkar med den elektromagnetiska strålningen så att laserliknande egenskaper uppstår. Frielektronlaser skapar ultrakorta pulser med hög koherens och extremt hög spektral radian under pulsens längd, flera storleksordningar högre än någon annan röntgenkälla. Dessa



Figur 1. Diffraktionsmönster av proteinkristaller klipps ihop till en makromolekylär film. Illustrationen är gjord av Gregory Stewart vid SLAC National Accelerator Laboratory och publiceras med tillstånd av upphovsmannen.



Figur 2. Schematisk bild av experimentell uppställning vid koherent diffraktiv avbildning av protein. Illustrationen är gjord av Gregory Stewart vid SLAC National Accelerator Laboratory och publiceras med tillstånd av upphovsmannen.

egenskaper visar sig vara avgörande om man vill ta en stillbild av en makromolekyl. Vi kan jämföra detta med en kamerablixt i mörker som under ett kort ögonblick lyser upp ett okänt, rörligt objekt. Blixtens varaktighet avgör hur snabba rörelser som kan avbildas skarpt. Hos frielektronlasrar är pulslängden kortare än hundra femtosekunder (10^{-13} s), vilket ungefär motsvarar den tid det tar för ljus att färdas tjockleken av ett tunt hårstrå i vakuum. Den spektrala radiansten representeras av blixtens ljusstyrka som avgör hur små detaljer som kan detekteras på objektet, medan koherensen bestämmer

kontrasten i bilden av objektet om det avbildas diffraktivt.

Borde inte ett ljuskänsligt objekt förstöras när det utsätts för en sådan blixt?

Det primära fenomenet som möjliggör röntgenlasrarna för avbildning brukar kallas *diffraktion före destruktion*. Det finns en inneboende begränsning inom mikroskopi och diffraktion som är att ju högre upplösning man vill ha i avbildningen desto högre dos av strålningen måste man utsätta provet för. Kolbase-rade makromolekyler har oftast en hög strålningskänslighet där alltför hög strål-

dos resulterar i irreversibla strålskador i den molekylära strukturen. Därför utförs statiska studier på makromolekyler med atomär upplösning normalt sett vid kryogen temperaturer, eftersom den låga temperaturen minimerar strålskadorna. Det har visats både teoretiskt och experimentellt att med en röntgenlaser går det att mäta diffraktion till hög upplösning även vid rumstemperatur, då de ultrakorta röntgenpulserna hinner växelverka med provet innan strålskadan hunnit förändra den molekylära strukturen. Makromolekylär filminspelning är således en destruktiv process där ett nytt, identiskt

prov måste förberedas inför varje avbildning vid en specifik tidpunkt i bildserien.

Vilka tekniker har utvecklats för att utföra detta?

Precis som vid tidigare studier av statiska proteinstrukturer är det röntgenkristallografi som dominerar för tidsupplösta studier av proteiner. Röntgenkristallografi utnyttjar det faktum att kristaller har regelbundna strukturer (gitter) som genom diffraktion samlar röntgenljuset i specifika reflexer på detektorn. Genom att precis mäta reflexernas intensitet och position på detektorn kan atomernas positioner i makromolekylen bestämmas med hög noggrannhet. Detta kräver att provet kristalliseras, vilket normalt sett inte är makromolekylens naturliga fas i organismer eller i material. Det gör att vissa typer av makromolekyler, till exempel membranproteiner, kan vara extremt svåra att kristallisera och tiotusentals kristallisationsförhållanden måste sällas ut innan stabila kristaller kan erhållas. Trots detta är röntgenkristallografi en väletablerad teknik vid röntgenlasrar då den utförs seriellt på ett förnybart prov för strukturbestämning av proteiner (illustrerat i figur 1). Den stora begränsningen vid tidsupplösta studier är att det krävs någon slags triggermekanism som likt en klappa vid filminspelning startar händelseförloppet i makromolekylen. Denna trigger måste ge en tidsupplösning på femtosekunds-nivå, vilket idag endast är möjligt med optiska laserpulser. Således är de flesta tidsupplösta studier gjorda på fotoaktiverbara proteiner som är en minoritet av alla proteiner. Ett av parad-exemplen är de experiment som har gjorts på fotosystem II, ett proteinkomplex som spjälkar vatten till vätejoner och syre i fotosyntesen, där högupplösta (2 Å) strukturer har kunnat uppmätas på alla fem metastabila tillstånd i den reaktionscykel som uppstår då fyra fotoner absorberas för att skapa en enskild syremolekyl. Fotoenzymer är på god väg att bli den första gruppen av makromolekyler där filminspelning med atomär upplösning blir verklighet och banar väg för en detaljerad förståelse av enzymernas funktion.

Vad gör man med de makromolekyler som man inte vill eller kan kristallisera?

Om källans koherens är hög går det att avbilda även icke-kristallina material med röntgendiffraktion, vilket brukar kallas för *koherent diffraktiv avbildning* (tekniken visas i figur 2). Precis som för röntgenkristallografi kräver *koherent diffraktiv avbildning* ett förnybart prov med identiska partiklar för att *diffraktion före destruktion* skall kunna utnyttjas. Problemet är att många biologiska partiklar (till exempel celler) är inneboende heterogena och medelvärdesbildningen över många olika partiklar gör att man förlorar information, men det finns undantag. Viruspartiklar har ofta väldigt reproducerbara proteinskal (kapsider) och flera olika typer av virus har därför använts som biologiskt relevanta testobjekt för att utveckla *koherent diffraktiv avbildning* vid röntgenlasrar. Det är fortfarande en ung teknik som kräver ytterligare teknikutveckling i form av skräddarsydda detektorer och injektorer, men ett stort internationellt konsortium framtaget för att utveckla tekniken nådde nyligen en upplösning <10 nm för bakteriofagen PR772 som är 70 nm stor. Tekniken börjar således närma sig den upplösning på 1–2 nm där den skulle kunna börja ge biologiskt relevanta resultat på tidsupplösta studier av makromolekyler, men kräver ofta lång och komplex dataanalys för att klassificera och orientera diffraktionsmönster som sedan måste återskapas till en 3D-partikel med hjälp av iterativ fasrekonstruktion. För att kringgå fasrekonstruktionen, som kan ge upphov till icke-intuitiva artefakter (likt smuts på en lins) när diffraktionsmönstren har begränsad kvalitet, kan man använda sig av holografi med referenspartiklar som löser fasproblemet. Detta förenklar dataanalysen avsevärt och är ett alternativ för makromolekyler som intar specifika geometrier där fasproblemet inte har någon unik lösning, såsom iterativ fasrekonstruktion av 1D-objekt.

Att filma makromolekyler i realtid är en vision som börjar närma sig verklighet efter det att röntgenlasrar tagits i bruk på flera kontinenter. Ultrakorta röntgen-

pulser och fenomenet *diffraktion före destruktion* gör det möjligt att ta stillbilder på molekyler med flera olika tekniker. Förutom de krav som ställs på exponeringstid, upplösning och provets renhet begränsas nuvarande tillämpningar ofta av att det krävs en trigger med tidsupplösning på femtosekunds-nivå, vilket idag endast är möjligt med optiska laserpulser. Redan idag kan kortare filmer på kristalliserade, fotoaktiva proteiner spelas in med atomär upplösning. Utveckling av alternativa ultrasnabba triggermekanismer tillsammans med skräddarsydda detektorer och injektorer för *koherent diffraktiv avbildning* kan på sikt leda till att filmer av proteiner spelas in i deras naturliga tillstånd. Även om dessa filmer aldrig kommer att nå bioduken eller vinna en Oscar, kan de förhoppningsvis leda till nya Nobelpris och en bättre förståelse av vår värld. Kanske kommer denna typ av grundforskning, där det redan varit flera riktade utlysningar mot studier av coronaviruset (SARS-CoV-2) som orsakar covid-19, göra oss bättre förberedda på att hantera framtidens sjukdomar.

JONAS A. SELLBERG
TILLÄMPAD FYSIK, KTH

Finsk gymnasiefysik



Stark central och lokal styrning – i kombination med stor individuell frihet

Precis som Danmark och Norge har Finland behållit de nationellt framtagna studentskrivningarna med centraliserad rättning. Men parallellt med den centrala styrningen har de lokala utbildningsanordnarna stor makt. Det är på kommunnivå som en del av kurserna utformas, och det är här det beslutas vilka moment som läggs i vilken årskurs. Samtidigt har de finska eleverna en mycket stor frihet när de gäller vad studierna ska omfatta.

Fysikaktuelltts serie om hur gymnasiefysiken är utformad i de olika nordiska länderna* har turen nu kommit till Finland. Finland har under många år legat högt upp i resultatlistorna när jämförelser mellan olika länders skolresultat presenterats. Även om placeringarna haft en tendens att dala under de senaste åren ligger Finland fortfarande högre än vad Sverige gör. I till exempel PISA 2018, som jämför 15-åringars kunskaper, har Finland, när det gäller naturvetenskap, ett medelvärde på 522 p medan Sverige nådde upp till 499 p.

Att även spetskunskaperna på gymnasienivå ligger högt i fysik i Finland vittnar resultaten på IPhO, den internationella fysikolympiaden, om. Finland har här en imponerande medaljskörd och fick till exempel en guldmedalj på senaste IPhO, den i Tel Aviv 2019.

*) * Se FA 19:3 för artikeln om Danmark och FA 20:1 för artikeln om Norge.

Som en orsak (av flera) till de goda finska skolresultaten har avsaknaden av plötsliga, stora förändringar inom skolområdet pekats ut. De förändringar som gjorts över tid har tagits i små steg, bit för bit. Ett exempel på detta är den förändring som just nu sker på gymnasienivå. "Grunderna för gymnasiet läroplan 2015" ska nästa hösttermin ersättas av "Grunderna för gymnasiet läroplan 2019", (LP2019). För fysikämnet del blir den viktigaste förändringen att antalet kurser som är obligatoriska för alla elever utökas från en till två. En ny kurs, *Fysik, miljö och samhälle*, ska komplettera den sedan tidigare obligatoriska kursen *Fysiken som naturvetenskap*. Tilläggsas bör dock att de finska kurserna är små sett till timantalet, i genomsnitt 38 timmar, där "timmar" ska utläsas som 45 minuters effektiv undervisningstid. Men för att en student ska anses ha fullgjort gymnasiet hela "lärokurs" ska denne idag ha läst minst 75 kurser! I den nya läroplanen

LP2019 ersätts kurserna av moduler som tilldelas så kallade studiepoäng, det som tidigare utgjorde en kurs omfattar 2 studiepoäng (sp), och hel lärokurs ska innehålla minst 150 sp.

Innehållet i fysikkurserna

Förutom den obligatoriska kursen finns det sex nationella fördjupningskurser i fysik: *Värme, Elektricitet, Kraft och rörelse, Periodisk rörelse och vågor, Elektromagnetism* och *Materia och strålning* (rubrikerna i LP 2019 blir i princip desamma men orden *energi, ljus* respektive *kvantisering* tillförs tre av dem). I den först nämnda kursen är exempelvis ett av målen att den studerande ska "kunna undersöka fenomen som gäller materiens termodynamiska tillstånd och förändringar i aggregationsstillstånd", och "gasernas tillståndsförändringar, värmeutväxling och tryck" hör till den centrala innehållet. Alla kurser inleds med målet att den studerande ska kunna använda och tillämpa kursens begrepp på fenomen i det dagliga livet, miljön, samhället och tekniken. I övrigt varierar målformuleringarna, i vissa kurser tas experimentellt kunnande upp, i andra exempelvis olika förmågor kopplade till modellbyggande.

Relativitetsteori dyker inte upp i någon av kurserna, och astronomiinnehållet är tunt; förutom "universums strukturer och uppkomst" i den obligatoriska kursen och "perspektiv på fysikens och kosmologins utveckling" i den sista kursen finns det ingenting. Precis som i den svenska gymnasiefysiken saknas stråloptik och växelströmskretsar.

Som komplement till de nationellt utformade kurserna finns också kurser som utformas av skolhuvudmännen, och här kan skolan ha en egen kurs om till exempel relativitetsteori eller elektronik. Det är standard att lägga in en kurs där innehållet består av en repetition av

de nationella kurserna, tillsammans med träning i att lösa uppgifter av de slag som finns i studentproven. Dessutom brukar det finnas en projektkurs, med målet att "väcka studerandens intresse för fortsatta studier i fysik".

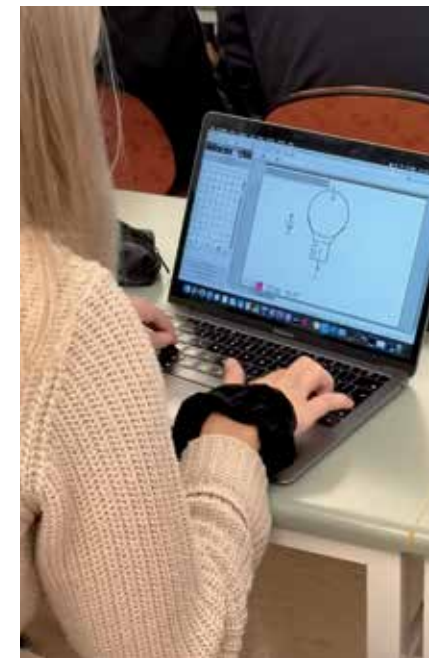
Betyg sätts efter varje kurs, och när alla kurser avslutats ges ett ämnesbetyg som utgörs av medelvärdet av kursbetygen.

Studentexamen

För att få ut en studentexamen behöver en elev, förutom att ha slutfört gymnasiet lärokurs, även ha skrivit examensprov i minst fyra ämnen. Proven som används för studentexamen tas fram av ett fristående organisation, Studentexamensnämnden. Varje prov ges vid två tillfällen per år, ett i månadsskiftet mars – april och ett i slutet av september. Eleverna kan välja när de vill skriva ett visst prov. Proven, som är avgiftsbelagda, skrivs på egen dator som eleverna ska ha med sig, och arrangemangen är sådana att uppgifterna blir tillgängliga först när provet startas.

Prov i modersmålet är obligatoriskt, i övrigt finns ganska stor frihet gällande i vilka ämnen en elev kan skriva sina prov. Fysikprovet verkar vara ett relativt populärt val: I våras skrev drygt 8 300 elever provet i fysik och det var bara ämnena modersmål finska, engelska samt kort och lång kurs i matematik som drog till sig fler skrivande. Fysikprovet har också ökat i popularitet under de senaste tio åren, våren 2011 var det bara drygt 5 200 elever som genomförde fysikprovet. Kön fördelningen är någorlunda jämn, i våras var andelen flickor 44 %. Även här har det skett en ökning sedan 2011 då andelen flickor låg på 24 %.

Provtiden är sex timmar – och kaffeservering kan ingå! En examinand kan, även om det finns vissa begränsningar, göra om både underkända och godkända prov. Provpresentationerna granskas och bedöms preliminärt av en lärare på det egna gymnasiet som också markerar gjorda fel. Sedan granskas och bedöms provpresentationerna slutligt av Studentexamensnämnden. Poänggränserna för de olika betygsstegen, vitsorden från *laudatur* (berömlig) till



Digitala krafter på Ålands lyceum.

improbatur (underkänd), tar nämnden beslut om när all bedömning är slutförd.

Fysikprovet

Studentexamensprovet i fysik är tredelat och kan maximalt ge 120 poäng. Grafritande och symbolhanterande räknare är tillåtna under hela provtiden och Geogebra, LoggerPro och tabeller finns i programvaran de får tillgång till. Den första delen består av 10 flervalsuppgifter, där varje uppgift kan ge 0 eller 2 poäng. Våren 2020 var upplägget följande: I de första fem ska examinanden avgöra vilket fenomen, till exempel "likformig rörelse", som visas i en kort film. I de fem följande gäller det istället att välja rätt storhet. exempelvis: "Den storhet som beskriver styrkan hos en radioaktiv strålningskälla är..."

I både den andra och den tredje delen får examinanden välja ut vilka uppgifter han eller hon vill lösa. I del två ska fyra av sju uppgifter väljas, och i del tre ska två av tre väljas. Uppgifterna i del två kan vardera ge maximalt 15 poäng, de i del tre maximalt 20 poäng.

I det prov som gavs i våras (tillgängligt på <https://svenska.yle.fi/dataviz/abimix/2020/var/FY-sv/>) utnyttjades provets

digitala form genom att en av uppgifterna i del två byggde på att material i form av simuleringsmöjligheter då kan bifogas. Vilofrictionskoefficienten för en låda på en vågrät bana skulle bestämmas, och examinanden gavs möjlighet att variera massan hos den vikt som via tråd och trissa kunde användas för att accelerera lådan.

Uppgifterna uppvisar stor bredd när det gäller såväl innehåll som hur de ska lösas. En uppgift om interferens bestod helt enkelt av deluppgifter av kortsvars- och flervalskaraktär. En annan utgick från en tidningsnotis om ett hopp utan fallskärm, och här gällde det bland annat att kunna "redogöra för och motivera vilka felaktigheter angående energin" som fanns i texten. De övriga uppgifterna handlade om: Havsnivåhöjning, vridspoleinstrument, en fallande stavmagnet, röntgenstrålning, specifik laddning för en jon, gravitationsvågor och ångtvätt. Medan ångtvättsuppgiften mynnade ut i en sluten fråga, "Hur stor är den effektiva elektriska strömmen som flödar genom ångtvättens elektriska motstånd..." var jonuppgiften helt öppen, "Beskriv en metod med vilken man experimentellt kan bestämma den specifika laddningen hos en okänd jon..."

Eftersom examinanderna får välja vilka uppgifter de vill arbeta med ges de således goda möjligheter att visa upp sina starkaste sidor, samtidigt som det krävs ett brett kunnande för att nå de högsta betygsnivåerna.

– Studentexamensprovet känns mer inspirerande nu då fysikprovet blivit digitalt, menar Tom Rydell, lärare i fysik vid Ålands lyceum. Det har blivit så mycket mångsidigare.

För Lasse Franti, som undervisar på gymnasiet i Nyslott (Savonlinna), är det nu dags att förbereda inför höstens studentskrivning i fysik:

– Nästa vecka ska vi göra i ordning för proven igen. Tre skrivlokaler betyder 6 servrar, 12 nätverksväxlar, 2 oberoende kraftkällor så proven kan fortgå även om det blir elavbrott, 7 elcentraler och mer än en kilometer el- och nätverkskablar.

ANNE-SOFIE MÅRTENSSON
HÖGSKOLAN I BORÅS

3D-utskrifter och posterutställning som främjar fysiklärandet

Förstaårsstudenterna vid civilingenjörsprogrammet i teknisk fysik på Chalmers lär sig använda CAD för att designa en fysikleksak. Själva leksaken skriver de sedan ut med hjälp av 3D-skrivare och presenter tillsammans med en poster. Här vill vi i korthet förmedla våra erfarenheter från momentet i kursen Fysikingenjörens verktyg. Den viktigaste lärdomen: aktivt och autentiskt lärande är roligt och främjar fysiklärandet.

En komponent i Chalmers civilingenjörsprogram i teknisk fysik är att lära sig att använda CAD och 3D-skrivare – programledningen ser denna färdighet som grundläggande för en färdig ingenjör. Kursdesignen i *Fysikingenjörens verktyg* drivs av övertygelsen att studenter lär sig den sortens ingenjörsfärdigheter bäst genom praktisk övning utifrån en princip om aktivt lärande, snarare än genom föreläsningar eller att läsa i en kursbok. För om åren fick studenterna i det närmaste total frihet i designval av artefakt. Det upplägget gjorde visserligen att de lärde sig att använda CAD, och dessutom själva startade en förening med full tillgång till 3D-skrivare, men vi såg tydliga begränsningar i studenternas fysiklärande. Med inspiration av Fysiklek (se FA 2020:1) valde vi för två år sedan att övergå till att låta studenterna designa en fysikleksak. Aktiva och engagera(n)de posterpresentationer fick ersätta den beprövade – och i många studenters tycke – tråkiga akademiska presentationen av mer klassiskt snitt. I sin posterpresentation ska studenterna tydligt redogöra för leksakens underliggande fysikaliska principer. Postern är också ett sätt att introdu-

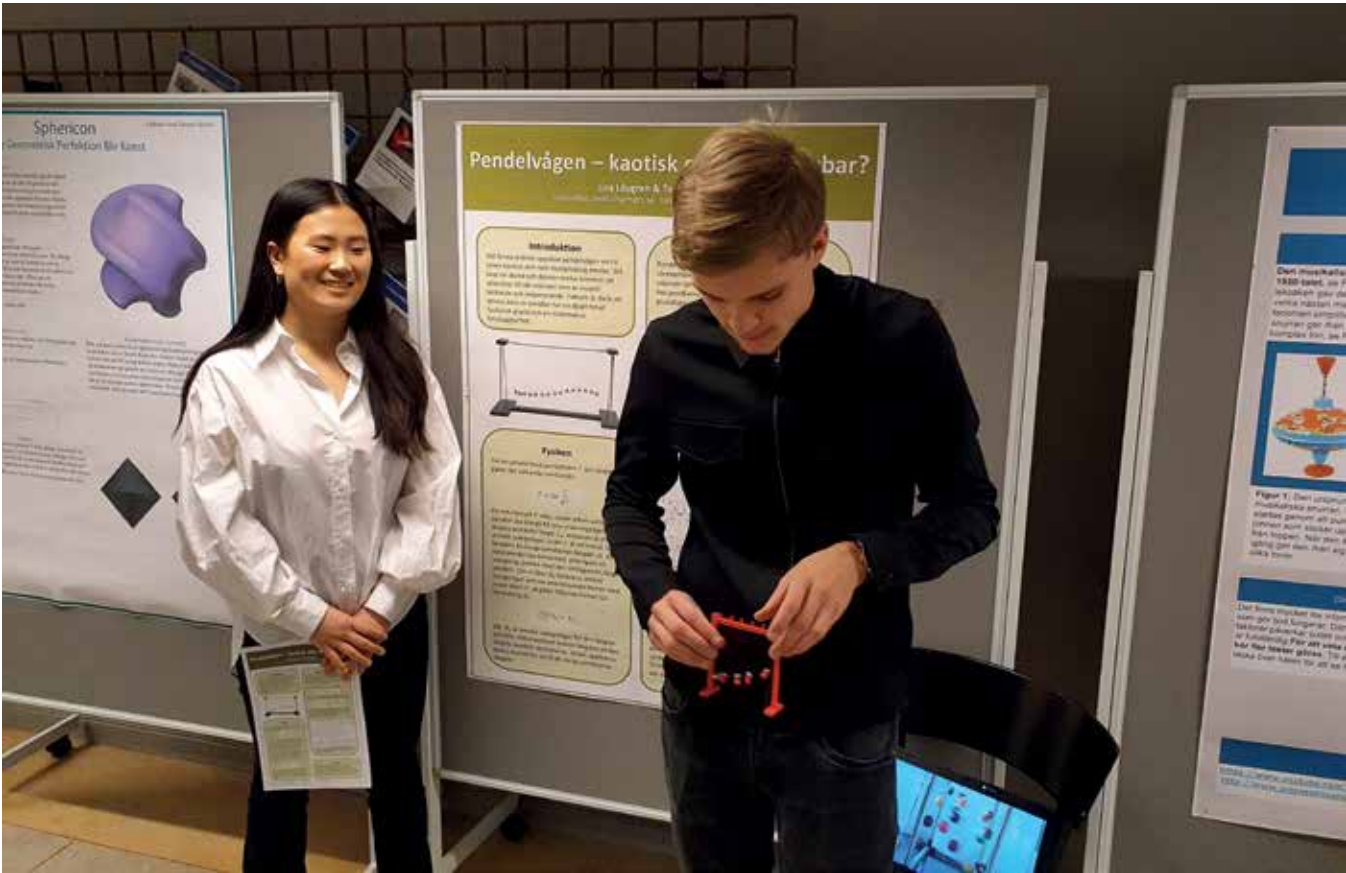
cera en kommunikationsgenre som våra studenter inte får annan träning i under sin utbildningstid. För att maximera studenternas motivation erbjuds också ett fint pris: de bästa bidragen belönas med en veckas studieresa till Deutsches Museum i München.

Kursdesignen i ett nötskal:

- 1 timme introduktion till projektet, fysikleksaker och posterpresentation
- 15 minuter grundläggande introduktion till CAD och 1,5 timme upptäcktsfärd på egen hand i CAD
- 15 minuter detaljerad instruktion till CAD och 1,5 timme konstruktion av kapsylöppnare
- Tre pass om vardera 2 timmar där studenterna parvis kreativt designar en fysikleksak
- 3D-utskrift av leksaken
- 2 timmar föreläsning om posterdesign, och vad som kännetecknar bra ingenjörspresentationer
- 2 timmar workshop med feedback på poster och hjälp att förstå och förklara fysiken
- 2 timmar öppen posterpresentation

Skaparglädjen hos studenterna är stor och kursdesignen ger utrymme för verklig kreativitet; vi ser en väldigt stor variation av leksaker. Ett axplock av det som har designats är gyroskop, tippetoppsnurror, Pythagoras bågare, keltiska stenar, en pendelvåg, en näsflöjt och till och med en trebuchet. Presentationerna engagerar och posterformatet möjliggör en härlig dynamik där studenterna cirkulerar i lokalen för att titta på sina kamraters poster och leksaker – inte sällan i sällskap med fjolårsstudenter och lärare och forskare i fysikhuset.

Kursdesignen verkar också leverera i förhållande till lärandemålen: vi ser att studenterna faktiskt lär sig att utföra grundläggande CAD-modellering, att göra enkla 3D-utskrifter och designa och presentera en poster. Genom enkäter och intervjuer med studenterna kan vi också konstatera att studenterna generellt upplever uppgiften som autentisk och att de får en känsla av hur det är att tillämpa fysik som ingenjör; designprojektet verkar också öka mångas intresse för fysik.



Ett anmärkningsvärt fynd i vår utvärdering är emellertid att studenterna inte tycker att de lär sig någon ny fysik genom projektet. De leksaker de har tagit fram och deras förmåga att på ett trovärdigt sätt kommunicera fysiken bakom leksakerna visar tydligt att den självbild inte stämmer. Utifrån ett grupperspektiv kan studenterna omöjligen sedan tidigare ha detaljerade kunskaper om Magnuseffekten, stirlingmotorn, Coandaeffekten osv. Dessutom vittnar arbetet med postern om en utvecklad förmåga att välja ut relevant vetenskapligt innehåll, använda ett stringent språkbruk och få text att harmoniera med visuell information – viktiga färdigheter hos framtida fysikingenjörer, tycker i alla fall vi, och definitivt en aspekt av att ”kunna” fysik. Vad som blir tydligt är alltså att studenterna har en förhållandevis snäv syn på kunskap och lärande inom ramen för fysikämnet: utgångspunkten är att det är först det som man ser på en föreläsning eller tentamenspluggar som klassificeras som lärbart ny fysik. Kunskap som man lär sig genom

aktiv handling – det disciplinära hantverket – värdesätts inte på samma sätt. Lite självkritiskt kan vi konstatera att här har vi, som disciplin, kanske missat att kommunicera en fundamental aspekt av vad det innebär att lära fysik, och i förlängningen vad det innebär att vara fysiker.

JONATHAN WEIDOW,
MAGNUS KARLSTEEN,
HANS MALMSTRÖM
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Lisa Lövgren och Tomas Ture, studenter i årskurs 1 vid teknisk fysik på Chalmers, visar sina 3D-utskrivna pendlar som skapar olika mönster av vägrörelser. Lisa och Tomas sammanfattar sina upplevelser: ”Vi tycker att projektet med fysikleksaken var roligt i den meningen att vi fick göra något annat än att lösa typiska räkneuppgifter. Det var också nödvändigt eftersom vår framtid kommer innehålla scenarion där förmågan att kunna kommunicera är viktig.”



Det svenska fysikolympiadlaget, från vänster: Ask Hällström, Hugo Bäckman, Oskar Ciardi, Lennart Küssner och Rebecka Mårtensson.

Första pris och dubbla guld till Lennart Küssner

Lennart Küssner från Uddevalla gymnasieskola fick i sommar som förste svensk en guldmedalj i den europeiska fysikolympiaden, EuPhO. Dessförinnan hade han även plockat hem ett guld i den nordisk-baltiska fysikolympiaden, NBPhO, och därmed tagit sig upp på första platsen av årets upplaga av Wallenbergs fysikpris. Någon medalj från den internationella fysikolympiaden, IPhO, kunde det dock inte bli då denna ställdes in!

Den pågående coronapandemin fick konsekvenser även för de internationella tävlingar för gymnasister, vetenskapsolympiader, som brukar hållas i juli varje sommar. Vilnius var tänkt som arrangörsort för den internationella fysikolympiaden, men i slutet av maj meddelade organisatorerna att arrangemanget var omöjligt att genomföra under rådande omständigheter och att det därför flyttades fram till nästa år.

Istället blev det den europeiska fysikolympiaden som la beslag på den lediga juliveckan, men då med en utlokaliserad tävling: Lagen samlades nationsvis och videoövervakades under hela tävlingstiden. Det fanns även viss möjlighet att låta de tävlande vara kvar hemma om detta behövdes utifrån gällande reserestriktioner. Dessutom öppnades EuPhO för deltagare från hela världen. Hela 54 länder och över 200 gymnasister, från Mexiko i väster till Singapore i öster, deltog i årets tävling.

Olympiaden bestod som vanligt av två moment som tilldelades varsin dag, dels en teoretisk del där det gällde att lösa tre teoriuppgifter, och dels en experimentell del.

Kattögat – ett problem på EuPhO

I den första teoriuppgiften gällde det att undersöka vad som händer då en lång och tunn solenoid förs genom en cirkulär slinga som kopplats till ett batteri. I den andra gällde det att bestämma vilken maximal hastighet ett tungt föremål kan få om det accelereras med hjälp av en viss mekanisk snurra. Här utmärkte sig Lennart genom att ge en extra kreativ lösning till uppgiften, och för detta belönades han med ett av olympiadens specialpris.

Den sista uppgiften uppfattades som i särklass svårast, och då inte minst av de svenska deltagarna. Stråloptiken är numera bortplockad från våra gymnasiekurser, och i denna uppgift gällde det att ha full koll på hur ljusstrålar påverkas av linser även då dessa har vissa icke-ideala egenskaper. I uppgiften beskrevs en linsuppställning använd för att modellera ett kattöga som belyses av en ljuskälla. Utifrån ett foto av "ögat" med en tillhörande graf visande ljusintensiteten i pixlarna utmed en linje i kamerans sensor skulle avståndet mellan ljuskällan och kameran bestämmas.

Experiment? Simuleringar!

Hur experimentmomentet skulle kunna genomföras var förstas en särskild utmaning för arrangörerna. Hur skulle experimentutrustning kunna vara på plats runt om i världen utan att det i förväg läckte ut vad tävlingsuppgifterna handlade om? Lösningen blev att helt slopa experimentutrustning och istället använda sig av simuleringar. I ett specialprogram som gick att öppna först när tävlingen startade

Emil Grunning från Nils Ericsgymnasiet i Trollhättan sitter hemma vid egna skrivbordet, men övervakad via Zoom när han arbetar med den nordisk-baltiska olympiadens experimentella problem: Hur varierar resonansfrekvensen med volymen?

kunde de tävlande välja vilka ingångsvärden de ville pröva och de fick därefter utgångsvärden tillbaka. Sedan fick de, precis som brukligt vid olympiaderna, skriva tabeller och rita grafer för hand.

Olympiaddeltagarna fick två olika simuleringsuppgifter: I den första gällde det att bestämma läget för en okänd laddning genom att skjuta elektroner mot den, och i den andra att bestämma innehållet i en svart låda genom att skaka på den.

– Det blev lite mer av dataspel över experimentproblemen på det här sättet, tyckte Lennart.

Men simuleringsuppgifter lär vi nog se mer av på kommande olympiader. Billig utrustning som klarar vårdslöst handhavande utan att ta skada, och uppgifterna kan presenteras med hög frihetsgrad som ger goda möjligheter att testa deltagarnas förmåga att designa experiment. Dock tappas möjligheten att pröva de tävlandes förmåga att handskas med experimentutrustning, så en total övergång till simulerade experiment vore olyckligt.

Svensk samling i Göteborg

I det svenska EuPhO-laget ingick Hugo Bäckman från Skvaderns gymnasieskola i Sundsvall, Oscar Ciardi från Ängelholms gymnasieskola, Ask Hällström från Spyken i Lund, Lennart Küssner från Uddevalla gymnasieskola och Rebecka Mårtensson från Malmö Borgarskola. Hela

laget träffades på Fysikcentrum i Göteborg och fick ett par dagars träning av ledarna Max Kesselberg, Bo Söderberg, Oskar Vallhagen och Adam Warnerbring innan det var dags att tävla.

Direkt efter att varje deltävling avslutats skannades lösningarna in och e-postades till arrangören för central rättning, och sen återstod några dagars spänd väntan innan resultatet presenterades. Förutom Lennarts guld blev det ytterligare en svensk medalj i den mycket hårda konkurrensen, ett brons till Hugo Bäckman. Det allra bästa resultatet fick Peter Addison Sadhani från Indonesien, medan Bogdan Rajkov från Serbien kom tvåa och han blev därmed bäste deltagare från Europa. Tävlingsuppgifterna och hela resultatlistan finns publicerad här: <https://eupho.ee/eupho-2020/>

Den nordisk-baltiska fysikolympiaden

Redan i april arrangerades den första fysikolympiaden som tvingades ställa om till distansupplägg, den nordisk-baltiska, NBPhO. Denna olympiad är förstås en tävling i sig, men den utgör också för svensk del den andra etappen av finaltävlingen i Wallenbergs fysikpris. Alla finalisterna i Wallenbergs fysikpris brukar därför åka över till Tallinn, men i år blev resan inställd och ersatt av en tävling hemmavid.

Istället för två tävlingsdagar på plats i



Tallinn fick de tävlande flytta ut på nätet och, videoövervakade hemma vid skrivbordet, försöka lösa tävlingsuppgifterna under fem intensiva timmar. Det gällde bland annat att kunna uppskatta en drönarens maximala flyghöjd, studera en icke-linjär diod, och undersöka med hur många procent vattnets ångtryck ökar om atmosfärens temperatur ökar. Den sistnämnda uppgiften, som tagits fram av en av de svenska ledarna under NBPhO, Johan Runeson, kan läsas i sin helhet på nästa sida.

På denna olympiad löstes problemet med att få till en experimentuppgift genom att deltagarna i förväg fick instruktioner om att de skulle ha en tomflaska och vatten till hands, samt att de skulle ladda ner appen Physics Toolbox i sin mobil. Den tävlingsuppgift som sedan gavs var att studera hur resonansfrekvensen varierar med volymen vatten när man blåser i en flaska.

Tävlingen rönt stort internationellt intresse. Eftersom NBPhO är öppet för gästlag så kunde vi i år glädja oss åt deltagare från totalt tolv nationer, bland annat Brasilien och Saudiarabien! Svenskarna belönades med hela fyra medaljer: Lennart Küssner med guld, Fredrik Ekholm (Danderyds gymnasium) med silver, och Gustav Kalander (Kitas gymnasium i Göteborg) och Viktor Lundqvist (Norra Real i Stockholm) med brons. Tevz Lotric från Slovenien kom på första plats. Alla tävlingsuppgifterna och hela resultatlistan återfinns på <https://nbpho.ee/nbpho2020/>.

Lennart får sista ordet:

– Jag tycker att både NBPhO och EuPhO var mycket väl organiserade, med roliga uppgifter. Men det var synd att det sociala elementet försvann, och att vi inte kunde umgås med de andra lagen som på vanliga fysikolympiader.

Vi tackar varmt för det ekonomiska stödet från Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs Minnesfond som gör deltagandet i olympiaderna möjligt.

ANNE-SOFIE MÄRTENSSON
HÖGSKOLAN I BORÅS



Bilder: Johan Runeson

Uppgiften "Vattnets fas" från NBPhO 2020



I den här uppgiften kommer du undersöka vattnets fasdiagram (se grafer nedan). Den första figuren visar fasdiagrammet nära trippelpunkten [(s) – fast, (l) – flytande, (g) – gas] och den andra figuren visar smältkurvan. Givet är att när två faser α och β är i jämvikt så uppfyller fasövergångskurvan Clausius–Clapeyrons lag:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{1}{T} \frac{H_\beta - H_\alpha}{V_\beta - V_\alpha},$$

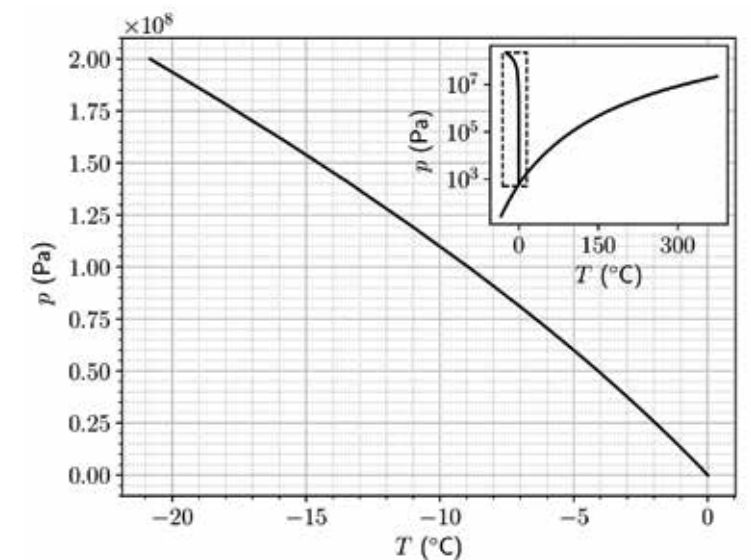
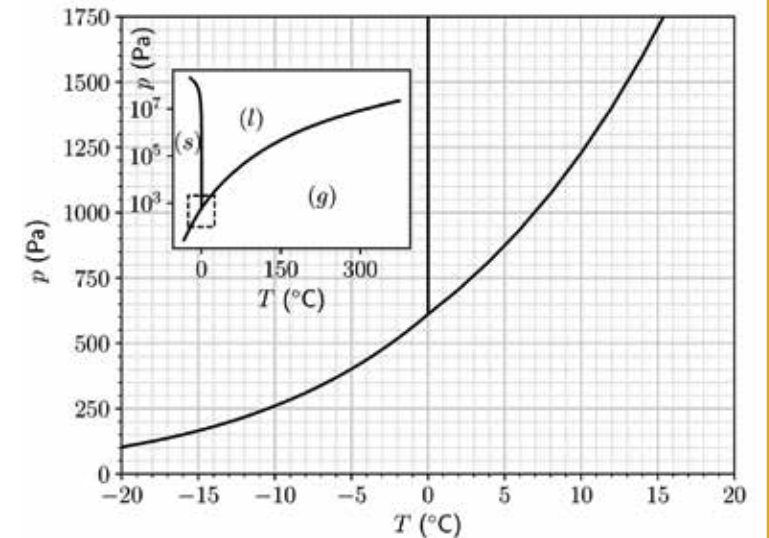
där H_α betecknar den specifika entalpin (entalpi per massa) hos fasen α och V_α betecknar dess specifika volym (volym per massa).

i) (1,5 poäng) Använd att $V_g \gg V_l$ och ta fram ett uttryck för fasövergångskurvan $p(T)$ mellan faserna flytande och gas uttryckt i ångbildningsvärmets $\Delta H_{lg} \equiv H_l - H_g$, trycket p_0 vid en godtycklig referenspunkt längs kurvan, gaskonstanten R och molmassan μ .

ii) (1,5 poäng) Antag att jorden består av en homogen atmosfär (som utgörs av luft och vattenånga) i jämvikt med ett hav av flytande vatten. Om atmosfärens temperatur ökar med 3°C , med hur många procent ökar då vattnets ångtryck? (Jordens nuvarande temperatur är 15°C .)

Du kan behöva använda värdena $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ och $\mu = 18,015 \text{ g mol}^{-1}$.

iii) (3 poäng) Gör rimliga approximationer och beräkna $V_l - V_s$, skillnaden i specifik volym mellan flytande vatten och is, vid atmosfärstryck.





Pristagarna i Wallenbergs fysikpris 2020

I Wallenbergs fysikpris görs en sammanslagning av resultatet på NBPhO med de poäng som finalisterna fick med sig från den experimentella tävlingen under Fysikveckan i Göteborg. Årets prislista ser ut så här, med pristagarna på elfte plats angivna i bokstavsordning:

- 1 Lennart Küssner, Uddevalla gymnasieskola
- 2 Fredrik Ekholm, Danderyds gymnasium
- 3 Gustav Kalander, Kitas gymn i Göteborg
- 4 Oskar Ciardi, Ängelholms gymnasieskola
- 5 Viktor Lundqvist, Norra Real i Stockholm
- 6 Ask Hällström, Spyken i Lund
- 7 Ivar Källström, Danderyds gymnasium
- 8 Gustaf Forsberg, Minerva gymn i Umeå
- 9 Hanna Zhang, Södra Latin i Stockholm
- 10 Nils Thorin, Norra Real i Stockholm
- 11 Liam Antonsson, Uddevalla gymnasieskola
- 11 Hugo Bäckman, Skvaderns gymnasium i Sundsvall
- 11 Emil Grunning, Nils Ericsonsgymnasiet i Trollhättan
- 11 Rebecka Mårtensson, Malmö Borgasskola
- 11 Leonid Pototskiy, Kitas gymnasium i Göteborg
- 11 Lovisa Strange, Europaskolan i Strängnäs
- 11 Oskar Wendt, ProCivitas i Helsingborg



Syns kinesiska muren från månen?

Ljusets vågnatur gör att ljuset inte alltid utbreder sig rätlinjigt, vilket gör bilder oskarpa. Små detaljer, som muren sedd från månen, kan därför inte urskiljas.

Myten om att muren syns från månen med blotta ögat lär emanera från "Believe It or Not", en tecknad serieruta av Robert Ripley (1890 – 1949) från 1932. På <https://www.ripleys.com/cartoons/> finns hundratals bisarra "fakta". Även från internationella rymdstationen (ISS) på 400 km avstånd är det svårt, ty muren är alldeles för smal och byggd av material som liknar omgivningens. Ögat är känsligt för kontraster, vilket vegetation eller snö på ömse sidor kan ge och vid lågt stående sol "breddar" skuggan muren. Emellertid har flera astronauter, inklusive en kinesisk, vittnat om att de inte kunnat se muren från ISS.

Hjälper en kikare eller ett mikroskop?

Givetvis ökar vinkelförstoringen, men varje optiskt instruments upplösningsförmåga liksom ögats synskärpa begränsas

ytterst av diffraktion. Ett oundvikligt fysikaliskt fenomen som innebär att vågor, såväl partikel-, vatten-, och ljudvågor som elektromagnetiska och gravitationsvågor, böjer av vid en skarp kant eller vid passage av en öppning. Det innebär att det är tekniskt omöjligt att i exempelvis ett ljusmikroskop urskilja detaljer mindre än ungefär ljusets våglängd, cirka en halv mikrometer.

Om en smal rektangulär spalt belyses jämnt med ljus av lämplig våglängd (λ), uppstår ett mönster med flera maxima (figur 1). Ju smalare spalten är desto bredare är diffraktionsmönstret. I figuren befinner sig ljuskällan och skärmen i brännplanet på varsin samlingslins, s.k. Fraunhoferdiffraktion. Parallella strålar vid spalten kan också fås med ljuskällan på stort avstånd från spalten eller med en laser. Skärmen får då inte placeras alltför nära spalten.

På inledande högskolekurser i vågrö-

relselära härleds att amplituden varierar som $A \propto \sin u/u$ där $u = \pi (a \sin \varphi/\lambda)$, se figur 1. I den visas intensiteten $I = A^2$. Ur uttrycket fås att första minimum inträffar för $\sin(\varphi) = \lambda/a$. Om vinkeln är liten är $\sin \varphi \approx \varphi$ och uttrycket kan skrivas $\varphi = \lambda/a$.

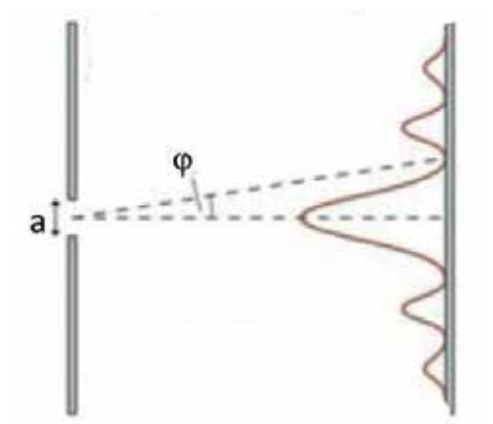
Ett nytt rum

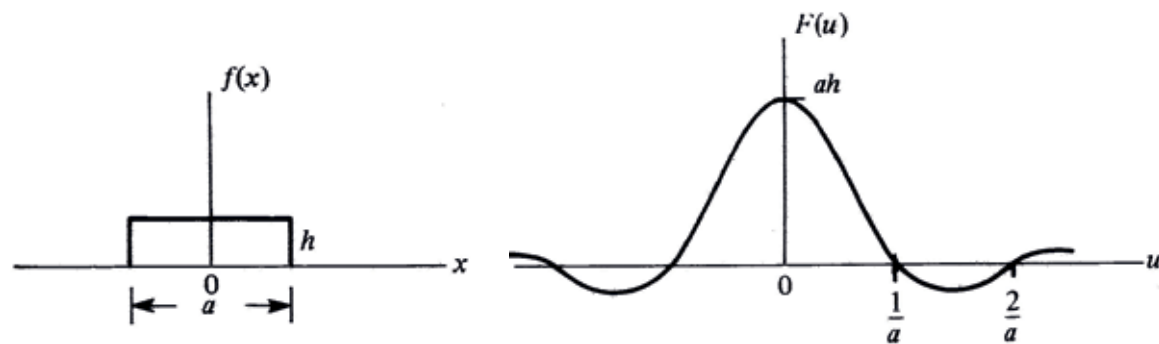
Med en Fouriertransform kan t.ex. ljudet från ett musikinstrument delas upp i en summa av plana vågor med olika frekvenser. En kort periodtid ger en hög frekvens. Likaså ger en smal spalt ett brett diffraktionsmönster. Periodtid och spaltbredd skalar således omvänt proportionellt mot frekvens resp. mönsterbredd. Fouriertransformen representerar en funktion i det reella rummet av läge eller tid i form av dennas uppdelning i vågor av motsvarande frekvenser som bildar ett s.k. reciprokt rum. Fouriertransformen av spalten $\text{rect } x (-a/2 < x < a/2)$ i figur 2 på nästa sida blir $\sin u/u = \text{sinc } u$, dvs. amplituden hos diffraktionsmönstret.

Detta gäller inte bara alla sorts vågor, utan även partiklar. Såväl ljuspartiklar (fotoner) som andra partiklar som passerar en spalt. De har en motsvarande våglängd $\lambda = h/p$ (de Broglie-våglängden),



Figur 1: Till vänster en jämnt belyst rektangulär öppning med sidoförhållande 1:3. Till höger intensiteten i horisontell riktning.





där p är rörelsemängden och h Plancks konstant. Spalten begränsar x till ett intervall (rect x), och då ges sannolikhetsamplituden i p av Fouriertransformen sinc k , ($k = 2\pi/\lambda$) som kvadrerad beskriver interferensmönstret på skärmen. Före passagen är $p = 0$ i sidled, men efter passagen visar mönstrets centralmaximum att vi i sidled fått en onoggrannhet i p . Eftersom $p = h/2\pi$ ser vi att rörelsemängdsrummet faktiskt är det reciproka k -rummet. Ju precisare läget (x) är bestämt, desto mindre precist kan rörelsemängden (p) bestämmas, dvs. ju smalare spalt, desto bredare interferensmönster. Heisenbergs obestämbarsrelationsformulerar detta som $\Delta x \Delta p > h/4\pi$, där Δ -symbolen anger onoggrannheten i värdena. Ett exempel på kvantmekanikens förunderliga värld.

Det visar sig ofta fördelaktigt att jobba i det reciproka rummet. Fourier-

metoder används för bildbehandling inom astronomi och medicin, och är centrala inom signalbehandling. Inom fasta tillståndets fysik jobbar man också i det reciproka rummet och diffraktionsmönster från röntgenstrålning inom kristallografin gav insikter som ledde till att DNA kunde visas vara en dubbelspiral.

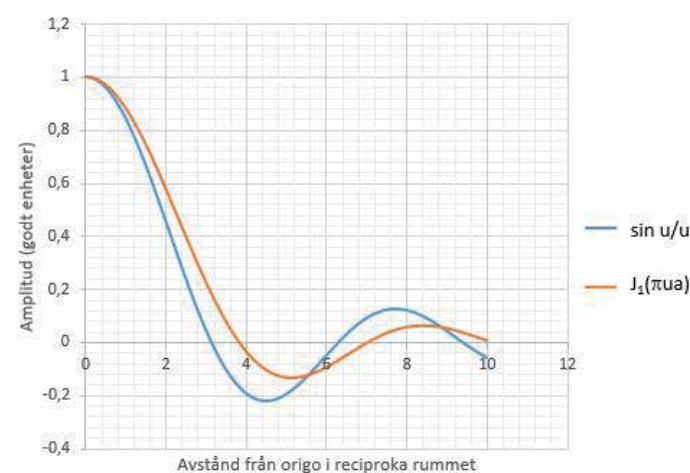
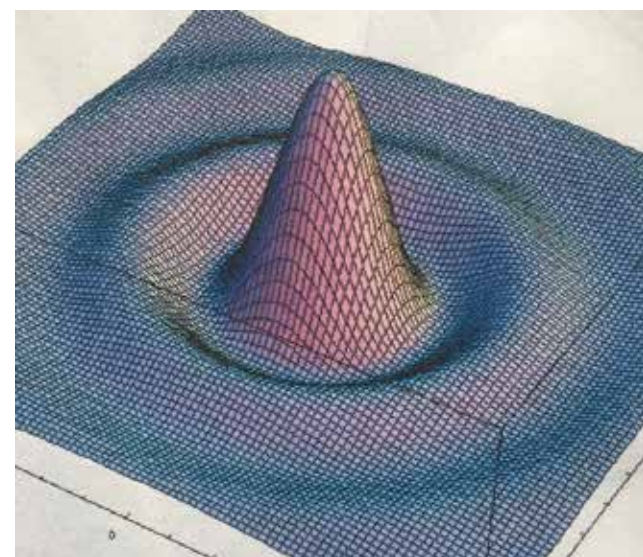
Varifrån kommer faktorn 1,22?

Både våra ögon och de flesta optiska instrument har cirkulära öppningar. Diffraktionsmönstret blir cylindersymmetriskt och amplituden ges av lösningen till en andra ordningens differentialekvation. Ganska besvärliga räkningar leder fram till en första ordningens Besselfunktion dividerat med argumentet: $J_1(\pi u a)/\pi u a$, där u är radien i det reciproka rummet (figur 3). Den röda kurvan skär horisontella axeln omkring 22 procent ($1,22 \approx 3,83/\pi$) längre ut från origo relativt den

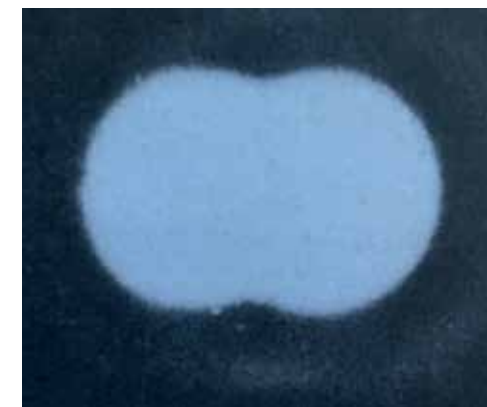
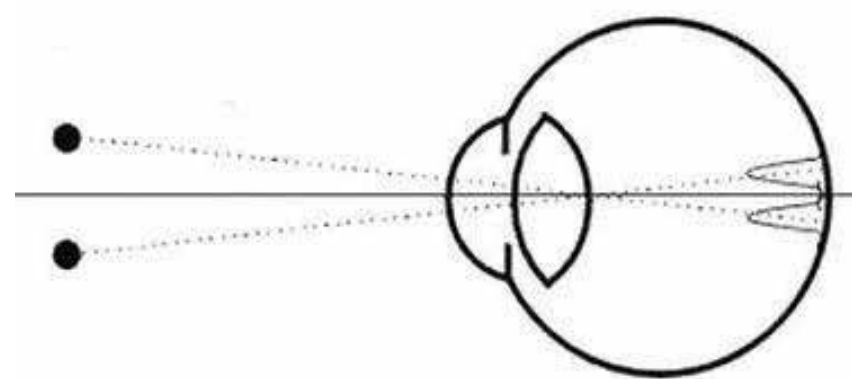
Figur 2: Till vänster rect x och till höger sinc u , som är varandras Fouriertransform.

blå kurvan. Faktorn 1,22 kommer alltså från första nollstället i Besselfunktionen $J_1(\pi u a)$. Vinkeln till första minimet kan därmed skrivas $\varphi = \lambda/a$ respektive $\varphi = 1,22 \lambda/D$, där a är spaltvidden och D är den cirkulära öppningens diameter.

Den vänstra grafen i figur 3 kallas punktspridningsfunktion (PSF) och visar hur ögat eller instrumentet avbildar en punkt. Bättre än så blir det inte, och instrumentet sägs vara diffraktionsbegränsat. I praktiken försämrar upplösningssförmågan av ofullkomligheter, exempelvis i linser eller av atmosfären. Radioteleskop är ofta enbart diffraktionsbegränsade, eftersom atmosfärens påverkan vid de våglängder som används (millimeter till meter) är försumbar. Rymdbaserade te-



Figur 3: Till vänster amplituden från en punktljuskälla, den s.k. punktspridningsfunktionen (PSF). Till höger amplituderna i reciproka rummet längs en radie u (röd) för cirkulär öppning och längs en linje på tvärs mot spaltens längdriktning x för en smal rektangulär öppning (blå).



Figur 4: Två ljuskällor ger överlappande diffraktionsmönster, som till höger precis är upplösta. Respektive mönsters ljusa centrum brukar kalla Airyskivan eller Airyfläcken, efter George Biddell Airy (1801 – 1892).

leskop, som Hubble, arbetar också vid diffraktionsgränsen, om speglarna är rätt slipade.

Två ljuskällor

Upplösningssgränsen definieras som det fysiska avstånd som två punktkällor skulle behöva befinna sig på för att skilja deras individuella ljusintensitetsmönster, eller deras punktspridningsfunktioner (PSF), från varandra (figur 4). Det finns några, alla en smula godtyckliga, kriterier för sådana upplösningssgränser. De vanligaste är Abbes och Rayleighs kriterier.

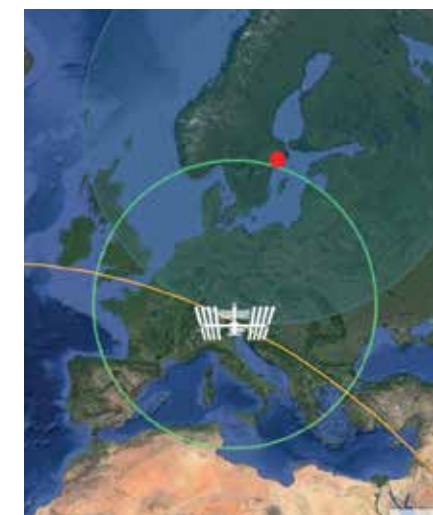
Ernst Abbe (1840 – 1905) föreslog 1873 att om maximet hos ena mönstret från en spalt hamnade i första minimet hos det andra mönstret kunde man precis urskilja ljuskällorna. Lord Rayleigh (1842 – 1919) utgick i stället från diffraktionsmönstret från en cirkulär apertur, vilket ger en upplösningssgräns som är 22 % större än Abbes. Kriteriet föreslogs av Lord Rayleigh 1879 och innebär en dip i summamönstret på cirka 20 procent.

Vad förmår ögat och andra instrument?

Upplösningssgränsen för ett optiskt mikroskop är omkring $1 \mu\text{m}$. Rayleighkriteriet, $\varphi = 1,22 \lambda/D$, ger att upplösningen blir bättre med kortare våglängd. Röntgen- och elektronmikroskop ger därför bättre upplösning, men kan dessvärre skada objektet. Radioteleskop arbetar med långa vågor, vilket kompenseras genom att bygga dem stora. Teleskopet i Arecibo på Puerto Rico har en diameter på 300 m och för en våglängd på 4 cm en upplösning på $1,6 \cdot 10^{-4}$ rad. Det användes vid upptäckten av en dubbel-

pulsar, något som belönades med nobelpris 1993. Teleskopet bidrog också till upplösningen i bondfilmen Goldeneye. Hubbleteleskopets spegel har diametern 2,4 m och diffraktionsgränsen vid 550 nm blir $2,8 \cdot 10^{-7}$ rad.

Ett normalt öga anses ha en upplösning på cirka $1'$ (bågminut), vilket är ungefär $3 \cdot 10^{-4}$ rad. Jag testade med att på ett papper rita två tydliga punkter på 2 mm inbördes avstånd. Satte papperet på en solbelyst vägg och när jag backat cirka 6 m flöt punkterna ihop. Det gav en upplösning på drygt $1'$, men utan glasögon blev upplösningen drygt $3'$. De individuella variationerna, precis som människans andra egenskaper, är stora och värden på $0,5'$ har rapporterats. Från månen på omkring 380 000 km kan föremål större än 10 mil urskiljas. Rymdstationen ISS befinner sig drygt 400 km över jordytan,



Det är lätt att förutse var ISS blir synlig. Denna passage skedde dock dagtid. Bild från appen ISS Detector.

dvs. på 1 tusendel av avståndet till månen. Därför borde föremål på jorden behöva vara runt 100 m breda för att kunna ses från ISS, men kanske ändå en astronaut med synskärpa på $0,5'$ kan skönja kinesiska muren. ISS tappar 100 – 200 m höjd dagligen, eftersom atmosfären bromsar, och om astronauten passar på precis innan raket återför ISS till normal höjd kan det lyckas. I Kina vill man gärna skryta med att muren syns från rymden, men man får skynda på eftersom de ökande luftföroreningarna skymmer sikten allt mer.

Däremot kan ISS ses från jorden på natten om sikten är tillräckligt bra. Men inte från alltför höga latituder, ty den behöver vara mer än 10 grader över horisonten. ISS är stor nog, omkring 100 m lång och 75 m bred, och förtjänstfullt fasadbelyst av solen. Den kan ses ganska ofta och på <https://spotthestation.nasa.gov/> finns information om var ISS befinner sig och hur man hittar den på himlen. I somras kunde man exempelvis i Stockholm se ISS passera förbi i söder. Den började synas över Belgien och 5 min senare försvann den under horisonten och var då någonstans över Ukraina. Vissa nätter kan man få se den två gånger med cirka 90 minuters mellanrum.

MAX KESSELBERG
FYSIKUM,
STOCKHOLMS UNIVERSITET

Ständigt aktuellt och anpassat för alla

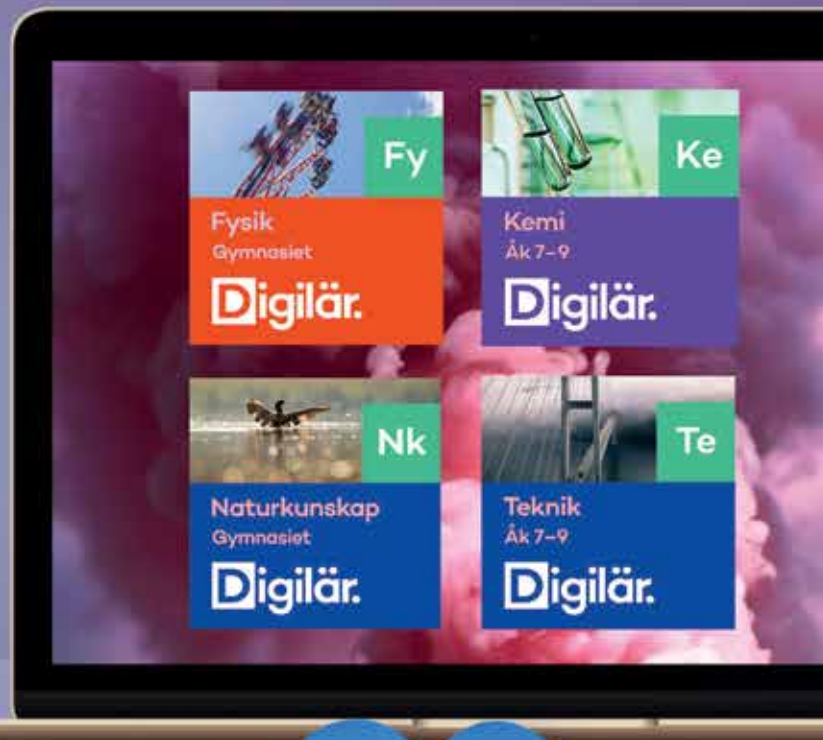
Digilär.

I Digilärs läromedel finns hela paketet – högkvalitativt undervisningsmaterial, intuitivt gränssnitt och inkluderande funktionalitet. Variera din undervisning med filmer och simuleringar, spännande laborationer, självvärterande övningar och uppgifter med lösningsförslag.

Forskningstorget ingår!

Vi uppdaterar löpande med aktuellt material kring forskning, naturvetenskap och teknik.

Välkommen in på
digilar.se för att
testa gratis!



**Heldigitala
läromedel för
mellanstadiet,
högstadiet och
gymnasiet.**

Visste
du att...



Digilär är en del av Natur & Kultur och tillsammans utvecklar vi läromedel för alla stadier – tryckt, blended och heldigitalt! Läs mer på digilar.se | nok.se