


f Fysikaktuellt

NR 2 • MAJ 2020



Ett nytt sätt att skapa
ultrakorta ljuspulser

sid 16-17

ISSN 0283-9148

Oseenmedaljen 2020
Flore Kiki Kunst

Sid 10-13

Akustisk
Levitation

Sid 32-33

Wallenbergs
Fysikpris

Sid 34-35

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.prenserservice.se/KodLanding/Index/?Internetkod=057-0571329>

Omslag: Färgburkar från Kalmar slott (2015). Se vidare på sid 16-17. Foto: Johan Mauritsson.

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
Kenneth Bodin
- 4-5 AKTUELLT/NOTISER
KOSMOS 2020, SE SID 25
- 5-7 FYSIK I CORONATIDER
Anne-Sofie Mårtensson
- 8-9 ONLINE-UNDERVISNING
Johan Mauritsson
- 10-13 AVHANDLING
AV FLORE KUNST
VINNARE AV OSEEN-MEDALJEN 2020
- 14-15 ARTICIFIELL INTELLIGENS
DIAGNOSTISERING AV SJUKDOMAR
FÖRBÄTTRAS MED MASKININLÄRNING
Saga Helgadottir m fl
- 16-17 KORTA LJUSPULSER
Johan Mauritsson
- 18-20 DESIREE
ÖMSEIDIG NEUTRALISATION OCH
STJÄRN-ATMOSFÄRER
Gustav Eklund m fl
- 21-23 PARTIKELFYSIKENS FRAMTIDA
SPÅR VID CERN
Rickard Ström
- 24-25 KOSMISK STRÅLNING
ICE CUBE SER SKYMT AV TÄNKBAR
KÄLLA TILL KOSMISK STRÅLNING
Olga Botner
- 26-27 EPS-PROGRAM FÖR FYSIK-
HISTORISKA PLATSER
Karl Grandin
- 28-29 ANTIATOMER OCH SÖKANDET
EFTER NY FYSIK
Svante Jonsell
- 30-31 KÄRNFYSIK
VEM DANSAR MED VEM I EXOTISKA
ATOMKÄRNOR
Bo Cederwall
- 32-33 AKUSTISK LEVITATION
Carl Andersson
- 34-35 WALLENBERGS FYSIKPRIS
Anne-Sofie Mårtensson
- 36-39 VARDAGENS FYSIK
FYSIK I MUNHÅLAN
Max Kesselberg
- 40 ANNONS
NATUR & KULTUR

Fysik i smittans tid

Jag är glad och stolt över att vara invald i Fysikersamfundets styrelse. Jag är teoretisk fysiker inom kondenserade materiens fysik och beräkningsfysik. Senaste tretton åren har jag haft förmånen att som företagare få arbeta med fysiksimulering tillsammans med snart trettio kollegor på Algorix som delar min passion.

I Fysikaktuellt 2019–4 ställde sig Kerstin Ahlström frågan varför alla ska läsa fysik, och besvarade den med att fysiken ger oss förmåga att förhålla oss till vår omgivning, till fakta och sammanhang, och att fysiken höjer motståndskraften mot pseudovetenskap. När jag läser att 5G-master bränns ner för att de tros orsaka Covid-19 är det lätt att hålla med Kerstin.

Redan i januari gick jag igång på virusutbrottet i Wuhan och dök djupt i den vetenskapliga litteraturen. Som teoretisk fysiker fann jag mig genast tillrätta bland kopplade differentialekvationer, komplexa nätverk och agentsimuleringar.

När jag tidigt propagerade för krisplanering möttes jag av muttranden om alarmism. Den italienske partikelfysikern Paolo Giordano gjorde samma erfarenhet. I sin nya bok "I smittans tid" skriver han att många tolkade hans engagemang som rädsla. Giordano menar att bristande föreställningsförmåga leder till bristande solidaritet. Han citerar en annan fysiker, den nyss bortgångne nobelpristagaren Phil W Anderson: "... the cumulative effect of our actions upon the collective, is different from the sum of single effects." På svenska säger vi att summan är större än delarna och inom fysiken visar det sig som emergenta fenomen.

Enskilda människors handlingar leder till exponentiellt växande smittkedjor – träd med miljoner löv. Det verkar vara för stort för många att ta in, att just de kan bära sådant ansvar. Det syns ju likasom inte till när man promenerar på stan.

Dessvärre saknar många förmågan att föreställa sig exponentiell tillväxt, än mindre agera på den: Stora beslut kräver



tydligare beslutsunderlag, men en vecka senare kräver ännu större beslut ännu tydligare beslutsunderlag. Så har det fortsatt, och nu ligger en hel värld ständigt några veckor efter.

När jag beskriver fenomenen tolkar många det som rädsla, men rädd är jag inte, däremot bekymrad men alltid hoppfull. Jag vill citera den amerikanske krigsveteranen James Stockdale. Han satt åtta år i vietnamesiskt fångläger och konstaterade att de som klarade sig sämst genom tortyr och ohälsa var de kortsiktiga optimisterna som förminskade utmaningarna.

"Du får aldrig blanda samman hoppet om att du i slutändan ska segra – och det får du aldrig förlora – med disciplinen att konfrontera den brutala verklighet du just nu lever i, oavsett hur den ser ut."

Så jag för stafettpippen vidare från Kerstin och upprepar att vi ska vara rädda om vår fysik! Den hjälper oss att föreställa oss både förfärliga och fantastiska saker – både realism och hopp. Jag avslutar med en önskan till de som forskar om beteenden i smittans tid, att de undersöker hur förhållandena mellan kunskap, föreställningsförmåga och handlingar faktiskt ser ut.

Kenneth Bodin

KENNETH BODIN, UMEÅ
SAMHÄLLSREPRESENTANT I STYRELSEN

Anmäl er skola till Lise Meitner-dagarna!

Lise Meitner-dagarna är ett inspirations-evenemang i fysik som 2020 äger rum på AlbaNova vid Stockholms Universitet den 20-22 november. Under tre intensiva dagar får två elever från varje deltagande gymnasieskola möjligheten att laborera, lyssna på föreläsningar av forskare samt träffa andra fysikintresserade gymnaster från hela Sverige. Målet är att låta eleverna upptäcka inspirerande förebilder och möjligheter inom fysik.

Vill er skola delta på Lise Meitner-dagarna 2020? Skolanmälan är öppen fram till 7 juni på evenemangets hemsida, www.lisemeitnerdagarna.se. Det är möjligt att

ansöka om att få sina platser helt sponsrade av Lise Meitner-dagarna. Dessa platser saknar dock garanti, till skillnad från platser som ni ansöker om att hitta sponsring för själva. Det är först till kvarn som gäller så anmäl er skola så snart som möjligt!

Arrangörerna avvaktar situationen kring COVID19 men avgör först i september om dagarna behöver ställas in, och i så fall debiteras inga anmälningar. Tills dess planeras allt som vanligt.

Vid frågor är det bara att maila info@lisemeitnerdagarna.se. Välkomna!

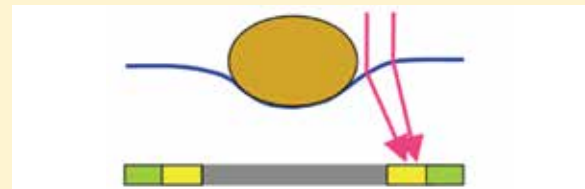


Mörka ringar

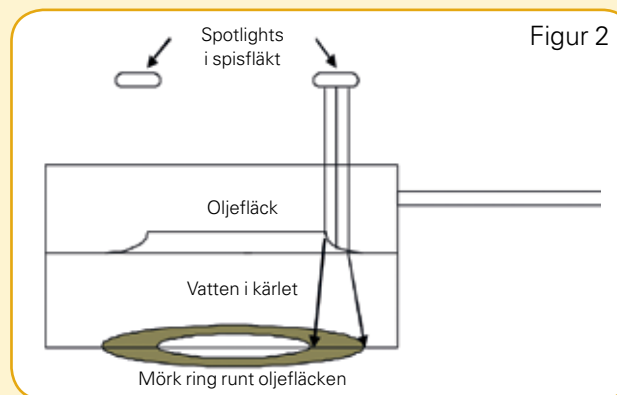
I Fysikaktuellt 2011:2 förklarar Göran Grimvall fenomenet då ljusstrålar faller mot små partiklar som flyter på grunt vatten. Runt skuggbilden på botten blir det en ljus krans runt föremålet.

Här kommer det motsatta. På vattnet i en kastrull är det lite fläckar med olja. Solen är utbytt mot lamporna i spisfläkten. (Se figur 1) Eftersom oljan flyter på vattnet kommer vattnet att väta upp mot oljefilmen. Det bildas då en negativ lins runt oljedroppen. Denna konkava lins kommer att sprida ljusstrålarna som kommer från fläktlamporna så mycket att det bildas en mörk ring runt oljefläcken på kastrullens botten. (se figur 2)

STIG SANDSTRÖM



Figur 1



Figur 2

Fysik i coronatider

Tisdagen den 17 mars, mitt i tentaveckan, kom ett drastiskt besked till landets lärosäten: Övergå omedelbart till distansundervisning för att dämpa spridningstakten av covid-19. Vad hände då på fysikinstitutionerna? Fysikaktuellt ger ett axplock som visar situationen i månadsskiftet mars – april.

Vad hände med salstentorna?

Jonathan Weidow, programansvarig för Teknisk fysik på Chalmers:

Redan på torsdagen innan tog Chalmers rektor beslutet att alla salstentor skulle ersättas med hemtentamina där studenterna fick ha tillgång till läroböcker och andra hjälpmedel. Det fanns flera orsaker till beslutet: Studenterna har ett starkt incitament att närvara även om de borde vara i karantän, många personer samlas på en liten yta, svårt att få tag på tentamensvakter som ofta är pensionärer etc. När sen regeringen kom med beskedet att campusundervisningen skulle upphöra kändes det bra att vi var så väl förberedda.

Ellen Moons, professor vid Karlstads universitet: Rektor beslutade att alla salstentamina skulle ersättas med andra examinationsformer. Kollegorna fick då med väldigt kort varsel hitta lösningar. De första dagarna löstes problemet genom att göra den befintliga tentan tillgänglig elektroniskt, och låta studenterna maila in sina svar. I vissa fall

har lärarna agerat tentavakt via Zoom. Så småningom användes mer genomtänkta lösningar.

Måns Henningson, prefekt vid Göteborgs universitet: Salstentorna har helt utgått. Examination är helt klart ett område där vi måste agera genomtänkt för att garantera rättssäkerhet och kvalitet.

Hur går det med undervisningen?

Eva Lindroth, professor vid Stockholms universitet: Vi fick med någon veckas varsel ställa om till online-undervisning just när fjärde periodens kurser skulle börja. Trots att universitet erbjuder kurser i Zoom (online) så är det naturligtvis svårt att få det lika bra.

Vi har inte alla den bästa tekniska utrustningen heller, särskilt inte hemma. Men just nu är ju trots allt alla förstående – även studenterna :-)

Ellen Moons: Stödet från universitetspedagogiska enheten på Karlstads universitet har varit helt fantastiskt med dagliga workshops om alla verktygen som behövs för omställning till distans-

utbildning, och kontinuerligt stöd om så behövs. Efter en vecka har jag vant mig att spela in föreläsningar och ha online-frågestunder med studenterna. Det har också varit ett utmärkt tillfälle för att testa digitala verktyg, till exempel clickers, i stora grupper på distans.

Hur gör ni med laborationer?

Jonathan Weidow: All undervisning ska vara omställd till distansundervisning under hela sista läsperioden. Många laborationer kan ersättas av demonstrationer, realtidsvideos, simulationer, on-line-laborationer eller hemlaborationer. Ett fåtal laborationer får istället genomföras när campus har öppnat på nytt. Där det är möjligt förbereder studenterna sig med förstudier och liknande nu under våren.

Ellen Moons: Tre av våra kurser under denna läsperiod är experimentella till sin karaktär med examinerade laborativa moment. Vissa laborationer ersätts med demonstrationer eller simuleringar. Några projekt, till exempel ett där studenterna själva syntetiserar nanomaterial



Foto: Saeid Pirani

Gott om skärmar och tomma stolar när Saeid Pirani disputerade vid Lunds universitet i slutet av mars.

och mäter dess egenskaper flyttas fram. Laborationer där studenterna lär sig att använda större instrument genomför vi med hjälp av handledare på campus som demonstrerar experimentet via webbkamera och där studenterna deltar och styr instrumentet genom remote-desktop.

Maria Hamrin, programansvarig för Teknisk fysik vid Umeå universitet: Man löser det på lite olika sätt. En del spelar in labbar som demo och låter studenterna hantera data och redovisa enligt gängse former.

Hur fungerar det med disputationer?

Göran Frank, studierektor för forskarutbildning vid Fysiska Institutionen, Lunds Universitet: Vi har gått över till disputationer via videolänk. De som inte har möjlighet att vara på plats i Lund deltar via Zoom, och hela disputationen livesänds på LU:s YouTube-kanal. För att genomföra det på ett professionellt sätt har vi hjälp från universitetets serviceenhet som tillhandahåller utrustning och kompetent personal. Första testet var tre disputationer i slutet av mars. Då deltog opponenter via Zoom, liksom flera av ledamöterna i betygsnämnden. Respondent, handledare, disputationens

ordförande, en del ledamöter i betygsnämnderna samt några åhörare fanns på plats. YouTube-åhörare kunde skicka in frågor via e-post och på så sätt också delta i diskussionen. I stort fungerade allt, inklusive ljud- och bildkvalitet, mycket bra. Ibland blev det kortare uppehåll vid omkoppling mellan olika talare, men det löstes smidigt tack vare den professionella hanteringen. Den vetenskapliga diskussionen höll en hög nivå, även om det förmodligen blir snäppet bättre när samtliga huvudaktörer finns i salen.

Ellen Moons: Disputationer på Karlstads universitet genomförs med opponenter och betygskommitté på distans via Zoom, men hittills har respondenten, handledare och ordförande varit på campus. Vid en disputation på Chalmers i mars var jag ledamot i betygskommittén via Zoom. Disputationen livestreamades via YouTube. Det fungerade alldeles utmärkt. Kul med kreativa lösningar!

Är alla omeddelade eller beordrade att jobba hemifrån?

Ellen Moons: Sedan i fredags, den 3 april, är rekommendationen att man stannar hemma om arbetet inte kräver fysisk närvaro, och alla möten sker på Zoom. De som gör experiment har möj-

lighet att fortsätta med det. Vi har även genomfört anställningsintervjuer och provföreläsningar via Zoom med kandidater från hela världen. Några av dem höll sina föreläsningar hemifrån eftersom de sitter i karantän. Hela världen verkar ha förståelse för hur det är, och försöker göra det bästa av situationen.

Eva Lindroth: Man skall jobba hemifrån så mycket som man kan – att sköta om experimentell utrustning är OK.

Måns Henningson: Detta skall beslutas av närmsta chef. Om man kan arbeta hemifrån så bör man göra det, men annars får man jobba på campus.

Hur ser situationen ut för astronomerna?

Dan Kiselman, biträdande förordningschef, Institutionen för solfysik, Stockholms universitet: Astronomiska observatorier över hela världen har stängts. Det gäller dock att se till att de dyrbara anläggningarna inte tar skada. På La Palma finns bland annat det svenska solteleskopet SST. Här har man infört tre nedstängningsnivåer. Nivå tre innebär att observationer får fortsätta men inga utomstående får beträda området. Man gick upp till den nivån när Spanien införde sina karantänsbestämmelser 15



Foto: Karlin Hélène

Ledningen på ESS möts under coronakrisen.

mars. När dessa skärptes två veckor senare så gick man upp till nästa nivå där endast visst tekniskt underhållsarbete får utföras. Det gör det svårt att förbereda SST för den väntande observationssäsongen, som vi i och för sig inte vet när den kan starta eftersom inga observatörer just nu kan resa dit. SST hade vid utbrottet endast en person på plats och ingen mer kan för närvarande resa dit. Vid nivå ett, om det går så långt, avlyses området helt och vaktas av Guardia Civil.

Michael Lindqvist forskningsingenjör vid Onsala rymdobservatorium: Sedan den 17 mars arbetar nästan alla medarbetare hemifrån. Lyckligtvis kan en del av våra observationer med teleskopen skötas utan att ha personal på plats. Vår LOFAR-station styrs från Holland och skickar kontinuerligt data dit. Våra supportastronomer hjälper via Zoom svenska och nordiska forskare med deras data och ansökningar. Många resor, möten och observationer har naturligtvis blivit inställda. Själv hade jag planerat att åka till Chile i slutet av mars för att göra nya observationerna med EHT. EHT-observationerna under 2020 har helt ställts in men nya kommer förhoppningsvis ske 2021.

Hur ser situationen ut på MAX IV?

Tutti Johansson Falk, kommunikationschef: Laboratoriet är fortfarande i drift men med begränsad tillgänglighet för forskarna, beroende på de reserestriktioner som utfärdats av olika länder. För forskningsprojekt med anknytning till SARS-CoV-2 finns en process på plats för att ge snabb access. I dagsläget arbetar ungefär hälften av personalen hemifrån. Det årliga sommaruppehållet, då installationer görs, kommer att ske som planerat. Försenade materialleveranser och det faktum att utländska underleverantörer inte kan resa till Sverige kan medföra vissa förseningar. En del internt arbete har dock kunnat intensifieras som ett resultat av att MAX IV har färre användare just nu.

Hur ser situationen ut på ESS i Lund?

Mats Lindroos, chef för acceleratordivisionen på ESS: Byggnadsarbetena på ESS fortsätter i nästan normal takt, medan installationsarbetena har saktat ner, främst för att ESS många samarbetspartners ute i Europa till stor del stoppat arbetet och inte kan leverera komponenter eller installera på plats i Lund. Huvuddelen av ESS personal jobbar hemifrån och de som är kvar på arbetsplatsen leder pågående installationsarbeten och säkrar

att övrig personal kan jobba effektivt på distans. Mycket dokumentationsarbete blir gjort vilket är positivt för vår tillståndsprocess.

Hur ser situationen ut på CERN?

Joakim Cederkäll, professor vid Lunds universitet: Det första steget i nedstängningen av laboratoriets aktiviteter togs redan den 21 januari. Då ställdes alla guidade turer in och personer som kom från riskzoner skulle hålla sig isolerade. Den 9 mars ställdes alla tjänsteresor in, liksom möten med mer än 100 personer. Från den 16 mars och tills vidare gäller hemarbete för alla för vilka det är möjligt. Bara de vars aktiviteter bedöms centrala för kritisk utrustning har access till CERN-området. Personer över 65 eller personer som har kända hälsoproblem kan över huvud taget inte komma in. I praktiken innebär detta att det mesta av arbetet på området för att ställa maskinen i ordning för experiment under 2021 ligger i malpåse.

Vad händer med inplanerade konferenser?

Ellen Moons: Alla konferenser jag vet om blev inställda. Även den junikonferens som jag själv planerade för var tvungna att ställa in för att minska den ekonomiska risken. Den kommer att flyttas till 2021. Igår fick jag den första inbjudan till en virtuell konferens som går nästa vecka med en deltagaravgift på enbart €5.

Maria Hamrin: Svenska rymdforskarens samarbetsforums årliga konferens i Lund skulle ha avlöpt i mitten av mars men är preliminärt uppskjuten till hösten. En jättekonferens i geofysik i Wien i maj är inställd för konferens på plats, men delar av den ska istället ske online.

Måns Henningson: Så vitt jag vet är allt som planerats innan sommaren inställt. Ja, detta är verkligen det märkligaste jag har varit med om. Jag är oroad över de långsiktiga konsekvenserna för vårt samhälle och för andra länder.

ANNE-SOFIE MÅRTENSSON
HÖGSKOLAN I BORÅS

Online-undervisning på gott och ont

I och med att folkhälsomyndigheten rekommenderade att all utbildning på gymnasienivå och högre skulle ske på distans från och med den 17 mars fick lärarna snabbt ställa om och anpassa sin undervisning. En omställning till mer och mer digital undervisning har långsamt pågått på våra lärosäten, men nu skulle den göras på bara några dagar. Hur har det gått? Fysikaktuellt intervjuade Sara Mikaelsson som undervisar på LTH vid Lunds universitet.

Sara Mikaelsson är doktorand och undervisar på en grundkurs för förstaårsstudenter i våglära och optik med cirka 140 studenter. När hon inte undervisar skriver Sara på sin avhandling som är planerad att bli klar i år, och eftersom det experimentella arbetet redan är avslutat påverkas inte hennes forskning så mycket av att arbeta hemifrån, men hur går det med undervisningen? Sara har undervisat på vågläro kursen i flera år, både med laborationer och som övningsledare och hon ser både för och nackdelar med att undervisningen nu sker på distans.

– Det har påskyndat en utveckling som ändå var på gång och vi lär oss mycket nu som vi kommer att ha stor nytta av när vi återgår till mer normala förhållanden!

Kursen som Sara undervisar på innehåller flera olika undervisningsmoment

som passar bättre eller sämre för distansundervisning. Vilka för och nackdelar ser du för de olika undervisningsmomenten som ingår i kursen?

Föreläsningar

Sara tror att det är fler studenter som ser föreläsningarna nu när de är online, antingen när de sänds direkt eller senare när de ser en inspelad föreläsning. Det ger studenterna en större möjlighet att planera sin dag, men det lägger också större ansvar på studenterna att själva se till att de följer kursen i rätt tempo och inte tänker att eftersom allt nu finns tillgängligt online kan jag göra det lite senare.

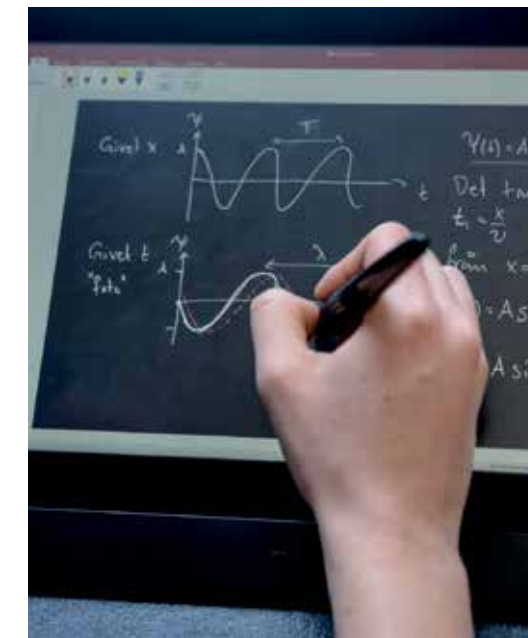
Övningar

Övningarna som i vanliga fall görs i mindre grupper där studenterna sitter och räknar övningsuppgifter och kan få hjälp av övningsledare när de kör fast, görs nu

istället online via Zoom. Vissa frågor lämpar sig att svara på så att alla studenterna som är inloggade kan höra svaret, men det går också att skapa små "breakout rooms" där en övningsledare kan prata med en student i taget. Dynamiken på Zoom blir lite annorlunda mot vad det brukar vara i en sal där studenterna sitter ett par timmar och räknar. Nu blir det ofta så att studenterna loggar in när de har en fråga och det är inte så lätt att som lärare få en känsla för hur det går överlag för studenterna. Lite av den här saknade överblicken kan visserligen ersättas något av quizar och andra online-verktyg, men de ersätter aldrig direktkontakten med studenterna helt.

Seminarier

För att komplettera övningarna spelar Sara in tips och/eller lösningsförslag på några av övningsuppgifterna som hon av



erfarenhet vet att studenterna brukar ha problem med. Det gör att studenter som kör fast på en uppgift kan se efter om den finns med i listan över lösta uppgifter och se filmen när det passar dem. Flexibiliteten är givetvis en fördel, men kanske tillgängligheten på lösta uppgifter gör att färre studenter pratar med övningsledarna på online-övningarna?

Sara berättar att hon tyckte att det var lite nervöst att spela in de första uppgifterna, men efter att ha fundera lite över syftet med de inspelade uppgifterna och pratat med andra övningsledare kändes det bättre. Det är ok att allt inte blir perfekt, det blir det inte när man hjälper studenterna i salen heller. Det är bra att det tar lite tid att lösa uppgiften eftersom det ger studenterna en möjlighet att tänka efter, precis som när man arbetar tillsammans i övningssalen. Sara återkommer dock till att hon saknar interaktionen med studenterna och den spontanitet i undervisningen som då uppstår.

Inlämningsuppgifter i Matlab

Studenterna gör några olika inlämningsuppgifter i Matlab som sedan redovisas för handledarna. Den här undervisningsformen fungerar mycket bra online. Det är en fördel att instruktionerna för hur studenterna ska arbeta kan spelas in och därför bara behöver göras en gång (och

studenterna kan se dem flera gånger om de vill). Att hjälpa studenter med Matlab via Zoom går bra eftersom de kan dela sina skärmar och visa vad de jobbar med. På samma sätt är det smidigt att redovisa att programmen gör vad de ska via Zoom och att studenterna förstår vad de har gjort. Sara understryker att det är viktigt att ha med något moment som det här där studenterna dels har deadlines, dels får chansen att träffa en lärare en liten stund och känna sig sedda.

Projekt

Studenterna arbetar på projekt kopplade till kursen som de redovisar med en kort, pedagogisk film. Handledningen online fungerar bra och det ska bli spännande att se studenternas filmer och se om alla blir klara i tid.

Laborationer

Det här momentet är givetvis utmanande. I experimentell fysik är det viktigt att studenterna får göra laborationer och lära sig hantverket, men också att de får förståelse för kopplingen mellan experiment och teori. En del moment går att ersätta och det går givetvis att träna på att skriva utförliga rapporter, även om man inte själv har gjort experimenten. Men allt laborerande går inte att ta bort utan att sänka kvalitén på utbildningen för

mycket och några moment måste därför skjutas på framtiden.

Examination

Examination är en annan stor utmaning kopplad till onlineundervisningen. Sara tror att det nog går att göra bra examinationer online, men att man måste tänka om lite, vilket kan vara svårt om det är ont om tid.

– På det hela taget fungerar undervisningen bra även om det ibland kan vara svårt att fokusera bland tvärthögarna därhemma, men det gäller väl även för andra som arbetar hemifrån, menar Sara. Det finns en klar risk att den här undervisningsformen inte passar alla studenter och att några kommer få problem att följa med kurserna, medan den kommer att passa vissa studenter väldigt bra.

JOHAN MAURITSSON
LUNDS UNIVERSITET





Oseenmedaljen 2020

– Flore Kiki Kunst

I år delas för första gången Oseenmedaljen ut, till bästa avhandlingen i fysik i Sverige. Medaljen går till Flore Kiki Kunst, Stockholms universitet med avhandlingen ”Solvable topological boundaries”, för:

”Hennes både originella och självständiga arbete med utveckling av en formalism för fullständiga analytiska lösningar för topologiska materiefaser, utgående från destruktiv interferens mellan gränslager. Arbetet har möjliggjort analytiska beräkningar av många önskade egenskaper, bland annat fasövergångar, yttillstånd och korrelationsfunktioner.”

När Fysikaktuellt kontaktar Flore Kunst är det, som de flesta möten dessa dagar, via Zoom.

Hur känns det att vara den första vinnaren av Oseenmedaljen?

– Det är fantastiskt, jag är väldigt överraskad och glad, jag kan fortfarande inte riktigt tro att det är sant!

Flore har nyligen börjat som postdoc i Garching, men tjänsten är delad mellan Harvard och MPQ Garching och egentligen skulle Flore snart ha åkt till USA för en längre vistelse där, men den är för tillfället inställd.

Det är en mycket glad och pratsam vinnare med intressen som sträcker sig långt utanför fysiken. Att det skulle bli just fysik som Flore skulle arbeta med var inte självklart. Hon var tidigt intresserad av matematik som var favoritämnet i

grundskolan, men kunde då inte se charmen med fysik som mest handlade om att stoppa in siffror i olika ekvationer (*sic!*).

När det var dags att börja på universitetet valde Flore att hålla alla dörrar öppna genom att välja en kandidatutbildning med både konst och naturvetenskap (*liberal arts and sciences*) vilket gjorde det möjligt för henne att läsa kurser inom flera olika områden som konsthistoria, internationella relationer och fysik. Nu började fysiken och kopplingen till matematiken att kännas roligare och Flore valde den inriktningen på sin masterutbildning, nämligen teoretisk fysik vid Utrechts universitet. Och på den här vägen är det, mot slutet av masterutbildningen insåg Flore att forskning och fysik är så roligt att hon fortsatte med en doktorandutbildning, och nu när den är klar är det fortfarande roligt och Flore fortsätter

(som tur är) därför med fysik och forskning, nu som postdoc.

Vad är det som gör det så roligt med fysik?

– Fysik i allmänhet och teoretisk fysik i synnerhet passar mig väldigt bra. Jag älskar att räkna och uppskattar verkligen att förstå och lösa nya problem. Den kondenserade materiens fysik är extra roligt eftersom det inte är långt mellan mina beräkningar med papper och penna och den ”verkliga världen” och experimenten.

Så du gör alltså den mesta delen av din forskning med papper och penna?

– Ja! Givetvis använder jag en dator för att skriva och rita och ibland jämför jag mina beräkningar med numeriska resultat, men forskningen görs med papper och penna. Eller i fikarummet med en kaffekopp i handen diskuterandes med kollegor. Eller på konferenser och workshops vilket är en stor del av arbetet som doktorand. Just nu blir det många Zoom-möten, men det kan inte riktigt ersätta spontaniteten i fikarummet.

Hur kom det sig att du flyttade till Sverige?

– Det var egentligen inte ett aktivt val från min sida. Jag började doktorera i Berlin med Emil Bergholtz som handledare i april 2015, men redan under intervjun nämnde Emil att han sökte en tjänst i Stockholm. Ungefär ett år efter att jag börjat som doktorand fick Emil jobbet i Stockholm och jag flyttade med dit för att avsluta mina doktorandstudier där. Jag är verkligen glad att jag flyttade till Stockholm eftersom det gav mig en möjlighet att se två olika universitet under

min doktorandtid och utöka mitt nätverk. Jag måste också säga att AlbaNova är ett fantastiskt ställe för en forskare med både SU och KTH på samma ställe och Nordita över gården. Att allt ligger så samlat gör att det alltid finns någon att prata fysik med, spännande föreläsningar och besökare från andra universitet.

Saknar du något från Sverige?

– Fika och era goda kanelbullar, men också Stockholms skärgård och mitt landhockeylag.

Så du spelar landhockey?

– Ja, när jag bodde i Stockholm spelade jag i SLHF Mesaicos. Landhockey är en väldigt stor sport i Nederländerna och jag har spelat det sen jag var 6 år gammal så jag var verkligen glad att jag kunde hitta ett lag i Stockholm att spela med.

Vad har du för drömmar för framtiden?

– Jag vill gärna känna att jag kan påverka och förbättra världen i alla fall lite grann i rätt riktning. Det behöver inte vara så mycket, men om jag känner att jag kan göra skillnad så är jag nöjd. Det kan vara som fysikprofessor, men skulle också kunna vara inom något annat yrke. Jag har gett tre föreläsningar om hur det är att arbeta som kvinna med fysik och det har varit något jag tyckt mycket om att göra och gärna gör mer av.

Fysikersamfundet ser gärna att du fortsätter med fysik och arbetet för kvinnor i fysik och önskar att få gratulera ännu en gång till utmärkelsen.

JOHAN MAURITSSON
LUNDS UNIVERSITET



Flore Kunst

- Född 1991 i Enschede, Nederländerna
- Familj: Föräldrarna Eelco och Karin, en yngre bror Niels och pojkvännen Lukas
- Intressen utöver fysik: Landhockey, museer, konsthistoria, noveller och politik
- Hur skulle du beskriva dig själv med några få ord?
– Pratsam, social, spontan, ärlig, starka åsikter och rationell

I gränslandet av ett topologiskt material

Topologiska material och olika faser i dessa material har varit ett hett forskningsområde inom den kondenserade materiens fysik sedan de först upptäcktes 1980. Framförallt laddningsbärare, vilka här kallas tillstånd och är mycket stabila, på gränssnitten av dessa topologiska material har attraherat stor uppmärksamhet. Mitt avhandlingsarbete har fokuserat på att utveckla en metod för exakta, analytiska lösningar för dessa laddningsbärare som finns vid gränssytorna av de topologiska materialen.

Olika faser för topologiska material skiljer sig från konventionella materiefaser, som fasta ämnen och vätskor, men också magneter och supraledare, eftersom de bryter mot Landaus klassificering. Landaus teori, som var den gällande beskrivningen av alla materiefaser fram till upptäckten av topologiska faser, använder så kallade lokala ordningsparametrar för att beskriva vilken fas ett material befinner sig i. Topologiska faser beskrivs istället av topologiska invarianter som beräknas enbart med hjälp av egenskaper inuti materialet, i dess så kallad bulk. Det är anmärkningsvärt att de topologiska invarianter som ges av bulkegenskaperna är direkt relevanta för tillstånden som är lokaliserade på gränssytan av materialet och som finns med i alla icke-interaktiva topologiska modeller. Den här mekanismen, där en bulkinvariant styr materialets beteende vid gränssytan, är känd som bulk-yt korrespondensen och är en gemensam egenskap hos alla kända topologiska faser.

Topologiska faser upptäcktes 1980 när Klaus von Klitzings gjorde experiment där han kunde påvisa "The integer quantum Hall effect" i en tvådimensionell elektrongas. 1985 tilldelades Klaus von Klitzing Nobelpriset för sin upptäckt. Genom att studera den kvantmekaniska

versionen av den klassiska Hall effekten, upptäckte von Klitzing att inte bara hallkonduktansen är kvantiserad (vilket har visats med extremt hög precision) utan också att kanterna på materialet kan vara utmärkta ledare trots att materialets inre är en god isolator (se figur 1). Det kvantiserade värdet på Hall-konduktansen är

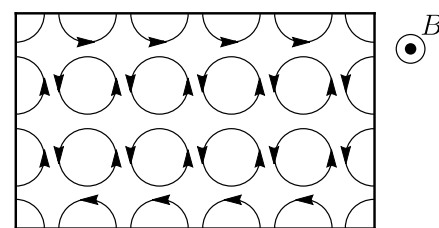
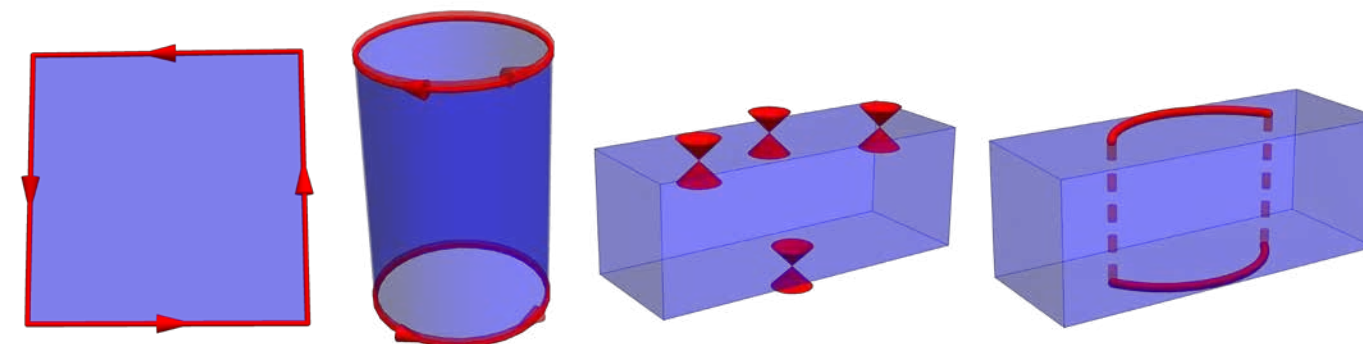


Bild 1: Om ett starkt magnetfält appliceras vinkelrätt mot en tvådimensionell elektrongas vid låg temperatur och en ström leds genom materialet, får elektronerna en cirkulär rörelse, där rörelseriktningen bestäms av magnetfältets riktning och tecknet på elektronens laddningen. Till följd av detta kan elektronerna inte längre röra sig fritt i materialet vilket leder till att materialets bulk blir en isolator. Vid gränssnitten blir det däremot inte möjligt för elektronerna att snurra ett helt varv utan följer istället längs kanten vilket leder till en kiralitet kopplad till dessa elektronerna.

ett heltal som är direkt kopplat till antalet tillstånd som uppträder på ytan, vilket är ett tydligt exempel på ovanstående mekanism. 1988 lyckades Duncan Haldane visa att det är möjligt att få samma effekt i en gittermodell där elektronernas rörelser är begränsade till att röra sig mellan gitterplatserna. Den kvantmekaniska Hall-effekten i ett gitter kallas Chern isolator (figur 2 a), och är det första exemplet på vad som idag kallas för en topologisk isolator. För bland annat den här upptäckten tilldelades Haldane Nobelpriset 2016 tillsammans med David Thouless och Michael Kosterlitz.

Idag finns en uppsjö av olika topologiska modeller som bygger vidare från den ursprungliga upptäckten. Det finns till exempel tvådimensionella topologiska isolatorer med spiralformade ytillstånd (figur 2 b), dessa har realiserats experimentellt i kvantbrunnar gjorda av HgTe. Det finns tredimensionella topologiska isolatorer med Dirac-tillstånd på sina tvådimensionella gränssytor (figur 2 c), vilka har demonstrerats experimentellt i Bi_2Se_3 , men också topologiska isolatorer som skyddas av kristallina symmetrier. Det är också möjligt att skapa topologiska faser i halvmetaller där bulken i materialet är halvmetalliskt istället för som i de tidigare exemplen en isolator. Paradigmskiftet för dessa material kom med den tredimensionella Weyl-halvmetallen med Weyl-koner i bulken som man kan tänka på som magnetiska monopoler i k -rummet och som Fermi-bågar vid gränssytorna (figur 2 d). Denna fas i halvmetallen demonstrerades första gången i TaAs. Alla dessa topologiska faser har en sak gemensamt, och det är förekomsten av tillstånd på gränssytorna (yttillstånd).

Under mitt doktorsarbete utvecklade jag en metod för att hitta analytiska lösningar för tillstånden på gränssytorna där det tidigare bara varit möjligt att hitta numeriska lösningar. Genom att använda destruktiv interferens, vilket är en klassisk egenskap som finns i flera olika gittermodeller, har jag visat att det är möjligt att hitta exakta lösningar av ytillståndens vågfunktioner. Dessa vågfunktioner används för att beskriva partiklar kvantmekaniskt. Metodens giltighet är oberoende



av systemparametrarna vilket gör att den är mycket allmän. Att ha tillgång till den exakta formen av ytillstånden möjliggör full kontroll över systemets topologiska fas och energi (dispersion) och hur tillstånden är lokaliserade. Detta gör det möjligt att designa gittermodeller med den topologiska fasen som man vill ha från botten upp. Metoden kan användas för att beskriva ytillstånden för vilken modell som helst (även de som tidigare nämnts), vilket är viktigt eftersom det avslöjar att även om de har olika ursprung så delar de en del gemensamma egenskaper. Metoden ger dessutom en inblick i hur ytillstånden försvinner in i materialet, vilket syns i energispektrum, ytillståndens topologi och korrelationsfunktioner.

Jag insåg dessutom att metoden inte bara kan tillämpas på standard topologiska modeller (med detta menar jag modeller med ytillstånd på gränssnitt där gränssnitten har en dimension mindre än bulken) utan också så kallade högre ordningens topologiska faser. Dessa faser har ytillstånd som är lokaliserade på gränssnitt vars dimension skiljer sig med

Bild 2: Schematiska figurer över olika topologiska modeller. (a) En tvådimensionell Chern-isolator med kirala tillstånd (i rött) längs kanterna. (b) En tvådimensionell topologisk isolator med spiralformade tillstånd längs kanterna, där heliciteten beror på att elektronernas rörelseriktning är kopplad till deras spinn. (c) En tredimensionell topologisk isolator kan ha tvådimensionella Dirac-tillstånd på gränssytorna. Dessa tillstånd avbildas här av koner, som härmar formen på deras energier. (d) En tredimensionell Weyl-halvmetal med Fermi-bågar på gränssytorna.

mer än ett från bulkens dimension, till exempel noll-dimensionella hörnor på två- eller tre-dimensionella modeller, eller endimensionella gångjärn på ett tredimensionellt system (se figur 3). Även om det finns några andra metoder som kan användas för att hitta analytiska lösningar till ytillstånd, så är metoden som jag presenterar i min avhandling den enda som idag kan användas för att beskriva dessa högre ordningens modeller.

Den presenterade metoden kan också användas till att beskriva dissipativa system, det vill säga system som är i kontakt med omgivningen och därför kan utbyta energi. Dissipativa topologiska faser följer inte nödvändigtvis samma principer som icke-dissipativa topologiska faser. Det finns till exempel modeller med ett energiutbyte som inte följer det tidigare

nämnda förhållandet mellan bulk och gränssnitt. För dessa exempel är det inte möjligt att bestämma beteendet på ytan från bulkegenskaperna, det behövs därför exakta lösningar för ytillstånden. Genom att tillämpa metoden som framlades i min avhandling var det möjligt att komma fram till nya inblickar i beteendet för topologiska modeller som är dissipativa.

FLORE K. KUNST
POPULAR SUMMARY PHD THESIS
"SOLVABLE TOPOLOGICAL BOUNDARIES"

(ÖVERSÄTTNING
JOHAN MAURITSSON)

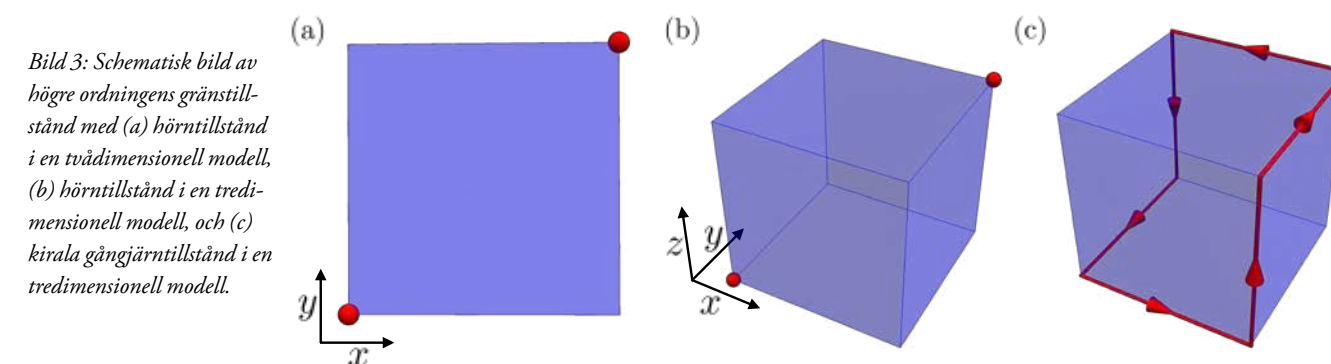


Bild 3: Schematisk bild av högre ordningens gränstillstånd med (a) hörntillstånd i en tvådimensionell modell, (b) hörntillstånd i en tredimensionell modell, och (c) kirala gångjärntillstånd i en tredimensionell modell.

Diagnostisering av sjukdomar förbättras med maskininläring

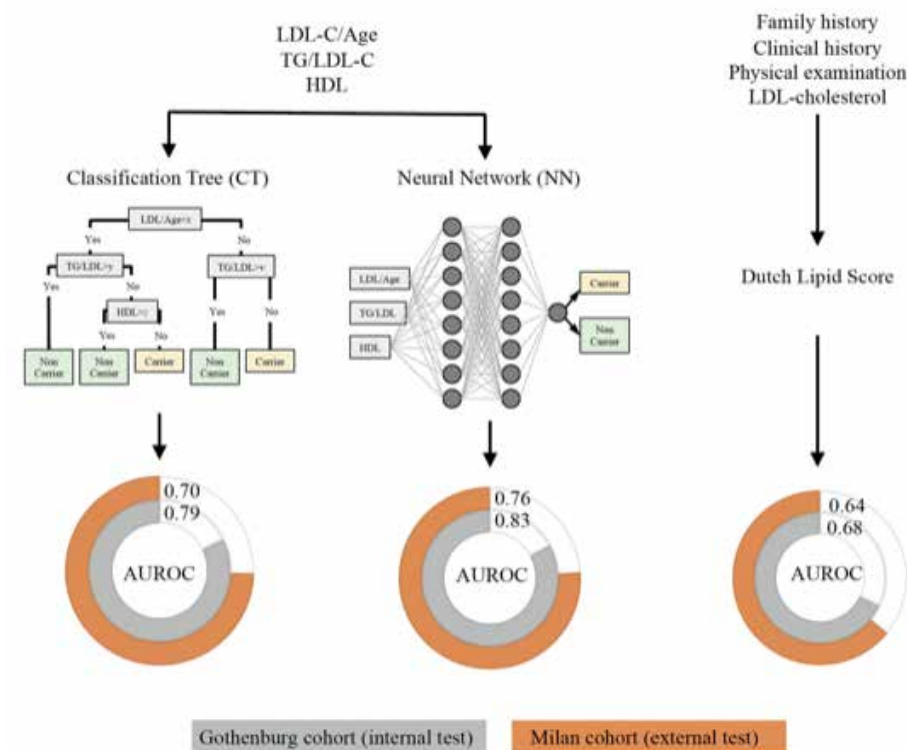
Genom ett tvärvetenskapligt samarbete mellan institutionen för fysik och avdelningen för molekylär och klinisk medicin vid Göteborgs universitet använder en grupp forskare maskininläring för diagnostisering av sjukdomar.

Diagnostisering av sjukdomar är en grundläggande del inom sjukvården; utan rätt diagnostisering kan sjukdomar inte behandlas. Till exempel, *Familial hypercholesterolemia* (FH) är en vanlig genetisk sjukdom som orsakar förhöjda kolesterolnivåer och drabbar en av 250 personer. För att effektivt kunna behandla sjukdomen är det avgörande att först kunna ställa en säker diagnos. Genetiska tester som krävs för att få en helt säker diagnos är i nuläget endast tillgängliga på ett begränsat antal universitetssjukhus och är dessutom kostsamma. Andra sjukhus använder en mindre exakt metod som kallas *Dutch Lipid Score*, som uppskattar sannolikheten för att en patient lider av sjukdomen utifrån patientens kliniska egenskaper och familjehistoria. *Dutch Lipid Score* var utvecklad för att i första hand upptäcka personer som lider av sjukdomen i hela populationen, men eftersom bättre metoder inte är tillgängliga har den också använts inom specifika kliniker för personer med förhöjda kolesterolnivåer. Då blir det svårt att skilja mellan personer som har den genetiska sjukdomen och personer som har förhöjda kolesterolnivåer av en annan anledning.

För en snabbare och flexiblere diagnostiseringsprocess har vi utvecklat två maskininlärningsalgoritmer som kan användas på alla sjukhus för att diagnos-

tisera patienter som lider av FH. Maskininläring är ett område inom artificiell intelligens (AI) där maskiner lär sig regler för önskad funktion. Maskininläring kan användas för att lösa svåra problem som inte går att lösa med konventionella metoder som utgår ifrån förutbestämda regler. På samma sätt som människor lär sig saker så lär sig maskiner av exempel på data, det vill säga att den lär sig av erfarenhet att hitta mönster i data. I träningsfasen matas maskinen med kända data och kända svar. Maskinen börja utveckla regler för att få fram korrekta svar från data. Resultatet jämförs med de kända svaren, och beroende på hur mycket de skiljer sig uppdateras reglerna. Detta upprepas tills maskinen har lärt sig att ge de önskade svaren. Ett vanligt exempel är att lära maskinen att skilja mellan bilder på hundar och katter; har en maskin sett tillräckligt många bilder på hundar och katter kommer den att kunna skilja mellan dem.

För att träna algoritmerna använder vi data från patienter i Göteborg. Som träningsdata använder vi grundläggande variabler som ålder och resultat från blodprov som är tillgängliga på alla sjukhus, och som facit använder vi kända resultat



Figur 1: Vi har utvecklat två maskininlärningsalgoritmer, neurala nätverk (NN) och ett klassificeringsträd (CT), för att diagnostisera patienter som lider av den genetiska sjukdomen Familial hypercholesterolemia (FH) i två olika dataset från Göteborg och Milano. Båda algoritmerna överträffade det vanliga Dutch Lipid Score i båda dataseten.

från genetiska tester. En fulltränad algoritm kan förutsäga om en patient lider av sjukdomen eller inte. För att se hur exakta resultat algoritmerna ger testade vi dem på resterande data från Göteborg och även på patienter från Milano. Resultaten visar att båda algoritmerna överträffar Dutch lipid score för båda dataseten. Båda algoritmerna ger även bättre resultat för testdatasetet från Göteborg än för datasetet från Milano, vilket är förväntat eftersom algoritmerna har tränats på patienter från Göteborg. Det kan tyda på att populationen i Göteborg skiljer sig lite från den i Milano. Det vore intressant att se hur algoritmerna presterar för en annan population i Sverige eller om generaliserade regler kan hittas genom att algoritmerna tränas med data från patientgrupper i olika länder.

Vi har använt oss av två typer av maskininlärningsalgoritmer, nämligen neurala nätverk och ett klassificeringsträd. Neurala nätverk inspireras av biologiska nervsystem och försöker efterlikna hjärnans sätt att arbeta. Såna algoritmer är väldigt komplicerade och kallas ofta för "black-box"-algoritmer, vilket betyder att

deras beslut inte kan förklaras. Klassificeringsträd däremot är en enkel, transparent och tolkningsbar metod, som dock inte ger lika exakt resultat. Metoderna kompletterar varandra, och att använda båda metoder ger oss möjlighet att såväl få mer exakta resultat som att kunna bekräfta och förklara besluten till en viss nivå, vilket kan vara viktigt när det kommer till medicinsk diagnos.

Det är dock värt att påpeka att användningen av maskininlärningsalgoritmer generellt är begränsat på grund av paradigmen kring mindre exakta men enkla och tolkningsbara algoritmer och mer exakta men komplicerade "black-box" algoritmer. Frågan blir om det är viktigare att kunna förklara algoritmens beslut men få mindre exakt resultat eller att lita blint på algoritmen och få mer exakt resultat. Tolkningsbara algoritmer kan i många fall ge inblick i hur mer komplicerade algoritmer fattar beslut men det är omöjligt att säkert påstå att en tolkningsbar algoritm använder datasetet på samma sätt som en komplicerad algoritm och därför kommer till beslut av samma

anledning, även om båda algoritmerna ger förväntade resultat. För problem med höga insatser som i sjukvården är det därför väldigt viktigt att algoritmernas kvalitet valideras, men även att en säker diagnos, som genetiska tester i vårt fall, används vid minsta tvekan om algoritmernas prediktion.

SAGA HELGADOTTIR,
DOKTORAND VID
INSTITUTIONEN FÖR FYSIK,
GÖTEBORGS UNIVERSITET

GIOVANNI VOLPE,
PROFESSOR VID
INSTITUTIONEN FÖR FYSIK,
GÖTEBORGS UNIVERSITET

STEFANO ROMEO,
PROFESSOR I MOLEKYLÄR
OCH KLINISK MEDICIN
VID GÖTEBORGS UNIVERSITET
OCH SPECIALISTLÄKARE
I KARDIOLOGI VID
SAHLGRENSKA
UNIVERSITETS-
SJUKHUSET.

Artikelnas namn: Virtual genetic diagnosis for familial hypercholesterolemia powered by machine learning, European Journal of Preventive Cardiology, Feb. 2020.

Ett nytt sätt att skapa ultrakorta ljuspulser med en frielektronlaser

Korta ljuspulser används bland annat för att filma kemiska reaktioner och följa elektroners rörelser. Hittills har de kortaste ljuspulserna, attosekundspulser, skapats via övertongenerering när en mycket stark laser fokuseras i en gas av atomer. Nu har ett stort forskarlag, där forskare från Sverige ingår, demonstrerat ett nytt sätt att skapa ultrakorta ljuspulser genom att kontrollera kortvågigt ljus från en frielektronlaser. Metoden kompletterar övertongenerering och gör det möjligt att få bättre kontroll över pulserna, men också mycket högre intensitet.

För att kunna skapa korta ljuspulser behöver ljus med många olika färger (våglängder) blandas. Synligt ljus, med alla färgerna från rött till violett, går idag att kontrollera med extremt god precision, och synliga ljuspulser kan vi därför att forma nästan hur vi vill.

Men det går inte att skapa pulser som är kortare än tiden det tar för ljuset att svänga en gång. Det innebär att det inte går att använda synligt ljus för att skapa attosekundspulser. Anledningen till att vi vill skapa attosekundspulser är att det är den naturliga tidsskalan för elektronernas rörelser i atomer och molekyler. För att skapa kortare ljuspulser än vad som är möjligt med synligt ljus behövs ljus med kortare våglängd, ultraviolett eller extrem-ultraviolett. Tyvärr saknas idag verktygen att kontrollera ljus i det här våglängdsområdet.

Varför behöver vi kontrollera de olika färgerna för att skapa korta pulser?

Du har säkert egen erfarenhet av att blanda olika färger – gult och blått blir grönt, lägger du till lite rött så blir det

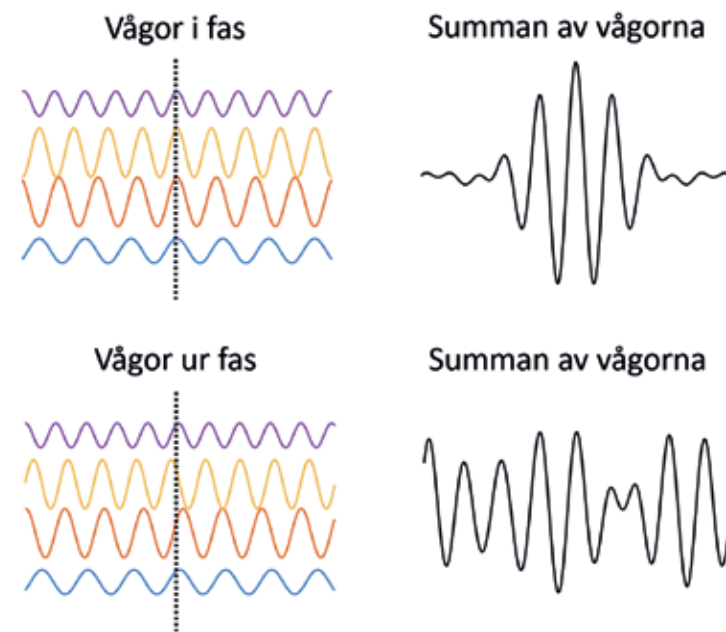


Figur 1. Redan som barn lär vi oss av erfarenhet att man kan få fram nya färger genom att blanda olika färger.

brunt. Hur mycket du använder av varje färg påverkar också resultatet. När vi adderar laserljus med olika våglängder får vi inte nya färger, utan istället ändras ljusets tidsstruktur och vi kan få korta ljuspulser – om vi gör rätt. Hur mycket vi använder av varje färg är viktigt, men det är också viktigt att kontrollera exakt hur ljuset svänger – vi vill att alla färgerna svänger tillsammans, då säger vi att de svänger i fas.

Vad betyder det att ljuset svänger i fas? Man kan jämföra de olika färgerna i ljuset med de olika instrumenten i en symfoniorkester. När man lyssnar på en orkester som värmer upp utan dirigent låter det inte så trevligt, alla instrumenten spelar var för sig och summan blir inte en symfoni utan en kakofoni. När dirigenten kommer in stämmer alla instrumenten upp tillsammans och det låter fantastiskt. På samma sätt behöver vi en ljusdirigent som styr hur ljuset svänger och ser till att det svänger i fas för att få så korta ljuspulser som möjligt.

För första gången kan vi nu styra kortvågigt ljus på samma sätt som dirigenten styr orkestern! Vi skapar flera olika färger



och har total kontroll både över deras styrka och deras relativa faser, vilket gör att vi kan kontrollera hur ljuspulserna ser ut. Det är nu möjligt att skapa så korta pulser som är möjligt med de olika färgerna, men det går också att ställa in alla möjliga andra former också. Du kan själv prova på att vara ljusdirigent i simuleringsprogrammet här:

<http://www.atomic.physics.lu.se/research/attosecond-xuv-spectroscopy/pulstaag/>

Ljuset som användes i experimentet genererades vid en frielektronlaser i Trieste, Italien, i ett stort samarbete lett av Giuseppe Sansone från Freiburg. Fram tills idag har det bara gått att skapa reproducerbara femtosekundspulser (en femtosekund är tusen attosekunder) vid frielektronlasrar. Det nya experimentet visar att det är möjligt att förstärka flera olika färger och att kontrollen över dem är så bra att det går att skapa attosekundspulser med hög reproducerbarhet.

För att mäta hur pulserna ser ut i tid behöver man dels mäta hur mycket vi har av varje färg, vilket görs relativt enkelt med en spektrometer, och vilken den relativa fasen mellan färgerna är, vilket är betydligt mer utmanande. Genom att jonisera en gas med pulserna från frielektronlasern tillsammans med en stark infraröd laser går det att mäta den relativa

fasen genom att studera symmetrin på jonisationen. Den infraröda lasern skapar så kallade sidband till elektronerna som är direkt joniserade av frielektronlaserpulserna. Hur många elektroner det är i sidbanden i olika riktningar beror på den relativa fasen. Genom att mäta korrelationen mellan olika sidband går det att direkt avläsa den eftersökta fasen. Om två på varandra följande färger till exempel har samma fas kommer sidbanden att vara direkt korrelerade. Om fasen sedan ändras med $\pi/4$ kommer korrelationen istället att bilda en ring (se figur 3). Med denna metod går det alltså att mäta den relativa fasen mellan flera olika färger, och eftersom denna fas går att kontrollera med en frielektronlaser går det alltså att forma ljuspulserna nästan hur man vill.

Att så korta och formbara pulser nu blir tillgängliga med frielektronlasrar öppnar för en bättre inblick i mikrokosmos och kommer att påverka hur nya frielektronlasrar designas. Och vem vet, kanske är det dags att bygga en frielektronlaser även i Sverige?

JOHAN MAURITSSON
LUNDS UNIVERSITET

Här kan du läsa artikeln i *Nature* av P M Kumar et al: *Attosecond pulse shaping using a seeded Free Electron Laser*. <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2005-6>

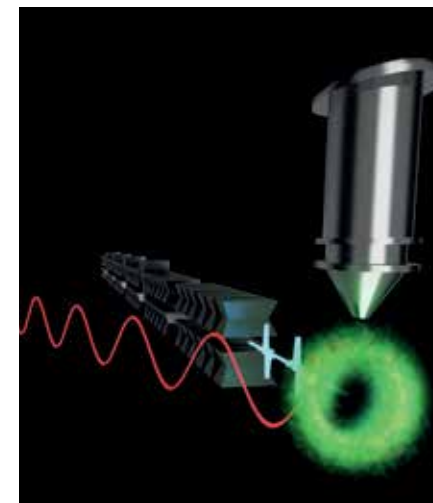
Figur 2. Då flera koherenta ljusvågor med olika färg svänger i fas som i den övre bilden skapas en väldigt kort puls. Om man ändrar den relativa fasen mellan vågorna går det att skapa andra pulsformer (nedre bilden).

FAKTA | Attosekund

Ultrakorta ljuspulser behövs för att kunna följa och förstå vad som händer i elektronernas värld. För att se vad elektronerna hittar på i kemiska reaktioner behöver vi ljuspulser som är otroligt korta – attosekundspulser. En attosekund är 0,000 000 000 000 001 sekunder, eller för att uttrycka det annorlunda – en attosekund förhåller sig till en sekund på samma sätt som en sekund förhåller sig till dubbla universums ålder.

FAKTA | Frielektronlaser

Frielektronlasrar är stora anläggningar som accelererar elektroner till relativistiska hastigheter för att skapa laserljus med korta våglängder. En frielektronlaser skapar ljuset genom att accelerera elektroner och sedan, med hjälp av magneter, tvinga dem att svänga fort fram och tillbaka.



Figur 3. En illustration av experimentet där pulserna från frielektronlasern kombineras med en infraröd laser för att mäta den relativa fasen mellan de olika färgerna.

DESIREE: Ömsesidig neutralisation och stjärnatmosfärer

Den dubbla elektrostatiske jon-lagringsringen, DESIREE, vid Stockholms universitet är i drift sedan några år tillbaka. Nu finns de första resultaten av reaktioner mellan joner lagrade i de två ringarna och därmed är alla initiala designmål uppfyllda. Negativt laddade vätejoner i den ena ringen reagerar med positivt laddade litiumjoner i den andra ringen och bildar väteatomer och litiumatomer vars kvanttillstånd bestäms i experimentet.

Resultaten har betydelse för att kunna bestämma förekomsten av litium i stjärnor utifrån astronomiska observationer.

DESIREE (Double ElectroStatic Ion-Ring ExpEriment) är ett instrument som utvecklats och byggts vid Stockholms universitet [1,2]. Det består av två elektrostatiske jon-lagringsringar med 8,7 m omkrets och en gemensam sträcka där de två jonstrålarna, som rör sig i samma riktning, kan fås att sammanfalla. Detta möjliggör studier av kollisioner mellan joner med motsatta laddningar vid låga och välkontrollerade relativa hastigheter. De kinetiska energierna i den relativa rörelsen är typiskt tiotals meV medan jonernas energi i laboriet är tiotals keV. De två lagringsringarna är inneslutna i samma kryogeniska vakuumbeklädnad, som är kylt till 13 K (eller -260°C). Detta leder till ett extremt bra vakuum med färre än tio vätemolekyler per mm³, vilket i sin tur gör att jonerna kan lagras väldigt länge (den hittills längsta medellivstiden

för lagrade jonstrålar är runt 45 minuter). Kombinationen av långa lagringstider och låg temperatur innebär att joner som producerats i exciterade tillstånd ges tid att emittera fotoner och därmed göra sig av med sin inre energi och nå det lägsta kvanttillståndet (grundtillståndet). Detta möjliggör experiment med internt kalla molekylära joner. Lagring av jonstrålar vid kryogeniska temperaturer är en ny teknik och det finns än så länge bara tre lagringsringar i världen där detta är möjligt. Utöver DESIREE är det CSR (Cryogenic Storage Ring) i Heidelberg [3] och RICE (RIKEN Cryogenic Electrostatic ring) utanför Tokyo [4]. I en förstudie för DESIREE konstruerade vi en elektrostatiske jonstrålefälla och mätte med den livstiden av negativa heliumjoner som bara existerar i ett metastabilt tillstånd [5]. Detta var samtidigt det första

experimentet med elektrostatiske lagrade joner vid kryogeniska temperaturer. Vid DESIREE har ett antal intressanta experiment där långsamma processer i joner lagrade i en av ringarna rapporterats. Till exempel den 8 minuter långa livstiden av ett exciterat tillstånd i negativt atomärt svavel [6], rotationell kylning av en ansamling av OH⁻ joner tills 97% av dem var i grundtillståndet, där deras totala rörelsemängdsmoment är noll, [7] samt detektion av elektronemission från diatomära silverkluster, en process som var helt oväntad ur teoretisk synpunkt [8].

Gemensamt för exemplen ovan är att experimenten gjordes med bara en av DESIREE:s två ringar. Vi har helt nyligen slutfört det första experimentet där båda ringarna använts. Vi har då studerat reaktioner mellan joner lagrade i varsin ring. Vi har utfört kvantupplösta mätningar

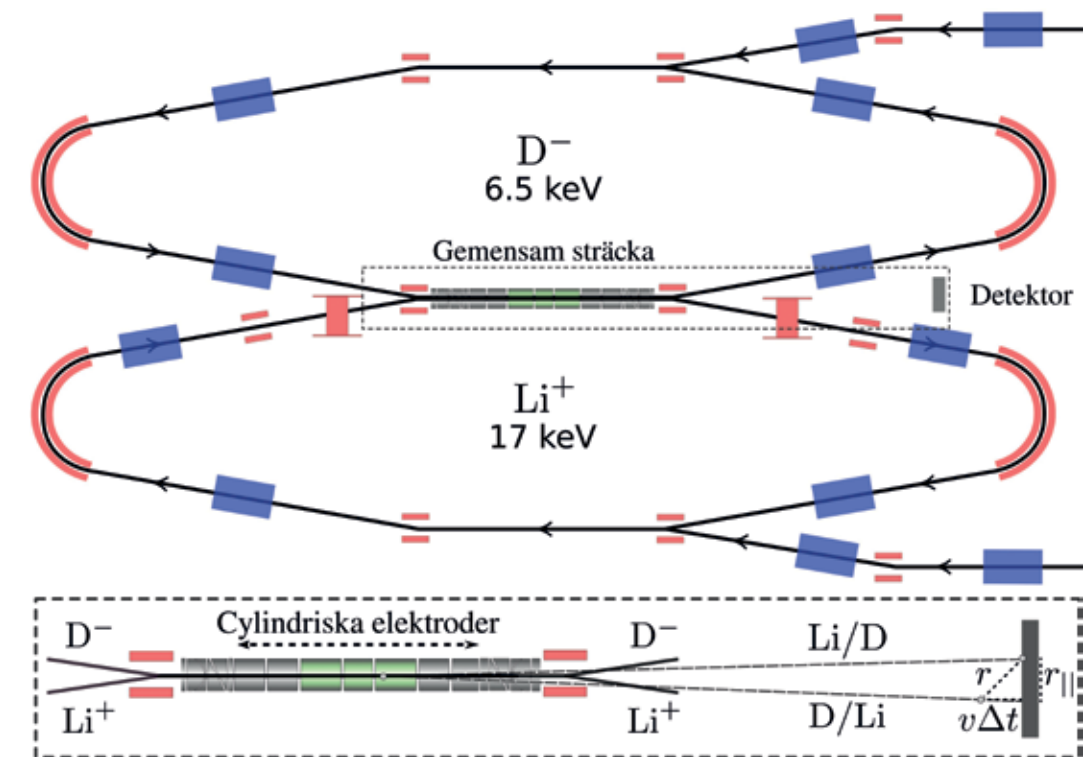
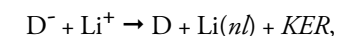


Fig. 1. De elektrostatiske element som utgör DESIREE:s två ringar. De röda elektroderna är avlänkningar som styr runt jonerna i ringarna. De blåa rektangelarna symboliserar elektrostatiske kvadrupol-linser som fokuserar jonstrålarna och är helt nödvändiga för att åstadkomma stabil lagring. Längs den gemensamma sträckan omges jonstrålarna av cylindriska elektroder. Genom att justera spänningen på dessa kan vi avstämning hastigheterna av de två strålarna. I experimentet som vi beskriver här lades spänning på de tre mittersta (gröna) elektroderna så att jonstrålarna där rörde sig med nära nog samma hastighet.

av ömsesidig neutralisation (MN efter det engelska namnet, Mutual Neutralization) mellan positiva litiumjoner, Li⁺ och negativa vätejoner, D⁻ (deuterium användes i stället för vanligt väte då det gjorde detta, det första dubbelringsexperimentet, något enklare). Reaktionen kan lite förenklat skrivas som:



där nl representerar den aktiva elektronens kvanttillstånd i Li atomen och KER är den energi som frigörs då elektronen blir hårdare bunden i litiumatomen än vad den var i vätejonen. Då det ju bara är två partiklar i sluttillståndet leder förändringen i intern energi för systemet som helhet till en förändring i summan av de två neutrala atomernas kinetiska energi. I experimentet låter vi de två jonerna närma sig varandra med mycket låg

relativ hastighet (den kinetiska energin i masscentrumssystemet före kollisionen är nära noll), vilket medför att den totala kinetiska energin i masscentrumssystemet efter kollisionen är nära KER . Om vi då mäter hur långt de två neutrala atomerna har avlägsnat sig från varandra under den tiden det tar dem att färdas till detektorn, då kan vi räkna ut KER och därmed se vilket kvanttillstånd, nl , i litium som elektronen har fångats till.

Fig. 1 visar de två jonlagringsringarna i DESIREE med deras gemensamma

sträcka i förstoring. När en neutraliseringsreaktion, MN, äger rum, så fortsätter de neutrala produkterna i de riktningar som de fick i kollisionen. Eftersom jonerna lagras med hög hastighet mätt i laboratoriesystemet fortsätter de – i stort sett – rakt fram och träffar en detektor som är placerad mellan de två lagrade jonstrålarnas banor. Detektorn är lägeskänslig och om den träffas av två atomer inom en mikrosekund, så registreras såväl deras lägen som tiden mellan de två träffarna. Från avståndet mellan punkterna där de två atomerna träffade detektorn och tiden mellan träffarna kan man enkelt bestämma det verkliga tre-dimensionella avståndet, r , mellan atomerna när den första av dem nådde detektorn. Vi använder det avståndet för att bestämma, KER , som motsvarar skillnaden i inre energi mellan slut- och initialtillstånd för

reaktionen $D^- + Li^+ \rightarrow D + Li(nl)$. Eftersom den kinetiska energin i kollisionen är liten (totalt meV) och jonisationsenergin för neutralt Li bara är $5,4 eV$ räcker energin inte till för att excitera D atomen, eftersom det skulle kräva mer än $10 eV$. Om vi antar att elektronen fångas till $3s$ -tillståndet i Li frigörs $1,27 eV$ och med de energier som vi använder för de lagrade jonstrålarna innebär det att Li- och D-atomerna avlägsnats sig $32 mm$ från varandra när de når detektorn under förutsättningen att reaktionen sker precis mitt i växelverkansområdet (se Fig. 1). Om istället elektronen fångas till $3p$ eller $3d$ tillstånden kommer bara $0,81 eV$ ($3p$) eller $0,76 eV$ ($3d$) att frigöras som kinetisk energi och avståndet mellan litium och väteatomerna när den första av dem når detektorn kommer då bara att vara ca $25 mm$.

Fig. 2 visar fördelningen av avstånd mellan par av atomer (Li, D) som skapas i $Li^+ + D^-$ reaktioner. Toppen vid avstånd av lite drygt $30 mm$ motsvarar att elektronen har förts över till $3s$ tillståndet toppen vid lite kortare avstånd motsvarar infångning till $3p$ eller $3d$. Genom att mäta makroskopiska avstånd av storleksordningen några cm kan vi således bestämma vilka mikroskopiska kvanttillstånd i atomerna som populerats i reaktionen.

Vi finner att vi formar litium i $3s$ tillståndet i $57,8 \pm 0,7\%$ av kollisionerna i meV -området. Denna kvot ingår som en viktig parameter i modellering av stjärnatmosfärer och har betydelse när man från observationer av stjärnspektra ska dra slutsatser om förekomsten av litium [9]. Just litium är av särskilt intresse då det verkar finnas en diskrepans mellan den observerade mängden litium i mycket gamla metallfattiga stjärnor och den litiummängd som enligt de kosmologiska modellerna bildades strax efter Big Bang [10]. Den roll som MN spelar i stjärnatmosfärer är en av många detaljer som behöver undersökas närmare för att så småningom kunna förklara dessa skillnader.

Vid DESIREE pågår nu för fullt den experimentella verksamheten med jonstrålar i ena eller båda ringarna. Andra

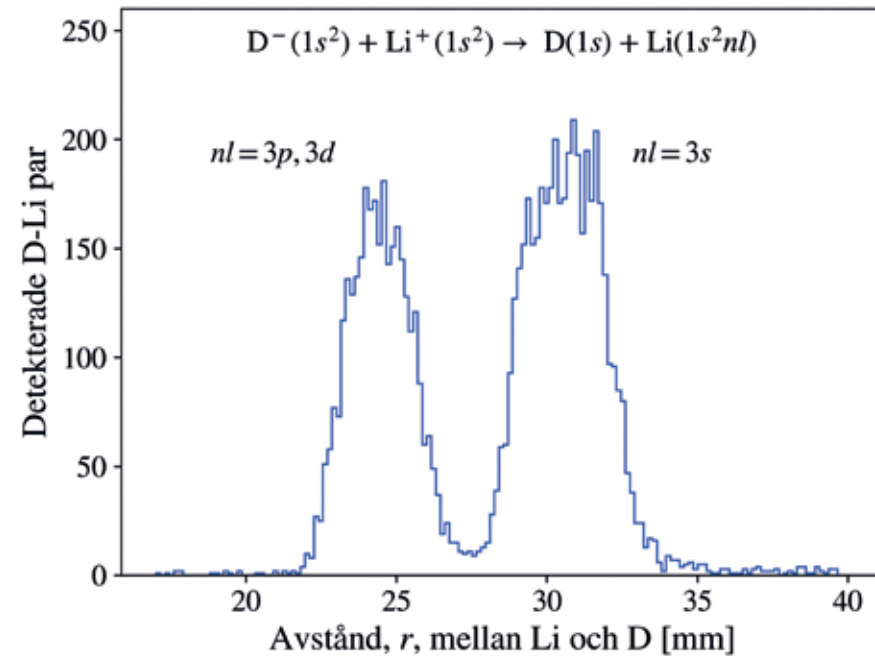


Fig. 2. Fördelning av mätta tre-dimensionella avstånd, r , mellan par av väte- och litiumatomer formade i MN processer vid låg relativ hastighet. När elektronen fångas till $3s$ tillståndet i litium frigörs mer kinetisk energi och de två atomerna hinner avlägsna sig längre från varandra än om elektronen fångas till $3p$ eller $3d$.

atomära kollisionssystem undersöks och de första experimenten med molekylära joner som växelverkar med varandra pågår. DESIREE är numera en nationell infrastruktur som erbjuder svenska och utländska forskargrupper stråltid för experiment med lagrade jonstrålar. Mer information om DESIREE kan man hitta på infrastrukturens hemsida:

<https://www.desiree-infrastructure.com/>.

GUSTAV EKLUND,
STOCKHOLMS UNIVERSITET
STEFAN ROSÉN,
STOCKHOLMS UNIVERSITET
HENNING ZETTERGREN,
STOCKHOLMS UNIVERSITET
JON GRUMER,
UPPSALA UNIVERSITET
RICHARD D. THOMAS,
STOCKHOLMS UNIVERSITET
HENRIK CEDERQUIST,
STOCKHOLMS UNIVERSITET
PAUL S. BARKLEM,
UPPSALA UNIVERSITET
HENNING T. SCHMIDT,
STOCKHOLMS UNIVERSITET

- [1] R. D. Thomas *et al.* Rev. Scient. Instrum. **82**, 065112 (2011)
- [2] H. T. Schmidt *et al.* Rev. Scient. Instrum. **84**, 055115 (2013)
- [3] R. von Hahn *et al.* Rev. Scient. Instrum. **87**, 063115 (2016)
- [4] Y. Nakano *et al.* Rev. Scient. Instrum. **88**, 033110 (2017)
- [5] P. Reinhard *et al.* Phys. Rev. Lett. **103**, 213002 (2009)
- [6] E. Bäckström *et al.* Phys. Rev. Lett. **114**, 143003 (2015)
- [7] H. T. Schmidt *et al.* Phys. Rev. Lett. **119**, 073001 (2017)
- [8] E. K. Anderson *et al.* Phys. Rev. Lett. *in press* (2020)
- [9] P. S. Barklem, A. Belyaev, and M. Asplund, Astronomy & Astrophysics **409**, L1 (2003)
- [10] B. D. Fields, Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. **61**, 47 (2011)

Besluten om CERNs framtid närmar sig – vilket spår ska partikelfysiken i Europa välja?

Upptäckten av Higgspartikelns har ännu inte hunnit fylla 10 år, men redan nu planerar Europas partikelfysiker för en dedikerad Higgsfabrik vid CERN, den Europeiska organisation för kärnfysik vid gränsen mellan Frankrike och Schweiz nära Genève. Fabriken, en gigantisk maskin skräddarsydd för att producera och studera Higgspartikelns och dess växelverkan med annan materia med mycket hög precision, är planerad att tas i bruk i mitten av 2030-talet. Den kommer då att efterträda den befintliga acceleratorsanläggningen The Large Hadron Collider (LHC) som 2027 går in i sin slutliga fas med projektet The High-Luminosity Large Hadron Collider (HL-LHC) som innebär en stor uppgradering av LHC och dess detektorer och syftar till att öka kollisionstaken och samtidigt förbättra mätprecisionen för att på så vis öka chansen för nya upptäckter. Den efterkommande Higgsfabriken är tänkt att kollidera partiklar långt in på andra halvan av århundradet. Nedan diskuteras två av de mest intressanta förslagen som rör en framtida acceleratorsanläggning vid CERN: The Compact Linear Collider (CLIC), en i steg utbyggbar linjär accelerator, upp till $50 km$ lång, för kollision av elektroner med positroner (antielektroner), samt The Future Circular Collider (FCC), en $100 km$ lång cirkulär accelerator som först föreslås kollidera elektroner med positroner och sedan uppgraderas till en proton-kolliderare.

Det kan tyckas konstigt att redan nu projektera för en så avlägsen framtid, men storleken på projektet kräver mycket god framförhållning. Faktum är att diskussionerna som föranledde LHC och dess föregångare The Large Electron-Positron Collider (LEP), som var verksam i samma tunnel mellan åren 1989-2000, började redan i slutet av 1970-talet. Den nya anläggningen kommer bli betydligt större än LHC, men både kostnaden och en del av byggnadsarbetet kan spridas ut under flera årtionden vilket talar för att projektet, trots sin skala, skulle kunna genomföras med en liknande finansieringsmodell som användes vid LHC. När det kommer till det vetenskapliga finns det odiskutabelt mycket spännande fysik kvar att upptäcka även utöver de planerade detaljstudierna av Higgspartikelns, till exempel: Vad är mörk materia? Hur kommer det sig att vi lever i en värld dominerad av materia och inte anti-materia? Partiklarna som studeras må vara materiaens minsta beståndsdelar men de vetenskapliga frågorna, projekten och samarbetet som gör det möjligt är på alla sätt Big Science.

Uppdateringen av The European Strategy of Particle Physics (ESPP) är en öppen process för att staka ut och vägleda Europas forskning inom partikelfysik och inte minst dess finansiering på lite längre sikt. Processen initieras ungefär vart femte till sjunde år av en särskild strategigrupp

som formellt arbetar under vägledning av CERNs rådsförsamling vilken består av representanter från CERNs medlemsländer, däribland Sverige. Just nu arbetar strategigruppen med att sammanställa sin senaste rapport där de föreslagna projekten nogt vägs mot de vetenskapliga mål som satts upp för de kommande åren. På så vis hoppas man att den bästa vägen framåt ska utkräslas. Denna omgång kom en stor del av diskussionerna att handla om just nästa stora projekt vid CERN och lika stor som enigheten är att man bör satsa på en Higgsfabrik, lika spretiga är åsikterna om vilket projekt som är bäst lämpat. Klart är iallafall att de nästkommande decennierna kommer att handla om att studera Higgspartikelns med så hög precision som möjligt och att nästa maskin vid CERN kommer att vara minst lika ambitiös som LHC inför sin uppgift. Nämnas bör också att inom ramen för ESPP diskuteras flera förslag som inte grundar sig på byggandet av nya stora accelerators, till exempel anläggningar för studier av axioner och så kallade mörka fotoner som skulle kunna belysa frågan om mörk materia.

CERNs nuvarande accelerator LHC accelererar och kolliderar oftast protoner, men även tyngre joner, som t ex blykärnor. Dessa är sammansatta partiklar uppbyggda av kvarkar och gluoner som i likhet med elektroner tillhör skaran av naturens minsta be-

ståndsdelar. En viktig distinktion är dock att varken kvarkar eller gluoner existerar fritt i naturen utan endast i sammansatta tillstånd. Kvarkarna och gluonerna växelverkar mycket starkt med varandra vilket komplicerar vår förståelse av vad som händer i protonkollisioner; bland annat skapas en stor mängd bakgrunds-partiklar som måste filtreras bort för att kunna studera den underliggande intressanta kollisionshändelsen. I kontrast till detta är kollisioner mellan elektroner och positroner, som inte deltar i den starka växelverkan, relativt enkla att modellera. Dessutom kan man med högre precision mäta energin och andra egenskaper hos de kolliderande partiklarna innan kollisionsoögonblicket vilket ytterligare underlättar en fullständig rekonstruktion från de detekterade sönderfallsprodukterna. Dessa egenskaper lämpar sig väl för en Higgsfabrik där målet är att nå högsta möjliga precision så att även små avvikelser kan observeras.

Desto svårare är det att nå en hög kollisionsenergi vid en elektron-positron accelerator. I en cirkulär accelerator, som vid LHC, kan partiklarnas energi gradvis byggas upp genom att cirkulera och varje varv erhålla en mindre mängd extra energi (i LHC cirkuleras partiklarna mer än 10 miljoner gånger medan de accelereras till sin kollisionsenergi, en process som tar ca 20 minuter). När partiklarnas bana böjs till en cirkel i de starka magnetfälten avger de så kallad synkrotronstrålning, vilket betyder att partiklarna förlorar en del av sin energi. Förlusterna ökar ju högre energi partiklarna har, och är särskilt problematiskt för lätta partiklar som elektroner. Strålningen sätter därmed en effektiv gräns för hur hög energi som kan uppnås vid en cirkulär elektron-positron accelerator av bestämd storlek. I kontrast till detta är acceleration av protoner i stället begränsad av hur starka magnetfält som kan uppnås, där högre fältstyrka krävs för att nå högre energier givet en fix radie. För FCC som föreslås byggas i en 100 km lång tunnel under jord begränsar energiförlusterna via synkrotronljus energin till några hundra Giga-elektronvolt (GeV)

för elektron-positron kollisioner medan en betydligt högre energi på 100 Tera-elektronvolt (TeV) (1 TeV = 1000 GeV) är möjlig för protoner, den senare siffran för dipolmagneter med en fältstyrka på 16 Tesla.

Högre energier för elektron-positron kollisioner kan uppnås i en accelerator som CLIC; upp till 3 TeV är planerat för dess slutliga fas. Här undgår man hela problematiken kring synkrotronstrålning genom att accelerera partiklarna längs en upp till 50 km lång rak tunnel under jord, till större delen fylld med fokuserande magneter och accelerationsstrukturer. De senare arbetar vid en fältstyrka på 100 MV/m vilket kan jämföras med de vid LHC på 5 MV/m. Eftersom partiklarna här inte cirkuleras måste i stället hela kollisionsenergin uppnås i ett svep (för kollisioner vid 3 TeV innebär det en tid på 0,00007 sekunder) vilket utöver den högra fältstyrkan ställer stora krav på partikelstrålens stabilitet, intensitet och kvalitet.

Kollisionerna vid CLIC projekteras i tre olika faser om ca 7-8 år mellan vilken maskinen förlängs för att höja både kollisionsenergin och kollisionstakten. I den första fasen kollideras elektroner och positroner vid 350-380 GeV och producerar där en stor mängd Higgs-partiklar och topp-kvarkar. Ingen av dessa partiklar har hittills studerats i kollisioner mellan elektroner och positroner. I nästa fas höjs energin till 1,5 TeV för att slutligen nå rekordhöga 3 TeV. Det tidigare rekordet för kollisioner av elektroner och positroner kommer från LEP och ligger på 209 GeV. Genom att studera kollisioner vid olika energier får man tillgång till olika produktionsprocesser och kan på så vis lära sig mer. Vid de högre energierna finns även rum för att direkt producera och upptäcka nya partiklar som kan ha undgått detektion vid LHC. Tekniken som används i CLIC för att accelerera partiklar bygger på ett innovativt koncept som innebär att två partikelstrålar löper parallellt med varandra och där den ena, den så kallade drivstrålen, kontinuerligt överför en del av sin rörelseenergi till huvudstrålen av elektroner



(positroner). Drivstrålen består i båda fallen av en elektronstråle med mycket hög intensitet. Denna teknik kan liknas vid en gigantisk transformator och är betydligt mer effektiv än klassiska metoder för linjär acceleration för energier över 1 TeV.

FCC projektet planeras genomgå två olika faser som likt LEP/LHC bygger på en gemensam infrastruktur; i detta fall en 100 km lång underjordisk tunnel i vilken olika accelerations- och magnetelement installeras. I den första fasen, FCC-ee, installeras en Higgsfabrik, en maskin för kollision av elektroner med positroner som opererar vid flera olika kollisionsenergi mellan ungefär 91 och 365 GeV. Anledningen är här samma som för

CLIC, genom att variera kollisionsenergin får man tillgång till olika produktionsprocesser. I nästa fas installeras en helt ny accelerator i tunneln, FCC-hh (h-et står för hadron som är den grupp av sammansatta partiklar vilken bland annat inkluderar protoner och neutroner), med mål att kollidera protoner vid rekordhöga 100 TeV. Inom ramen för FCC-projektet undersöks också möjligheten att kollidera elektroner med protoner (FCC-eh). Det skulle vara intressant för att till exempel få en bättre förståelse av protonens inre struktur som vi ovan nämnt som en begränsande faktor för precisionsfysik vid proton-proton kollisioner.

Installation of a new layer of pixels in the ATLAS tracker. Foto: Claudia Marcelloni/CERN.

Hur ska vi kunna värdera vilket projekt som är bäst lämpat för framtiden? Allmänt kan man säga att det finns två olika sätt att leta efter ny fysik inom accelerator-baserad partikelfysik. Det ena går ut på att direkt producera det nya fenomenet eller partiklarna genom att återskapa en miljö där det/de gärna framträder, det andra går ut på att indirekt observera den nya fysiken genom dess effekt på en omgivning som vi kan kontrollera med mycket hög precision.

Eftersom vi hittills inte har observerat några signifikanta bevis för ny fysik är det intressant att tänka sig att den förklaring vi söker för till exempel mörk materia finns vid högre energier än vad vi idag kan nå. Det är denna anledning som ligger till grund för att både CLIC och FCC generellt strävar efter att nå en så hög kollisionsenergi som möjligt. Men värdet av ett program för precisionsfysik, särskilt med grund i elektron-positron kollisioner, som siktar in sig på den indirekta metoden ska inte underskattas. Särskilt intressant för denna diskussion är modeller för ny fysik som finns vid energier långt över en accelerators kollisionsenergi, som ändå kan observeras genom avvikelser i mätningar vid betydligt lägre energier. Givet en viss modell för ny fysik är det alltså inte avgjort vilken metod som är bäst lämpad att upptäcka den. Det innebär bland annat att CLIC trots sin, i jämförelse med FCC's protonprogram, blygsamma kollisionsenergi, ändå kan ha större möjlighet att upptäcka ny fysik. Vanligtvis i debatten ställs alltså precisionsfysik mot det som kallas fysik vid "the energy frontier", men man ska komma ihåg att forskarna också gör sitt bästa för att få dessa två till synes disjunkta strategier att närma sig varandra. I andra avseenden komplementerar de båda projekten varandra; medan FCC har en överlägsen räckvidd i energi har CLIC ofta bättre möjligheter att i detalj studera en ny partikels egenskaper givet att den kan produceras även i CLIC.

Både FCC-ee och de två första faserna av CLIC (upp till 1.5 TeV), vilka projekteras på en jämförbar tidsskala, har kapacitet att gå betydligt djupare i vår jakt att förstå Higgs-partikelns natur än någon tidigare forskningsanläggning. På så vis erbjuder de garanterad intressant fysik i många år framöver, varefter man kan reflektera över nästa steg. Infrastrukturen vi väljer bör därför vara någorlunda flexibel för att kunna anpassas till framtida tekniska möjligheter. Beslutsprocesser kompliceras ytterligare av frågor som bibehållning av nyckelkompetens och inte minst finansiella aspekter. Samtidigt i andra delar av världen, bland annat Japan, Kina, och USA, förbereder man sig också för nästa generations accelerators och experiment, och en viss koordination och synergi i valet av anläggning är att vänta.

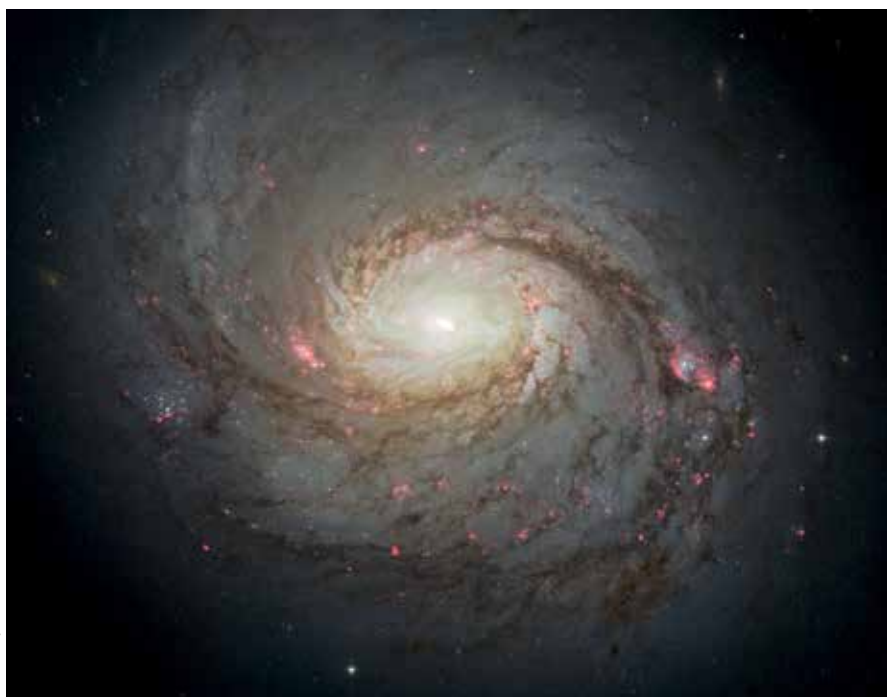
Forskningen som utgör grunden i de olika förslagen kommer oavsett att utgöra en nytta för mänskligheten. Bland annat har de årtionden av forskning av så kallad X-band teknik, som möjliggör de höga accelerationsfälten för CLIC, stor potential för utvecklingen av kompakta accelerators för cancerbehandling och utvecklingen av magneterna för FCC's protonprogram är av stort intresse för nästa generations Magnetresonanstomografi (MRI).

CERN har tillfälligt stängt ner på grund av COVID-19 pandemin och CERNs råd har senarelagt sitt beslut kring ESPP. Men snart ska partiklarna förhoppningsvis åter kollidera och CERN som forskningsanläggning och grogrund för innovativa lösningar och gränsöverskridande samarbeten fortsätta.

Nature Physics April-nummer fokuserar särskilt på beslutprocessen kring ESPP och belyser flera av de olika förslagen för CERNs framtid i detalj; tillsammans med min kollega Eva Sicking på CERN sammanfattar jag där CLIC-projektet och dess vetenskapliga mål.

RICKARD STRÖM
CERN

IceCube ser skymt av en tänkbar källa till kosmisk strålning



Den relevanta galaxen M77 sedd från Hubbleteleskopet.

Jorden bombarderas ständigt av kosmisk strålning – laddade subatomära partiklar och atomkärnor från rymden. De flesta kommer från solen och har låga energier, men några har så extremt höga energier att de måste ha alstrats av källor bortom Vintergatan. Magnetfälten i vår galax är så svaga att de inte skulle kunna hålla dem kvar om de producerats här. Var kommer dessa extrema partiklar ifrån? Ja, detta är en gåta som efter decennier av undersökningar fortfarande saknar svar! De elektriskt laddade kosmiska partiklarna färdas inte rakt genom universum utan böjer av i magnetfälten mellan galaxerna och pekar inte tillbaka på sina ursprungskällor. Å andra sidan skulle högenergetiska neutriner från samma objekt kunna skänka oss nyckeln till gåtans lösning.

Neutriner är ”spöklika” subatomära partiklar som inte har elektrisk laddning. De böjs därför inte av i magnetfält och rör sig i stort sett obehindrat genom universum – i motsats till t.ex. gammastrålning som påverkas och absorberas av den kosmiska mikrovågsbakgrunden när den färdas långa sträckor. Sökande efter ”neutrinojärnor”, punkter på himlen varifrån det kommer ovanligt många högenergetiska neutriner, skulle kunna

leda till upptäckten av avlägsna regioner som accelererar den kosmiska strålningen till kolossala energier.

Efter tio års datatagning publicerar forskarna vid neutrinoobservatoriet IceCube nu resultaten av en analys av över en miljon händelser som sannolikt alstrats när högenergetiska neutriner krockat med atomer i eller nära detektorerna. IceCube består av över 5000 ljuskänsliga sensorer, jämt utspridda över en kubikkilometer stor volym djupt nere i den klara glaciären vid Sydpolen. Sensorerna fångar upp glimtar av det blåa Tjerenkovljus som uppkommer när elektriskt laddade partiklar rör sig genom isen. Dessa alstras i krocken där neutrinet förstörs och den frigjorda energin omvandlas till subatomära partiklar som fortsätter i neutrinos ursprungliga riktning. För ett par år sedan identifierade IceCube för första gången ett himmelskt objekt som en potentiell högenergetisk neutrino-källa – och därmed sannolikt en accelerator av högenergetisk kosmisk strålning.

Att söka efter astrofysikaliska neutrino-källor är en utmaning, mot bakgrunden av det enorma flödet av neutriner och andra partiklar från atmosfären. De jämförelsevis få neutriner från avlägsna extragalaktiska objekt måste därför extraheras från data med hjälp av statistiska metoder. IceCube avsåg nu systematiskt hela himlavalvet för att identifiera punktkällor för neutrinostrålning, oberoende av om dessa redan var kända som källor för gammastrålning eller ej. Analysen fann ett överskott av högenergetiska neutriner från en riktning som, efter jämförelse med astronomiska kataloger, visade sig peka mot en så kallad aktiv galax, NGC1068.

Denna galax, också känd som M77, är en stavgalax i stjärnbilden Valfisken, nästan 50 miljoner ljusår bort. Den har en mycket ljusstark inre kärna som döljer ett svart hål. Kärnan omges av hett rymdstoft och plasma. M77 är därmed precis den sortens objekt som förmodas alstra kosmisk strålning tillsammans med högenergetiska neutriner.

Den statistiska signifikansen är på nivå 3 sigma vilket inte räcker för att definitivt göra anspråk på upptäckten av en



IceCube.

© Felipe Pedraza, IceCube/NSF

neutrinojärna, men indikerar att vi står på tröskeln till neutrinoastronomi. IceCube fortsätter att samla data och M77 kommer givetvis att vara högtintressant under de kommande åren.

OLGA BOTNER
UPPSALA UNIVERSITET

Referens:

IceCube Collaboration (M.G. Aartsen et al.), *Time-integrated Neutrino Source Searches with 10 Years of IceCube Data*, Phys. Rev. Lett. 124, 051103 (<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.124.051103>)

KOSMOS 2020

Svenska fysikersamfundet grundades 1920. Ett år senare kom första upplagan ut av årsboken KOSMOS. Med något enstaka undantag så har skriften därefter utkommit varje år. I en tid då nästan all vetenskap förmedlas på andra språk än svenska så fyller KOSMOS kanske en än viktigare roll än den gjorde 1921.

Undertecknad har fått det närmast omöjliga uppdraget att efterträda Sören Holst som redaktör för KOSMOS att försöka leva upp till den kvalitet som han, och tidigare Leif Karlsson, John-Erik Thun och andra, har åstadkommit. Med hjälp av samfundets medlemmar och dess duktiga skribenter så ska det dock gå att prestera även ett nummer 2020 av KOSMOS.

Förra året definierades SI-systemet om i grunden, med bland annat en ny

definition av kilogrammet. Detta kommer att få långtgående konsekvenser för vetenskap och samhälle. KOSMOS 2020 kommer att uppmärksamma detta genom ett nummer på temat ”Enheter och naturkonstanter”. Förutom de nya vågar som definierar enheten för massa så kommer också atomklockor, längdmätningar och annat att behandlas. Bland bekräftade skribenter kan nämnas Karin Cedergren, Leslie Pendrill och Martin Zelan.

När det gäller KOSMOS på lite längre sikt så vill jag uppmuntra samfundets medlemmar att komma med förslag på teman, uppsatser och författare för kommande upplagor.

ANDERS KASTBERG

Europeiska Fysiker- samfundets program för Fysikhistoriska platser

För 10 år sedan startade Amerikanska Fysikersamfundet ett initiativ för att uppmärksamma platser i USA där viktiga fysiktildragelser ägt rum och en kort tid därefter initierade den nyutträdde ordföranden för Europeiska Fysikersamfundet (EPS), Luisa Cifarelli, motsvarande program bland medlemsländerna i EPS. På senare tid har även Europeiska Kemist-samfundet tagit ett liknande initiativ. Likheterna till trots arbetar man på olika sätt. I USA utser man platser inom två kategorier: en av nationell och internationell betydelse och en annan av lokal betydelse. Nomineringar kan skickas in en gång om året. I Europa är det istället möjligt att nominera under hela året, men av praktiska skäl utvärderas dessa nomineringar 3–4 gånger om året. Viktigt är att förslagen förankrats i de nationella fysikersamfundet. De inkomna förslagen utvärderas sedan av en kommitté (EPS HSC) med fysikhistorisk kompetens och intresse. Arbetet bedrivs med hjälp från EPS kansli i Mulhouse.

I skrivande stund har i EPS invigt 53 fysikhistoriska platser i 21 olika länder. Därutöver har det Europeiska och det Amerikanska Fysikersamfundet gemensamt utsett Einstein Haus i Bern och Institute for Advanced Studies i Princeton där Einstein arbetade. EPS har emellertid inte delat upp sina utnämningar i olika kategorier som man gjort i USA, vilket gör att de utsedda platserna i Europa kan te sig vara av olika dignitet. Men om inget annat visar denna bredd på att fysik inte bara är en sak, utan en mångfacetterad verksamhet bedriven på många olika håll – alla uttryck för en levande vetenskaplig kultur



Till EPS 50-årsjubileum gjordes en broschyr med de ditintills invigda fysikhistoriska platserna. Broschyren kan läsas på: <http://epn.eps.org/historic-sites-booklet#p=0>

Invigningarna av dessa platser möjliggör PR för en plats eller institution som vill uppmärksamma sin historia, de erbjuder rika möjligheter att uppmärksamma fysikens många viktiga bidrag till vår vetenskapliga världsbild och kunskap, likaså uppmärksammas samtidigt fysikens långa och centrala kulturhistoria i Europa vilket möjliggör en bredare förståelse av och mandat för fysiken. Väl så viktigt för att kunna bedriva fysikforskning framåt.

Vad är det då som kan komma ifråga? Det står på EPS hemsida att "The EPS Historic Sites Award commemorates places in Europe important for the development and the history of physics." Sådana platser kan vara laboratorier, andra byggnader, institutioner, universitet, städer

osv. som är förknippade med en viktig händelse, upptäckt eller forskning inom fysiken utförd av en eller flera fysiker. Detta inkluderar även platser där instrument och/eller utrustning konstruerades och som gav betydande bidrag till fysikforskningen.

Poängen är alltså inte i första hand att uppmärksamma en eller några fysiker utan det är *platser* där något avgörande och intressant ägde rum. Viktigt att notera är att sedan en plats utsetts kan den inte tilldelas ytterligare utnämningar. Det innebär att de utsedda platserna har olika karaktär och dignitet och utnämningarna skall inte förstås som ett slags facit till fysikhistorien enbart, utan som ett sätt att skildra fysikens viktiga roll genom den europeiska historien.

Sverige har till dags dato två fysikhistoriska platser utsedda. Den första att utses var ön Ven i Öresund där Tycho Brahe påbörjade den moderna astrofysikaliska forskningen genom sina noggranna observationer för nästan 500 år sedan. Nästa bidrag på svensk mark var det Uddmanska huset i Kungälv. Där bodde österrikiskan Lise Meitner julen 1938, som tidigare under året tvingats fly till Sverige från Berlin och de nazistiska judeförjelseerna. I Kungälv befann hon sig för att fira jul hos sin gamla fysikerkollega, Eva von Bahr-Bergius, och dit kom även Meitners systerson Otto Robert Frisch från Köpenhamn med de senaste resultaten från Meitners samarbetspartner i Berlin, Otto Hahn. När Lise och Otto Robert promenerade ner julmaten diskuterade de hur de senaste resultaten skulle tolkas och då kom Meitner att formulera fissionsprocessen för första gången.

Philologicum i Uppsala uppfört 1859 för fysik- och kemiinstitutionerna, där Anders Ångström var verksam.



Ytterligare två platser i Sverige har nyligen utsetts till Fysikhistoriska platser att invigas under 2020 (med reservation för pågående epidemi). Det gäller först Lund där gamla Fysicum och den verksamhet som Janne Rydberg bedrev där, särskilt den formel han nedtecknade med en konstant (senare benämnd Rydbergs konstant), vilken vägledde mycket av den efterföljande fysikforskningen om atomernas struktur som ledde fram till vår nuvarande uppfattning om mikro-



Nuvarande Pufendorfinstitutet i Lund byggdes som fysikinstitution 1885 och där var Janne Rydberg verksam.

kosmos. Det är meningen att den invigningen skall äga rum 26 maj 2020, men i skrivande stund är det oklart om det kan ske då.

Svenska Fysikersamfundet fyller 100 år i höst och står av den anledningen som arrangör av Nordiska Fysikerdagarna – Nordic Physics Days 2020 – vilka ska äga rum 19–21 augusti i Uppsala. I skrivande stund hoppas man alltjämt kunna genomföra dessa dagar i Uppsala. Och på den sista av dessa dagar är det meningen

att den fjärde svenska fysikhistoriska platsen ska invigas, nämligen Philologicum i Uppsala, där Anders Ångström bedrev sin banbrytande verksamhet inom spektroskopikopi, vilket som bekant fått som resultat att han givit namn till den i atomfysikaliska sammanhang relevanta måttenheten $10^{-10} \text{ m} = 1 \text{ Å} = \text{en Ångström}$.

Hittills har detta program betraktats som framgångsrikt av EPS. Och med tillskott av dessa två platser blir det ännu framgångsrikare och Sveriges rika fysikhistoria får en välförtjänt och bättre synlighet!

KARL GRANDIN
ORDFÖRANDE I EPS HSC

Referenser

- https://www.eps.org/page/distinction_sites
K. Grandin, "Janne Rydberg och Bohrs atommodell," *Fysikaktuellt*, nr 1 (2013), 6–8.
S. Widmalm, *Det öppna laboratoriet: Uppsalafysiken och dess nätverk 1853–1910* (Stockholm, 2001).

Antiatomer och sökandet efter ny fysik

Den som följer en kurs i modern fysik märker snart att väteatomen spelar en central roll. Allt mer precisa studier av väteets spektrum drev fram nya och allt mer förfinade teorier under första halvan av 1900-talet. Från Niels Bohrs första kvantiserade modell och senare en kvantmekanisk beskrivning, via Diracs relativistiska kvantmekanik som beskriver finstruktur och hyperfinstruktur då den appliceras på elektronen respektive protonen, till Lamb-skiftet som inte kunde förstås förrän en radikalt annorlunda teori, kvantelektrodynamiken, hade utvecklats.

Så innebär det att vi är klara? Nej! Standardmodellen, som innehåller kvantelektrodynamiken, stämmer förvisso med alla experiment än så länge. Fortsatta mätningar på väteatomen med extremt hög noggrannhet (relativ osäkerhet $4 \cdot 10^{-15}$) stämmer t.ex. helt med standardmodellens förutsägelser. Ändå finns det flera problem med standardmodellen, vilket gör att de flesta fysiker menar att även denna behöver ersättas av en mer förfinad teori.

En fråga standardmodellen inte kan besvara är hur det kommer sig att det över huvud taget finns någon materia i universum. Diracs relativistiska kvantmekanik förklarade framgångsrikt finstrukturen i väteets spektrum, men som en (då oönskad) biprodukt förutsa den också att det förutom elektroner också finns positroner (anti-elektroner), vilket så småningom visade sig vara helt riktigt. Positroner är precis som vanliga elektroner förutom att de har motsatt elektrisk laddning (alltså $+e$ då elektronens laddning är $-e$). Även

protoner har en motsvarande antiproton, som har laddningen $-e$. Dessutom så förntas både partikel och antipartikel om de träffar på varandra. Samma process kan också gå åt andra hållet; om tillräckligt med energi finns tillgängligt kan partikel-antipartikel par skapas. Eftersom de både skapas och förntas parvis borde vi för varje elektron i universum räkna en positron, vilket vore dåligt eftersom all antimateria skulle ta ut all materia och inget bli kvar. Uppenbarligen består dock vårt universum av materia, så något måste vara fel.

Om standardmodellen är riktig så är en antipartikel en perfekt spegelbild av en vanlig partikel. Så om man tar en positivt laddad positron och sätter ihop med en negativt laddad antiproton får man precis samma Coulomb-växelverkan som mellan en negativ elektron och en positiv proton. Därför måste en antiväte-atom ha precis samma energinivåer som en vanlig väteatom, det vill säga samma finstruktur, hyperfinstruktur, Lambskift o.s.v. Minsta lilla skillnad skulle alltså visa att något är fel, och därmed ge en trådande att börja nysta ifrån. Med tanke på hur väl uppmätt vanligt väte är ger samma mätningar på antiväte extremt noggranna tester av materie-antimaterie symmetrin.

Detta är just vad vi på ALPHA-experimentet arbetar med. Vi får ungefär 90000 antiprotoner per puls från CERNs Antiproton Decelerator (AD) och blandar med 3 miljoner positroner från naturligt beta-sönderfall av en natrium-isotop. Ur blandningen får vi ut omkring 60000 antiväte-atomer. Av dessa har 10-30 så pass låg rörelseenergi (mindre än motsva-



Foto: ©CERN

rande en temperatur på 0,5 Kelvin) att de kan hållas fast med hjälp av magnetfält. Processen upprepas var fjärde minut under ett par timmar tills vi till sist har flera hundra antiatomer (upp till 1000) i vår atomfälla. Där går det att hålla kvar dem i många timmar. Med tillräckligt antal antiatomer under tillräckligt lång tid kan vi börja göra jämförelser med vanligt väte. Vi har lyckats mäta såväl den grundläggande strukturen som de små uppsplittningarna från finstruktur, hyperfinstruktur och nu senast Lambskiftet. Hittills stämmer resultaten väl överens med vanligt väte.

Att lyckas sätta ihop och sen fånga hundratals antiatomer är visserligen en stor framgång, men man kommer inte i närheten av mängden vanliga atomer i vanliga experiment. Normalt går spektroskopier ut på att antingen mäta hur mycket ljus atomerna absorberar eller ljuset de

skickar ut. Med bara några hundra antiatomer blir de signalerna inte användbara eftersom de är för svaga.

Antiatomer har dock en stor fördel över vanliga atomer – annihilationen är visserligen ofta en svårighet, men gör det också möjligt att detektera enstaka antiatomer med hög effektivitet. Experimenten utformas därför så att signalen blir att antiatomer lämnar fällan. Antiväte-atomer är magnetiska dipoler som i sitt grundtillstånd kan ha dipolmomentet riktat antingen parallellt eller antiparallellt med det magnetfält som utgör atomfällan, men bara det senare tillståndet hålls fast. Om växelverkan med fotoner kan få antiväte-atomer att byta riktning på sina magnetiska dipolmoment så trillar de alltså ur fällan, vilket blir experimentets signal.

För att tolka linjeprofilerna krävs omfattande simuleringar för att förstå

sannolikheten att sparka ut en antiatom från olika platser i fällan. Fortfarande ligger noggrannheten en bra bit efter vanligt väte (ungefär en faktor 1000 för den bäst mätta övergången). Nya idéer gör att vi närmar oss alltmer. Nu arbetar vi med tekniker för att ytterligare kyla ner de fångade antiatomerna, vilket skulle ge en rad fördelar.

På CERN kommer dessutom snart en ny antiproton-ring, ELENA, tas i bruk. ELENA kommer att leverera fler antiprotoner och dessutom med betydligt lägre rörelseenergi (till skillnad från resten av CERN vill vi här ha så långsamma partiklar som möjligt – något som inte heller är helt lätt). Förutom ALPHA kommer flera andra experiment använda sig av antiprotoner från ELENA. Experimenten GBAR och AEGIS kommer (liksom ALPHA) att studera gravitationen mellan antiatomer och jorden. ASACUSA

Det är tätt mellan experimenten vid CERNs AD. Till höger syns ALPHA.

vill specifikt studera hyperfinstrukturen i antiväte, och har dessutom sedan länge gjort precisa mätningar på andra exotiska atomer som innehåller antiprotoner. BASE arbetar med enskilda antiprotoner och har bland annat mätt deras magnetiska moment med en relativ precision på $1,5 \cdot 10^{-9}$, vilket gjorde antiprotonen bättre karakteriserad än protonen tills de själva förbättrade resultaten för den senare.

Drömmen är förstås att en dag verkligen hitta en skillnad mellan materia och antimateria i kontrollerade experiment, men det har alltså inte skett ännu. Arbetet fortsätter – stay tuned!

SVANTE JONSELL
FYSIKUM,
STOCKHOLMS UNIVERSITET

Vem dansar med vem i exotiska atomkärnor?

ett nytt experiment har ett internationellt forskarteam använt kärnkollisioner för att skapa extremt instabila atomkärnor med lika antal neutroner och protoner. Dessa sällsynta kärnor (ca en på varje miljon kärnreaktioner som studerades gav upphov till atomkärnan ^{88}Ru) har identifierats och studerats genom att med känsliga instrument bl.a. germaniumdetektorsystemet AGATA¹ – *Advanced GAMMA Tracking Array* – detektera den strålning de utsänder i form av högenergetiska fotoner, neutroner, protoner och andra partiklar. Det är tack vare utvecklingen av sådana extremt känsliga detektorsystem och uppbyggnaden av allt kraftfullare accelerators för produktion av exotiska jonstrålar, t.ex. den internationella forskningsanläggningen FAIR² – Facility for Antiproton and Ion Research – som forskningen inom experimentell kärnfysik får tillgång till alltmera exotiska och kortlivade atomkärnor att studera.

Enligt vad vi vet idag om den ”vanliga” eller om man så vill ”synliga” materiens grundläggande struktur enligt partikelfysikens Standardmodell så finns det två huvudtyper av partiklar i naturen; bosoner och fermioner. Dessa skiljer sig åt genom att de har hel- respektive halvtaligt spinn. Exempel på fermioner är elektronen, elektronneutrinon, atomkärnornas protoner och neutroner och deras grundläggande byggstenar, kvarkarna. Exempel på bosoner är de kraftbärande elementarpartiklarna som förmedlar de fyra (nu kända) fundamentala naturkrafterna: gluoner, fotoner, Z- och W- bosonerna och gravitoner, samt den relativt

¹ <https://www.agata.org>
² <https://fair-center.eu>

nyupptäckta Higgspartikeln. Även atomkärnor eller atomer med ett jämnt antal fermioner har heltaligt spinn och är bosoner, t.ex. är ^{12}C -atomen, ^4He -atomen och dess kärna alfapartikeln bosoner. Sammansatta fermioner, t.ex. protoner och neutroner, är de viktigaste byggstenarna i vanlig materia.

Egenskaperna hos ett system av partiklar skiljer sig avsevärt beroende på om det byggs upp av fermioner eller bosoner. Som en följd av kvantmekanikens Pauliprincip kan bara *en* fermion inneha ett visst kvanttillstånd vid en viss punkt i rum och tid. Om flera fermioner befinner sig tillsammans måste minst en egenskap, ”kvanttal”, hos varje fermion skilja sig från de andras. Man kan uttrycka det som att systemets totala vågfunktion är antisymmetrisk. Vid låg temperatur kan system av många fermioner som en följd av detta bilda ett kondensat av parvis växelverkande partiklar. Det kan ge upphov till fenomen som superfluiditet för oladdade partiklar (exempelvis supraflytande ^3He) och supraledare. Bosoner däremot kan kondensera individuellt med ett obegränsat antal partiklar i samma tillstånd, s.k. Bose-Einsteinkondensat.

I de flesta atomkärnor, vilka ju är bundna system av neutroner och protoner, verkar den grundläggande strukturen också vara uppbyggd av parkorrelerade kondensat³ av likadana partiklar dvs. neutroner för sig och protoner för sig. Man skulle kunna säga att neutroner föredrar

³ Begreppet kondensat används ofta om ett system bestående av ett mycket stort antal partiklar, såsom elektronerna i en metallbit. Medeltunga och tunga atomkärnor innehåller ett betydligt mindre, men fortfarande relativt stort antal partiklar, upp till flera hundra, och man använder ibland begreppet kondensat även för sådana system.

att ”dansa” med neutroner och protoner med protoner. Det är en ultrasnabb och hetsig dans där utövarna rör sig med hastigheter jämförbara med ljushastigheten.

Inom den subatomära fysiken brukar vi ibland approximativt betrakta neutroner och protoner som två versioner av samma partikel, nukleonen. I denna modell försummar man masskillnaden (neutroner har något större massa än protoner) och de skiljer sig endast åt genom vilket håll deras isospinn pekar i en dimension av en fiktiv tredimensionell isospinnrymd, ”upp” eller ”ned”. Isospinnkvantalet benämns inom kärnfysiken ofta T, medan det ”vanliga” spinnkvantalet ofta benämns I, se Figur 1. Två neutroner eller två protoner tillsammans kopplar sina isospinn, som är halvtaliga, parallellt i denna isospinnrymd. Ett neutron-protonpar har dock faktiskt möjligheten att koppla sina isospinn både till T=0 (”antiparallellt”) och T=1 (”parallellt”). Pauliprincipen bestämmer sedan vilka möjliga riktningar som partiklarnas ”vanliga” spinn kan anta i varje parkonfiguration så att dess totala vågfunktion blir antisymmetrisk.

I den normala situationen, då neutroner och protoner dansar i par var för sig, kräver Pauliprincipen antiparallella spinn. Detta är en följd av *isovektoriella* (T=1) parkorrelationer. De ger upphov till egenskaper som liknar suprafluiditet och supraledning även i atomkärnor. Denna struktur är välkänd och avslöjar sig också genom många andra av de stabila eller nära stabila atomkärnornas egenskaper, t.ex. deras massor. Ett annat exempel är de diskontinuiteter i rotationsfrekvensen som vi kan observera när deformerade atomkärnor de-exciteras, ”kyls ned”, från rotationstillstånd med

höga spinn och energier. Detta kan mätas genom att den gammastrålning som utsänds registreras med känsliga detektorsystem. Sådana diskontinuiteter i rotationsfrekvensen som funktion av impulsmomentet har kallats ”backbending” och upptäcktes i början av 1970-talet.

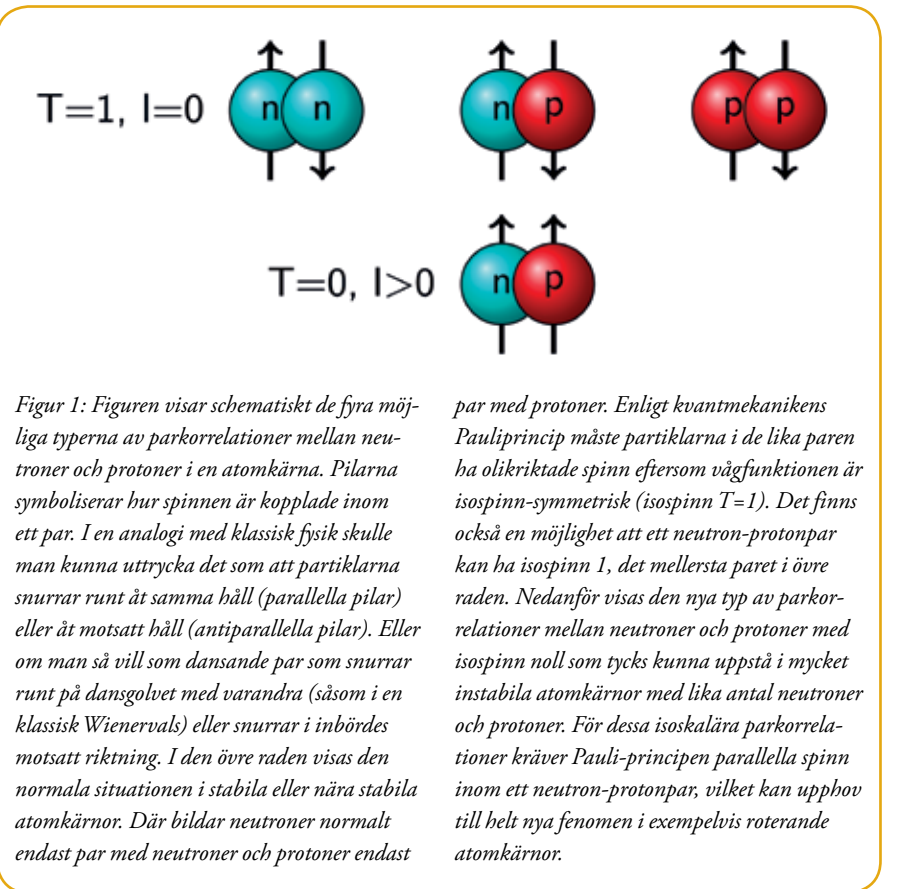
Backbendingfrekvensen är ett mått på den energi som krävs för att bryta ett neutron- eller protonpar. Det har länge funnits teoretiska förutsägelser om att system av neutron-protonpar med isospinnkvanttal noll kan blandas med, eller till och med ersätta, de normala isovektoriella parkorrelationerna i exotiska atomkärnor med lika antal protoner och neutroner. Följden av sådana *isoskalära* (T=0) parkorrelationer skulle bli helt andra egenskaper än vad som kännetecknar ”vanliga” atomkärnor.

Ruteniumisotopen ^{88}Ru , med lika antal (44) neutroner och protoner är deformerad och uppvisar en rotationsliknande struktur som nu observerats upp till högre spinn (dvs högre rotationsfrekvens) än tidigare varit möjligt. Den nya mätningen bekräftar de teoretiska prediktionerna om en förskjutning mot högre backbendingfrekvens och är därför en indikation på förekomsten av isoskalära parkorrelationer. Upptäckten leder till nya insikter inom grundläggande kärnfysik och har också betydelse för vår förståelse av hur många av de mest neutronfattiga isotoperna i naturen har skapats i olika stjärnprocesser.

BO CEDERWALL
INSTITUTIONEN FÖR FYSIK,
KTH

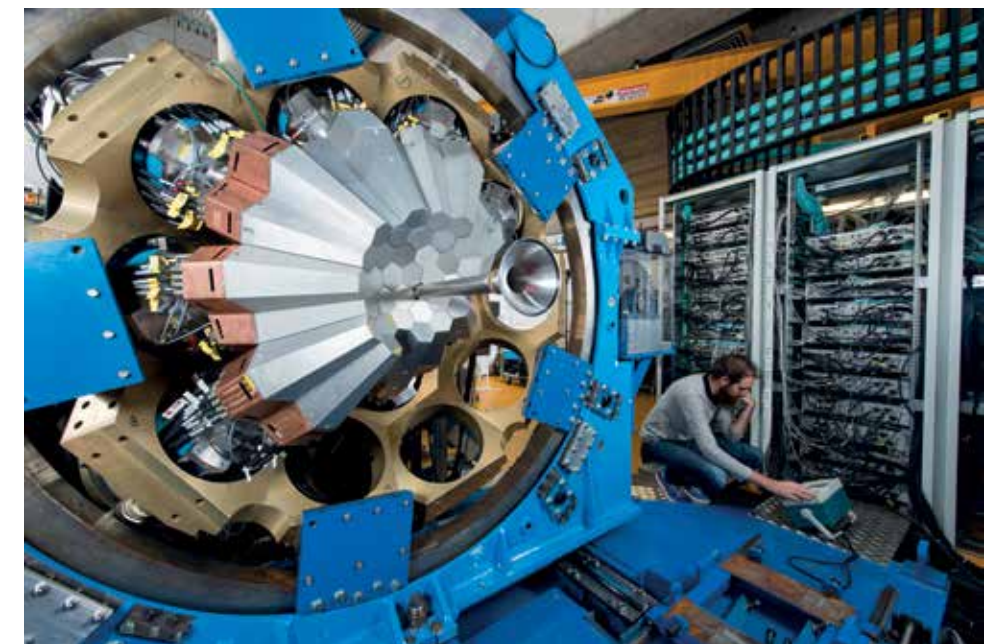
Referenser:

”Isospin Properties of Nuclear Pair Correlations from the Level Structure of the Self-Conjugate Nucleus ^{88}Ru ”, B. Cederwall et al., *Physical Review Letters* 124 062501 (2020)
<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.124.062501>



Figur 1: Figuren visar schematiskt de fyra möjliga typerna av parkorrelationer mellan neutroner och protoner i en atomkärna. Pilarna symboliserar hur spinnen är kopplade inom ett par. I en analogi med klassisk fysik skulle man kunna uttrycka det som att partiklarna snurrar runt åt samma håll (parallella pilar) eller åt motsatt håll (antiparallella pilar). Eller om man så vill som dansande par som snurrar runt på dansgolvet med varandra (såsom i en klassisk Wienervals) eller snurrar i inbördes motsatt riktning. I den övre raden visas den normala situationen i stabila eller nära stabila atomkärnor. Där bildar neutroner normalt endast par med neutroner och protoner endast

par med protoner. Enligt kvantmekanikens Pauliprincip måste partiklarna i de lika paren ha olikriktade spinn eftersom vågfunktionen är isospinn-symmetrisk (isospinn T=1). Det finns också en möjlighet att ett neutron-protonpar kan ha isospinn 1, det mellersta paret i övre raden. Nedanför visas den nya typ av parkorrelationer mellan neutroner och protoner med isospinn noll som tycks kunna uppstå i mycket instabila atomkärnor med lika antal neutroner och protoner. För dessa isoskalära parkorrelationer kräver Pauli-principen parallella spinn inom ett neutron-protonpar, vilket kan upphov till helt nya fenomen i exempelvis roterande atomkärnor.



Figur 2: Detektorsystemet *Advanced Gamma Tracking Array* (AGATA) i fas I, f.n. i bruk vid det franska acceleratorlaboratoriet GANIL. Nedan till höger i bilden syns Dr Emmanuel Clément, lokalt projektansvarig för AGATA under experimentet vid GANIL som pågår fram till sommaren 2021. Foto: GANIL.

Akustisk Levitation

Levitation är ett samlingsnamn för olika metoder att få ett föremål att sväva i luften, exempelvis magnetisk, elektrisk, optisk eller akustisk levitation. Många av metoderna har stora begränsningar gällande vilka material som kan leviteras, eller storleken på föremålen. Till exempel magnetisk levitation kan endast levitera magnetiska material, och optisk levitation kan (hittills) endast levitera mycket små föremål. Akustisk levitation är en teknik som använder ljudvågor för att motverka gravitationskraften och hålla ett föremål på plats utan annan yttre påverkan.¹

Användningsområden

Det finns många områden där det är av intresse att få ett föremål att sväva utan att vara i kontakt med andra solida föremål. Som forskningsverktyg används akustisk levitation flitigt inom exempelvis analytisk kemi, där prov kan analyseras med flera olika metoder. Många av dessa metoder lider av de externa stöd som traditionellt används för att hålla provet på plats. Fördelen med akustisk levitation är att provet inte är i kontakt med något annat föremål än luften som omger det, vilket kan ge klarare testresultat.

Ett annat område som ser stor utveckling är att utnyttja akustisk levitation för att skapa 3D-hologram. Idéen är att använda små leviterande kulor av frigolit som en tredimensionell motsvarighet till pixlar. Genom att få kulorna att röra sig mycket fort kan ögat luras att se ett solitt

föremål, liknande hur vi ser en film som en mjuk rörelse istället för ett antal stillbilder.

En närliggande teknik är *haptisk feedback* som kan skapas med samma sorts hårdvara och liknande metoder. Genom att växelvis skicka starka och svaga ultraljudsvågor mot ett finger, kan känselnerv i fingret aktiveras. Detta ger känslan av att ta på en yta, trots att fingret bara är i kontakt med luften. Det är också möjligt att skicka ut hörbart ljud med väldigt stor kontroll över riktningen, nästan som en ficklampa fast för ljud. Det är därmed möjligt att skicka ljudet till en enskild person, eller att skicka olika ljud till olika personer.

Dessa tre tekniker, kombinerat med kameror som kan följa en användares handrörelser, kan potentiellt användas för att skapa en interaktiv ”skärm” i tre dimensioner. Skärmen kan då skapa bilder i tre dimensioner, lura en användare att de går att ta på, och skicka ut riktat hörbart ljud. Detta är ett av målen med forskningsprojektet *Levitate*².

Hur fungerar det?

En ljudvåg som färdas genom luften bär med sig en rörelsemängd. När vågen studsar mot ett föremål kommer den delvis att ändra riktning. Precis som i alla andra kollisioner, t.ex. mellan biljardbollar, kommer en viss del av den rörelsemängd som vågen bär med sig att överföras till föremålet som den studsar mot, alltså utövar vågen en kraft på föremålet. Genom att skicka flera ljudvågor och styra deras interaktion med varandra är det möjligt att kontrollera hur stor kraft som skapas på föremålet. Målet med

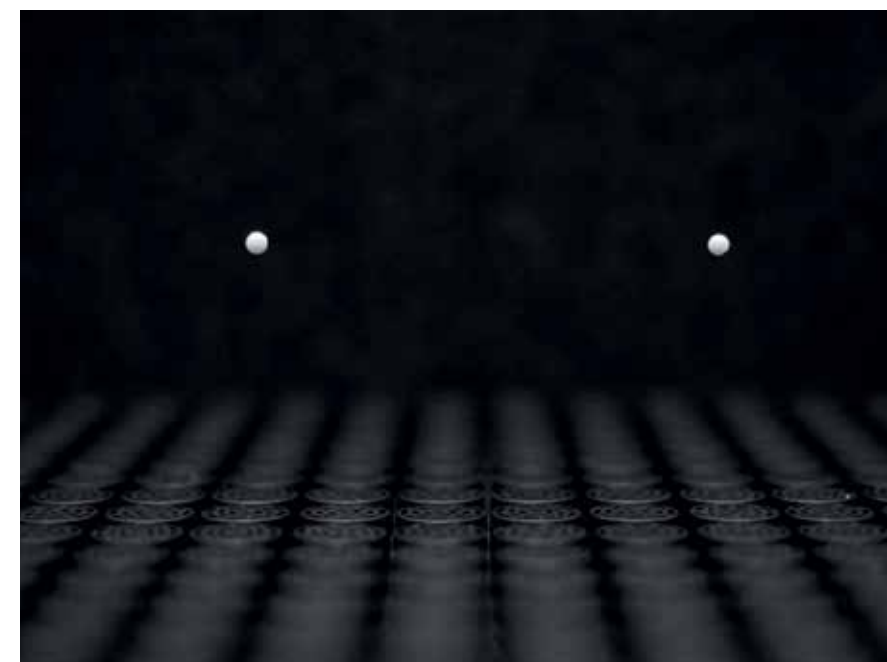
akustisk levitation är att designa ljudvågorna för att motverka gravitationskraften, och eventuellt förflytta föremålet till en önskad plats.

De flesta ljud i vardagen är inte tillräckligt starka för att skapa stora krafter. Nästan all akustisk levitation bygger på ultraljud, alltså ljud med högre frekvens än människor kan höra. Det ultraljud som används vid akustisk levitation är många gånger starkare än de starkaste ljud som förekommer i vardagen. Ljudvågorna skapas med flera hundra små högtalare som liknar de högtalare som används i backsensorer hos många moderna bilar. Högtalarna styrs digitalt via en dator för att skicka ut precis de ljudvågor som behövs för att levitera föremålen.

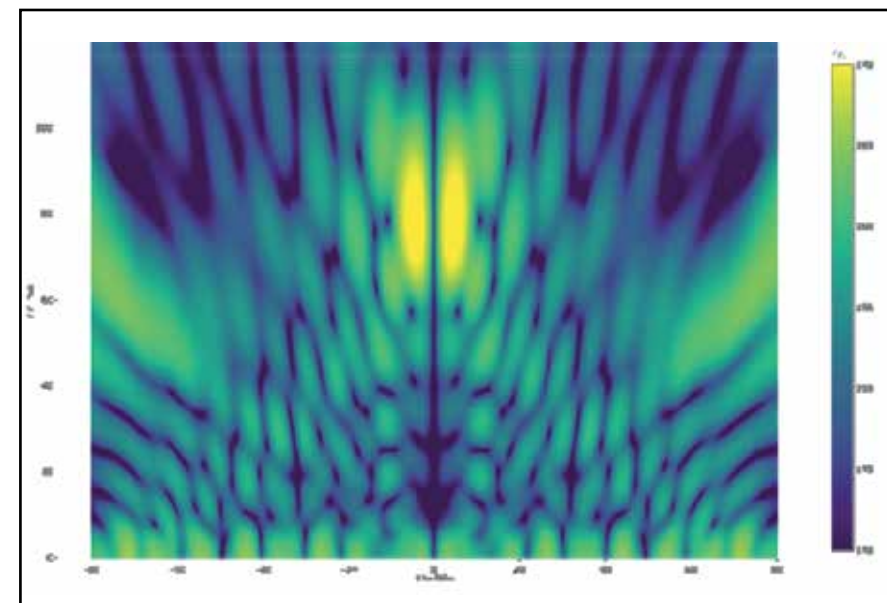
I framtiden

Det finns mycket som tyder på att akustisk levitation kommer bli ett vanligt användbart verktyg inom forskning och industri. Idag används tekniken i studier av bland annat kristallstrukturer eller proteinkedjor. När metoderna har utvecklats längre kan de potentiellt användas till många andra områden som kräver manipulering av fysiska objekt. Det kan vara allt från montering av elektronikkomponenter, eller manipulering av plaster för additiv tillverkning, till kontrollerad leverans av mediciner i människokroppen.

CARL ANDERSSON,
AVDELNINGEN FÖR TEKNISK AKUSTIK,
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA



Två små kulor av frigolit som leviterar ovanför en ansamling högtalare.



Ett ljudfält designat för att levitera en liten kula, centrerad i bilden mellan de två gula områdena.

¹ *Review of Progress in Acoustic Levitation*, Andrade et. al., Brazilian Journal of Physics, 2018

² www.levitateproject.org This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 737087.



Deltagarna i årets fysikvecka på plats i föreläsningssalen.

Kort men intensiv fysikvecka för 22 gymnasister

I mitten av mars, alldeles innan coronapandemin stängde dörrarna till landets universitet, bjöd fysikinstitutionerna på Chalmers och Göteborgs universitet in tjugotvå av landets gymnasister till en "fysikvecka". Det är första delen av finalen i Wallenbergs fysikpris som byggts ut till ett späckat inspirations- och träningsläger. I år blev veckan tyvärr lite kortad, men de dagar som hanns med blev desto intensivare!

Fysikveckan i Göteborg

Tjugotvå mycket fysikintresserade gymnasister, från Malmö i söder till Skellefteå i norr, intog fysikinstitutionerna på Chalmers och Göteborgs universitet den tredje veckan i mars. Coronanedstängningen medförde att veckan fick bli lite kortare än vanligt, med omstuvningar i programmet som följd, men tack vare heroiska insatser från de huvudansvariga, Christian Karlsson, Oskar Vallhagen och Jonathan Weidow, blev programmet ändå nästan lika fullmatat som vanligt.

På programmet fanns bland annat en grundlig genomgång av mekaniken som Andreas Isacson höll i, träning på experimentell problemlösning samt populärföreläsningar av Bernhard Mehlig, Göran Jo-

hansson och Maria Sundin om artificiell intelligens, kvantdatorer respektive hästsport och astrofysik.

Satsningen för att få med fler flickor bär frukt?

I en satsning för att öka antalet flickor i tävlingen bjuds, förutom finalisterna i Wallenbergs fysikpris, även sex deltagande tjejer från årskurs två in till Göteborg. Förhoppningen är att detta ska leda till ett ökat intresse, och kanske bär satsningen frukt? En av årets finalister, Hanna Zhang från Södra Latin i Stockholm, var med som "VIP-tjej" förra året. Men hon var inte ensam, i år var tre av de arton finalisterna flickor. En annan av dem var Rebecka Mårtensson från Malmö Borgarskola:

– Jag tyckte fysikveckan i Göteborg var väldigt rolig och lärorik. Det var kul att få lite mer utmanande föreläsningar, då det inte riktigt blir på samma sätt i skolan när elevernas nivå varierar väldigt mycket. Det är även ett väldigt bra tillfälle att träffa andra med samma intresse. Alla deltagare var riktigt härliga och det var väldigt kul att lära känna dem. Att det sträckte sig över flera dagar var superbra, vi fick mycket fysik, men även tid att umgås, spela maffia, andra spel, och annat kul. Jag är väldigt nöjd.

Strängteori som experimentellt problem

En höjdpunkt under fysikveckan är den experimentella deltävlingen i Wallenbergs fysikpris. Tre uppgifter ska lösas, var och en under 80 minuter så det vill till att komma igång direkt. I år presenterade uppgiftskonstruktörerna (Oskar Vallhagen, Julia Järlebark, Andréas Sundström, Ida Svenningsson, Lucas Unnerfelt och Adam Warnerbring) problemen *Läckande laddning*, *Bärga skepp* och *Strängteori*. Bakom de kryptiska rubrikerna dölde sig uppgifter där det gällde att i tur och ordning bestämma resistans och kapacitans för komponenter i en svart låda, det arbete som åtgår för att lyfta upp en oregelbundet formad kropp ur en hink med vatten (och avgöra om resultatet påverkas av hinkens diameter) samt hur fjäderkonstanten (definierad som propor-



tionalitetskonstanten mellan vridningsvinkel och återställande vridmoment) för en torsionsfjäder i form av en solid metalltråd beror av trådens tjocklek.

Rebecka Mårtensson igen: – Att få testa på experimenten var väldigt roligt! Denna typ av experiment görs inte i skolorna. Här fick man tänka mycket mer själv och svårighetsgraden var högre så det blev mer utmanande. Det var även riktigt bra att vi fick prova på labbar i par innan tävlingen och sedan diskutera. För de som tycker om fysik är detta en oerhört bra möjlighet!

I bilden ovan syns den utrustning som finalisterna fick använda för att lösa strängteori-problemet. Alla tre tävlingsuppgifterna finns tillgängliga på samfundets hemsida tillsammans med lösningsförslag och bedömningsanvisningar.

Teoritävling på hemmaplan

Andra delen av finaltävlingen brukar genomföras i Tallinn, genom att alla de svenska finalisterna deltar i den nordiska fysikolympiaden där. Men i år satte coronapandemin förstås stopp för dessa resplaner. Istället planeras för en ordentligt nedskalad olympiad i slutet av maj där gymnasister från Estland, Finland, Lettland och Sverige får lösa tävlingsuppgifterna hemma i sina rum,

Utrustningen till en av årets experimentella tävlingsuppgifter, "Strängteori": Tolv väsentligen lika långa solida metalltrådar med angiven tjocklek och öglor i varje ände, samt stativmaterial, tidtagarur och en vikt. Hur gör du för att bestämma hur en torsionsfjäders fjäderkonstant beror av metalltrådens tjocklek?

bevakade av en webbkamera. Resultatet från denna tävling är i skrivande stund inte klart, men kommer att publiceras på samfundets hemsida.

Ett stort och varmt tack till värdarna för fysikveckan, fysikinstitutionerna vid Chalmers och Göteborgs universitet, samt till Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs Minnesfond för generöst ekonomiskt stöd.

ANNE-SOFIE MÅRTENSSON
HÖGSKOLAN I BORÅS

På grund av coronapandemin kommer den 51:a internationella Fysikolympiaden 2020 inte att arrangeras i Vilnius i juli som planerat. Det är i skrivande stund inte klart om det blir någon form av ersättning eller online.

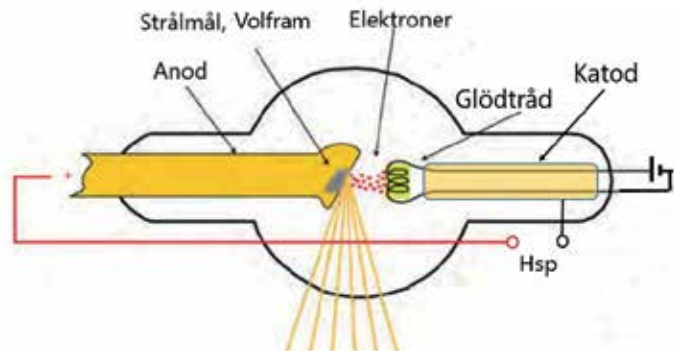
Fysik i munhålan

Det vimlar av tekniska prylar och metoder som bygger på fysik, somliga skräckinjagande som borrar och tänger, medan röntgen och hårdlampor känns mer förtroendeingivande.

Tandläkaren inleder med att inspektera varje tand och eventuella lagningar. För att se baksidan på tänderna används en liten spegel och när den förs in i den varma och fuktiga miljön i munhålan bildas kondens. Lagen om den kalla väggen sviker aldrig. Förr värmdes därför tandläkaren spegeln i en gaslåga, men numera finns imskyddsmedel som sänker ytspänningen. Imdropparna, som annars sprider ljuset i allehanda riktningar, flyter då ut till ett jämnt speglande skikt. Mer high-tech är en spegel som kan rotera och hålla ytan fri från imma. I en annan variant blåser en luftström från skaftet över spegelytan. När tandläkaren rotat runt en stund föreslås ibland röntgen som hjälp för att ställa en bra diagnos. Ryktet om upptäckten av röntgenstrålar dec 1895 spred sig mycket snabbt och en tandläkare Schultzberg i Göteborg lär redan 1896 ha införskaffat en röntgenapparat.

I röret

Ett modernt röntgenrör har en glödtråd som avger elektroner beroende på ström-



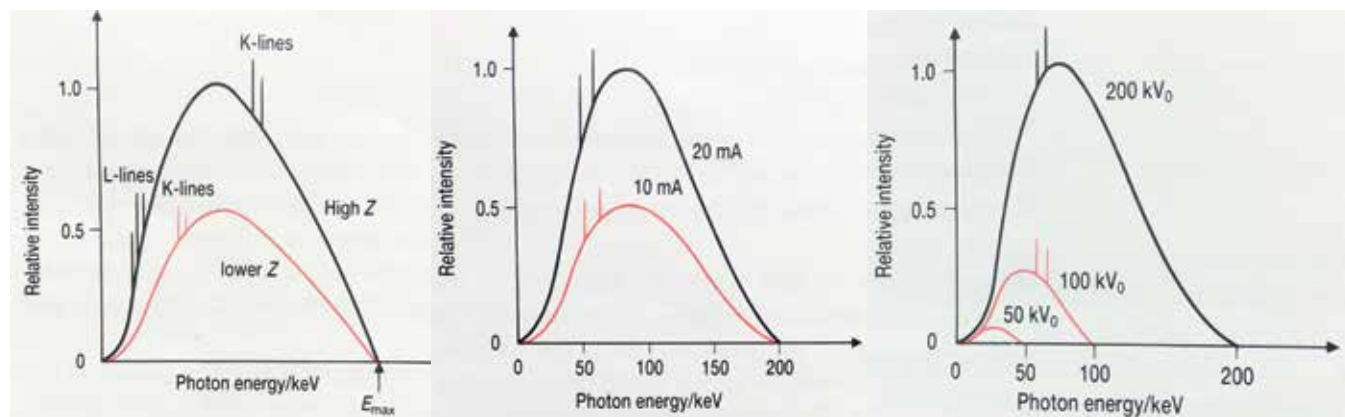
Figur 1: Rörströmmen i dentala tillämpningar är 6–8 mA och rörspeänningen (Hsp) 60–70 kV med exponeringstider från 0,1 upp till 1 sekund för den enklare intraorala utrustningen, längre tider för panoramaröntgen eller CBCT. Glödtråd och anod består av volfram som har hög smältpunkt och leder värme bra. Anoden kan dessutom roteras för att variera träffpunkten.

men (I) genom tråden. Spänningen (V) över katod och anod accelererar elektronerna, som när de bromsas av det elektriska fältet från anodens atomkärnor, avger elektromagnetisk strålning (bromsstrålning). Endast 1 % av den tillförda energin ger röntgenstrålning, resten övergår till värmeenergi. Röntgenrörets fönster upptar 1 % av rymdvinkeln, varför rörets totala verkningsgrad bara är 0,01 %.

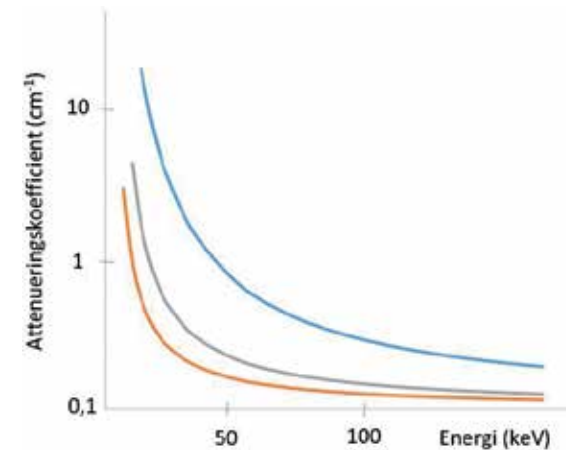
Röntgenstrålningen har ett kontinuerligt spektrum med ett överlagrat linjespektrum (figur 2). Det förra beror på att en röntgenfoton kan innehålla allt från lite energi från en liten inbroms-

ning till hela elektronens energi från en total inbromsning. Intensiteten (I) är proportionell mot kvadraten på anodens atomnummer (Z), elektronens laddning (q) och omvänt mot massan (m): $I \propto Z^2 q/m$. Högsta energin ges av $E_{\max} = qV$. Linjespektret uppstår då anodatomernas elektroner slås ut och de tomma platserna återfylls. K-linjerna i volfram uppstår vid rörspeänningar på nära 70 kV och L-linjerna vid drygt 10 kV. Emellertid utgör de en försumbar andel av hela spektrum.

Spektrum täcker energier upp till E_{\max} . De lågenergetiska fotonerna bidrar till patientdosen, men ger ingen använd-



Figur 2: Relativa intensiteten som funktion av energin, till vänster för anoder med två olika Z , där både K- och L-linjerna finns med, de senare endast för högre Z . Toppen ligger nära $1/3$ av E_{\max} . I mitten och till höger för konstant Z , men för olika rörström respektive olika rörspeänning.



Figur 3: Den linjära attenueringskoefficienten, μ , för ben (blå), muskler (grå) och fett (röd) som funktion av röntgenstrålningens energi. Skillnader i attenuering minskar med ökande energi. Mellan bröstkörtelvävnad (ligger i figuren mellan grå och röd) och fett är skillnaden liten, varför energier på 15–20 keV används vid mammografi.

bar information. Därför kan man filtrera bort dessa med 2 mm aluminium och strålningen sägs då bli ”hårdare”.

Genom kinderna

Elektromagnetisk strålning växelverkar med materia via fyra mekanismer beroende på strålningens energi och materiaets atomnummer, där för attenueringskoefficienten gäller: Thomsonspridning ($\propto 1/E$ och Z^2), fotoelektrisk effekt ($\propto 1/E^{3.5}$ och Z^5), Comptonspridning ($\propto 1/E$ och Z) och parbildning ($\propto E$ och Z^2).

Röntgenstrålning som träffar vävnad attenueras (sprids och absorberas), det senare huvudsakligen genom fotoelektrisk effekt, varför attenueringen beror på antalet elektroner (= antal protoner, Z) samt densiteten. Den linjära attenueringskoefficienten (μ) anger andelen fotoner som attenueras per längdenhet tjocklek hos ämnet och den minskar om energin ökar (figur 3). Då minskar absorptionen av strålning i patienten och mer strålning bidrar till bilden. Samtidigt minskar skillnaderna i attenuering mellan olika vävnader. Ett benbrott avbildas med rörspeänning på 30–55 kV, medan endast 15–20 kV används vid mammografi, vilket beror på den lilla skillnaden i attenuering mellan bröstkörtelvävnad och fett.

Vid dental röntgen är skillnaden i attenuering mellan emalj, dentin (tand-

ben), rot, karies, fyllning mm inte så stora. För att strålningen ska passera genom allt i tanden, utom amalgam eller andra metalliska lagningsmaterial, krävs energier på 60–70 keV. Emalj har $\mu = 2,97 \text{ cm}^{-1}$ och dentin $\mu = 2,12 \text{ cm}^{-1}$ vid 70 keV, medan de övriga delarna har lägre μ -värden (figur 4).

Enklast bestäms attenuering genom att mäta halvvärdestjockleken ($x_{1/2} = \ln 2/\mu$) vid en viss energi, dvs. den tjocklek ett ämne behöver ha för att strålningens intensitet ska minska till hälften. Exempelvis är $x_{1/2} = 1,5 \text{ mm}$ för aluminium och 0,25 mm för bly vid 70 keV.

Upptagningen

Det är så dags att bita om en dental film eller om en digital sensor. Den förra kräver framkallnings- och fixeringsvätskor, bägge miljöskadliga. Den senare är känsligare och dosbelastningen minskar ner mot hälften. Med digital röntgen kommer bilden snabbt upp på en bildskärm, så att man kan diskutera resultatet med tandläkaren. Filmen har en upplösning på 12–16 lp/mm och för digitala sen-

sorer kan den variera mellan 6 och 20 lp/mm. Lp betyder linjepar i det testfantom som innehåller 50 μm tjocka blylameller inlagda i plast och som används för bedömning av den spatiella upplösningen.

En digital sensor kan vara 25 x 39 mm² med ett aktivt bildfält 20 x 30 mm². Film utnyttjar hela ytan, och en digital sensor kan därför kräva fler exponeringar för att täcka önskat område med betryggande kvalitet. Vanligen används en radutläsande CMOS-matris i kisel med 1500 x 1000 pixlar. Ofta har sensorn en kabel, som kan vara svårt att bita om så att positionen blir den avsedda. Det finns dock trådlös teknik, givetvis via blåtand.

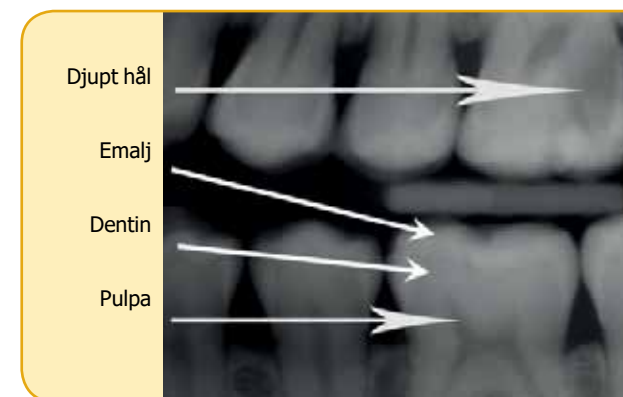
Vissa tandläkare använder panoramaröntgen där röntgenröret och bild-detektorn sitter diametralt och vrider sig i en halvcirkel runt patientens huvud. Då kan man avbilda hela tandområdet på samma bild och man behöver heller inte bita om någon sensor.

Strålsäkerhet

Alla röntgenundersökningar medför en viss stråldos. Vid undersökningar av tänder och käkar är denna mycket låg. För tandröntgen 0,001–0,003 mSv, panoramaröntgen 0,02 mSv, mammografi 0,1 mSv medan datortomografi av magen ger 2 mSv. En flygresa på 2 h på 10 km höjd ger ungefär samma dos som en tandröntgen.

Vid dental röntgen är det sköldkörteln som behöver skyddas. Vanligen används en blykrage med minst 0,25 mm bly och vid panoramaundersökningar blyaxelskydd.

EU:s strålskyddsdirektiv (2013/59/Euratom) ledde till att en ny strålskydds-



Figur 4: Emaljen har störst attenuering och är därmed mest vit, därefter dentin, pulpa och karies. En amalgamfyllning har stor attenuering och är därmed vit, medan kompositfyllningar har en kontrast som liknar emaljs, och därmed kan vara svårare att se.

lag och nya föreskrifter började gälla den 1 juni 2018. Tandläkare med röntgenutrustning hade tidigare ett generellt tillstånd, men har sedan den 29 januari 2019 anmälningsplikt för utrustning med intraoral bildmottagare för rörspänning om högst 75 kV till Strålskyddsmyndigheten. Ett drygt år senare hade över 12 200 anmälningar från tandläkare och nära 140 från veterinärer inkommit. För panoramaröntgen och mobil utrustning krävs tillstånd och vid samma tid hade nära 1400 tillstånd utfärdats, varav 1200 för panorama, 150 för tomografer (CBCT) och resten för olika mobila varianter.

Tillståndet kommer med villkor och krav på strålskydd som tillståndshavaren måste uppfylla. Personal ska uppehålla sig bakom en strålskärmade vägg då exponeringen genomförs, för att den effektiva dosen inte ska överskrida 0,1 mSv per år. Strålskärmningen i väggar, golv, tak, dörrar och fönster ska minst motsvara 0,5 millimeter bly. I lokaler där personer tillfälligt uppehåller sig räcker det med 0,25 millimeter bly. Väggarna ska vara skärmade till en höjd av minst 2,1 meter. Mobila strålskärmar eller strålskyddskläder ska användas vid mobil verksamhet och ha strålskyddsförmåga motsvarande minst 0,25 millimeter bly.

Strålskador

Medvetenheten om strålningens farlighet var tämligen ringa de första årtiondena. Intensiteten mättes vanligen med den empiriska "hud-erytem-dosen" (HED), vilket innebar bestrålning av den egna huden och bedömning av hudrodnaden (erytem) efter några dagar. Detta ledde till allvarliga strålskador på händerna, ibland med förlust av fingrar och för tidig död i cancer (leukemi).

Svensken Rolf Sievert påtalade hur otillfredsställande HED-enheten var, och 1926 ersattes HED med hans kondensatorkammare. Urladdningen som sker vid bestrålning mäts med en elektrometer, vars laddning är proportionell mot stråldosen. Därmed kunde strålskador undvikas och precisare mätvärden erhållas. Han fortsatte oförtrutet och framgångsrikt ett internationellt strålskyddsarbete

Figur 5: Strålskadade tummar hos en tandläkare, som på 1940-talet höll filmen stilla i patientens mun vid exponeringen. Hans tummar bedömdes ha fått en dos om cirka 0,03 Sv per tillfälle och totalt under fem år cirka 150 Sv.



och hedrades 1979 med att SI-enheten för dosekvivalent benämns sievert (1 Sv = 1 J/kg).

Borrteknik

Om diagnosen tyder på kariesangrepp är det oftast dags att ta fram borren. Det finns arkeologiska fynd som tyder på att handdrivna borrar funnits för mer än tusen år sedan. På 1870-talet nådde borrar med pedaldrift upp mot 800 varv per minut och de första eldrivna såg dagens ljus. Omkring 50 år senare nådde en eldriven borr 25 000 varv per minut och 1953 introducerades den tryckluftsdrivna borren. Den var 100 gånger snabbare än sina föregångare, vilket reducerade borrhastens avsevärt. Sedan dess har finesser som fiberoptiska lampor och kameror, samt sofistikerade kylsystem tillkommit.

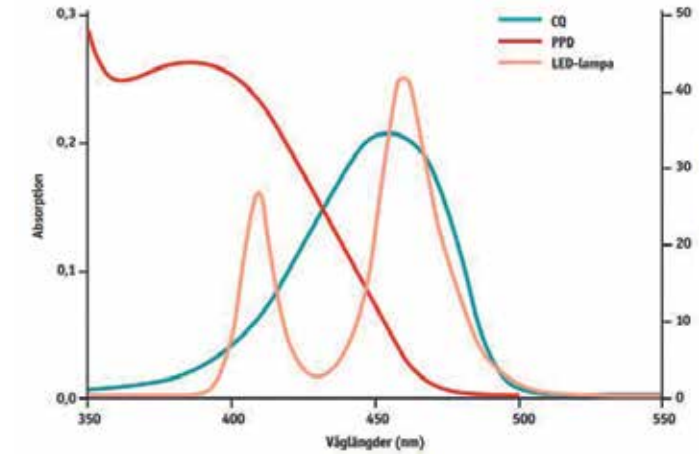
Eldrivena borrar har på senare tid vunnit insteg, eftersom deras hastighet kan varieras steglöst, vanligen upp till 40 000 varv per minut, men kan växlas upp till mer än 160 000 varv per minut. De används för att avlägsna karies eller för polering av emalj eller lagningar. Tryckluftsdrivna (ca 2,5 bar) borrar finns på upp till 400 000 varv per min. Det ger stor friktion mellan borr och tand. Trots att borkronor ofta görs av volframkarbid, som tål hög temperatur, krävs vattenkylning. Trycker tandläkaren borren hårt sjunker varvtalet, vilket inte sker med en elektrisk motor. Den ger tillräcklig effekt så att vridmoment och varvtal bibehålls.

Många känner av en viss odontofobi, dvs. ogillar bl.a. ljud och vibrationer från borringen och undviker helst lokalbedövning. De kan då pröva laserbehandling som är tämligen skonsam och gör både patient och tandläkare lugna. När laserstrålen träffar tandytan hettar den upp vattenmolekyler i tandens hårdvävnad. Det leder till en mikroexplosion så att ett litet skikt av tanden sprängs bort (fotoablation). Två halvledarlaser

är vanliga, Er:YAG (erbium: yttrium-aluminium-granat, $\lambda = 2940$ nm) och Er,Cr:YSGG (erbium, krom: yttrium-skandium-gallium-granat, $\lambda = 2790$ nm). Sådan IR-strålning syns inte, men absorberas i ögats främre delar som kan skadas, varför skyddsglasögon är nödvändiga. Nackdelen är att behandlingen tar ca 3 gånger längre tid, den är dyrare och lasrar av den typ som används idag kan inte ta bort fyllningar och kronor av metall eller porslin.

Fyllningar

Förr kunde man inte laga tänder utan drog ut dem och ersatte med löständer. Etruskerna som huserade i Italien före romarriket provade med djurtänder och i slutet av 1700-talet provades porslin. Ett steg i rätt riktning var ändå borren och när så tandläkaren borrar färdigt är det dags för fyllning. Amalgam var billigt och länge det vanligaste materialet för tandlagningar. Det består av kvicksilver som blandas med metaller som silver, tenn, koppar och zink i pulverform. Kviksilver, som är flytande vid rumstemperatur, reagerar med metallerna och gör pulvret mjukt under så pass lång tid att det kan packas för att fylla ut även oregelbundna utrymmen, och bildar sedan en hård kemisk förening. I Sverige råder ett generellt förbud mot användning av tandamalgam sedan 2009, men det var inte för patienternas skull. Det var av miljöskäl, för kvicksilver från amalgamet är inte bra för



Figur 6: Absorptionsspektra hos fotoinitiatorerna kamferkinon (CQ) och fenylpropandion (PPD) (vänstra axeln) samt en LED-lampas emissionsspektrum (högra axeln). Det måste finnas ett tillräckligt överlapp mellan absorptions- och emissionsspektra för att strålningen från lampen ska kunna absorberas av fotoinitiatorerna.

personalen, och kan spridas i naturen efter kremering.

Nya material

En amalgamlagning/fyllning expanderar på grund av den korrosionsprocess som alltid pågår i en amalgamfyllning och även en långsam plastisk deformation på grund av tuggning. Detta kan leda till sprickor i tänderna, och så småningom till att bitar lossnar eller att hela tanden spricker. Vid en amalgambehandling måste en stor del av tanden borraras ur. Ibland blir därför tanden för tunn, med sprickbildning som följd. Idealet vore att, precis som etruskerna, använda material som är så lika originalet som möjligt.

Moderna tandfyllningsmaterial är snällare mot naturen och fäster lättare på tanden. Man måste också beakta parametrar som krympning, elasticitetsmodul (ändrar form vid tuggning), slitstyrka, opacitet, termisk expansion och ledningsförmåga för värme och ström.

Den som råkar bita på t.ex. Al-folie och har amalgam, metallbryggor och kanske guld i munnen kan drabbas av galvaniska element som bildas med saliv som elektrolyt. Exempelvis har aluminium elektropotential -1,66 V och guld 1,50 V, en skillnad som får aluminium att gå i lösning. Strömmen kan därvid ta sig ner via lagningen till roten och nerverna och där orsaka smärta.

För stor termisk expansion kan orsaka mikroläckage om fyllningen ändrar form vid temperaturväxlingar. Vissa kompositar är dessutom anisotropa. Fyllningen ska heller inte leda värme för då kan il-

ningar i tanden uppstå vid intag av varma eller kalla drycker.

Material	Längd-utvidgning [10 ⁻⁶ /K]	Värmeledning [W/(m K)]
Emalj	8 – 15	0,9
Dentin		0,6
Akryl ofyllid	70 – 100	0,21
Porslin	2 – 5	0,9
Komposit	25 – 68	1
Amalgam	22 – 28	24
Guldlegering	12 – 15	300

UV-härdning

När tandläkaren är nöjd med fyllningen är det dags för härdlampan, vars ljus drar åt blått. Det beror på att våglängden ska passa för att starta polymerisationen av monomerer i fyllningsmaterialet. Kamferkinon är en vanlig fotoinitiator som absorberar ljus med våglängder runt en topp vid 468 nm och fenylpropandion har en absorptionstopp vid 385 nm, dvs. i UV-området (figur 6). Härdlamporna är av LED-typ och vissa täcker två våglängdsintervall, 385 – 425 nm respektive 430 – 510 nm. Verkningsgraden för lysdioder är visserligen hög, men kan man använda halvledare med direkt bandgap (t.ex. GaN) slipper man onödig värmeutveckling.

Intensiteten från en härdlampa skall vara över 450 mW/cm² och härdningen kan ta upp mot 10 sekunder. Ljuset tränger dock inte in längre än cirka 2 mm i materialet, varför större fyllningar behöver härdas flera gånger.

Tandsten

Plack är en typ av biofilm, som består av bakterier och molekyler som bakterierna bildar. Socker gör att vissa bakterier kan bilda en extra klabbig biofilm och lättare fästa även på glatta ytor. Socker används också som näring av bakterierna där en biprodukt är syror. Dessa syror bryter ner emaljen och orsakar karies. Placket/biofilmen ger också upphov till inflammationer i tandkötet, som senare kan leda till tandlossning. Plack hålls i schack med tandborstning, men blir den kvar förkalkas den efter hand och bildar tandsten. Dessutom fäster plack bättre på tandsten än på emalj.

Med ultraljud runt 30 kHz tar tandläkaren bort plack och tandsten. Ibland krävs också mekaniska handinstrument för att skrapa med, vilket tyvärr ökar risken för mikroskopiska repor på tänderna. Med en YAG-laser kan tandstenen luckras upp, vilket gör borttagandet med ultraljud eller handinstrument lättare. Slutligen poleras tänderna med putsfasta för att göra ytan riktigt slät, vilket underlättar rengöring och skyddar mot bakterieuppbbyggnad.

Tandblekning

Redan på 1850-talet erbjöds ett bländande leende med hjälp av trevligheter som släckt kalk, klorkalk och ättiksyra. Numera används ofta en gel innehållande karbamidperoxid eller väteperoxid. Halterna är reglerade av ett EU-direktiv från 2012, där tandblekningsprodukter också klassas som kosmetiska. Blekmedlet diffunderar in i emalj och tandben och dissocieras i instabila fria radikaler. Dessa bryter upp de missfärgande molekylerna i mindre beståndsdelar. Därvid förändras absorptionsspektrum så att det reflekterade ljuset ger ett vitare intryck.

MAX KESSELBERG
FYSIKUM,
STOCKHOLMS UNIVERSITET

Ständigt aktuellt och anpassat för alla

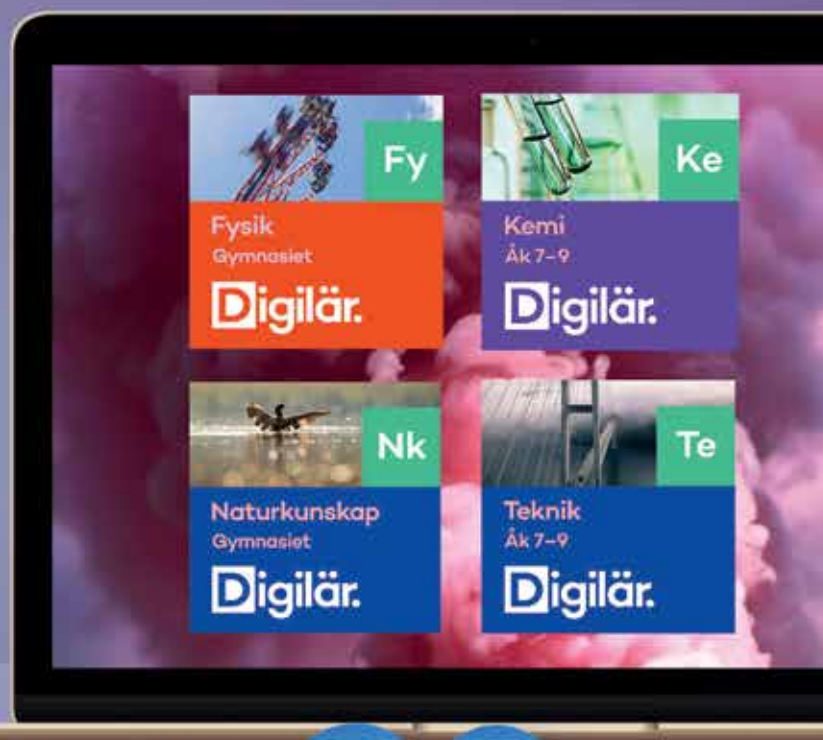
Digilär.

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