

TEMA: Laser

I år fyller lasern 50 år. Det firar Fysikaktuellt med extra fokus på det skarpa verktyg som har revolutionerat vår vardag och vetenskap. Det blir historik, fria elektroner, attofysik och en avhandling om laser och näsor.

Sidorna 6–14

ISSN 0283-9148

**Antarktis
får världens
största teleskop**

Sidan 16–17

**Nobelpris till
graf med två
dimensioner**

Sidan 18–20

**Porträttet:
Fysiker som
vågar förenkla**

Sidan 21



WALLENBERGS FYSIKPRIS 2011

KVALIFICERINGS- OCH LAGTÄVLING

Datum: 27 januari Plats: Din skola
Tävlingen sker individuellt och skolans tre bästa deltagare utgör laget.

1:a pris 3 • 5 000 kr 4:e pris 3 • 2 000 kr
2:a pris 3 • 3 000 kr 5:e pris 3 • 1 500 kr
3:e pris 3 • 2 500 kr 6:e pris 3 • 1 000 kr

De 15 bästa deltagarna går vidare till finalen.
Anmäl dig till din fysiklärare!

Läs mer om tävlingen på
www.fysikersamfundet.se/fysiktaevlingen.html

FINALTÄVLING

Datum: 25–26 mars Plats: Umeå
Finalen innehåller både teoretiska och experimentella moment.
Alla tävlande får penningpriser.
De fem bästa får göra en oförglömlig resa och representera Sverige vid den internationella fysikolympiaden!

Arrangör: Svenska Fysikersamfundet
Sponsor: Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs Minnesfond

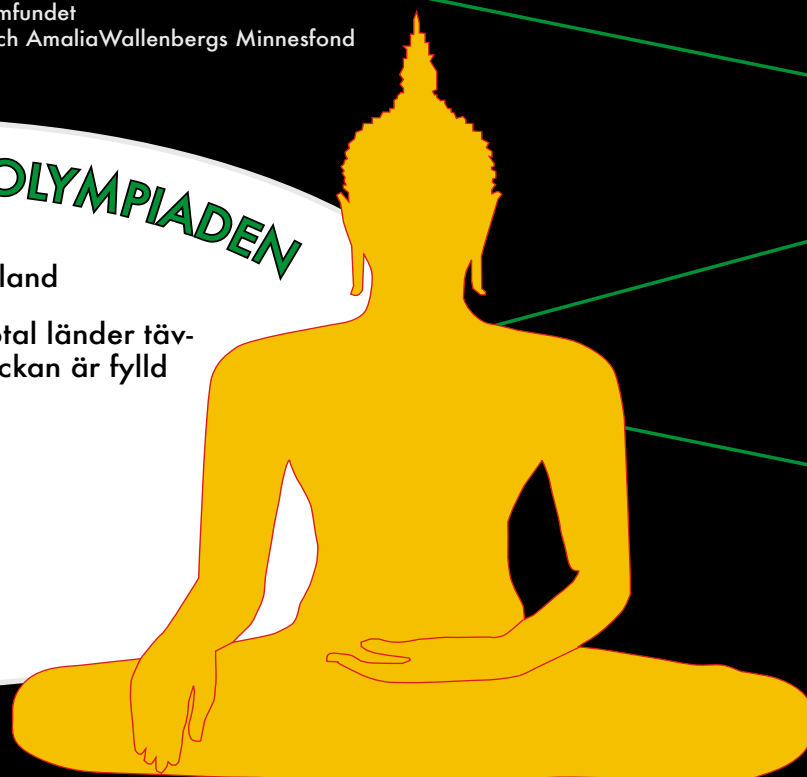
INTERNATIONELLA FYSIKOLYMPIADEN

Datum: 10–18 juli
Plats: Bangkok, Thailand

Nästan 500 ungdomar från ett nittiotal länder tävlar i fysik under två dagar. Resten av veckan är fylld med utflykter, föredrag och avkoppling.

Kanske blir det du som får åka!

Fysikolympiadens webbsida finner du på
www.ipho2011.org.



Innehåll

4 SAMFUNDsinFORMATION

5 BOLOGNAPROCESSEN
Nu utvärderas implementeringen av fysikämnet.

6 TEMA: LASER
Sune Svanberg tar oss med på en resa genom laserens historia och landar i dagens tillämpningar.

8 TEMA: LASER
Hur påverkar fria elektroner lasertekniken?

10 TEMA: LASER
Lasern öppnar dörrar till elektronernas magiska värld.

12 AVHANDLINGEN
Märta Lewander utforskar laserns förmåga att mäta gas i olika miljöer.

14 NYBLIVEN DOKTOR
Intervju med Märta Lewander.

15 SKOLSATSNING
Sätillaskolan har byggt observatorium i Spanien.

16 ICE CUBE
Sydpolen får världens största teleskop.

18 FYSIKDAGAR OCH NOBELPRIS
Olle Inganäs, talare på Fysikdagarna, berättar om forskningen som belönats med årets nobelpris.

21 FYSIKERPORTRÄTT
Jens Ergon är fysiker och vetenskapsjournalist på SVT.

22 ATLAS EXPERIMENTET
En kväll med studier av partikelkollisioner från ATLAS.

23 FYSIKALISK LEKSAK
Fysikaktuellt prisade skribent Per-Olof Nilsson får sin framtid spådd av en fukt känslig fisk.

24 FYSIK OCH CHAMPAGNE
Ann-Marie Pendrill har varit på internationell fysikkonferens i Champagnedistriktet.

26 TANKEEXPERIMENT
Hur är det att rida på en ljuspuls?

All-Time High

SIGNERAT

FORSKARSVERIGE GÖR IDAG gör idag megasatsningar genom att bygga MAX IV och ESS-laboratorierna i Lund. De två laboratorierna är till för funktionella material och komponenter, halvledare och optiska material, supraleddare, polymerer, konstruktionsmaterial, biomaterial och strukturbologi, nanosystem och så vidare. Här sätter bara fantasin gränser. Anläggningarna kan liknas vid två stora mikroskop där man använder fotoner eller neutroner för att förstå hur material är uppbyggda och fungerar på atomnivå. Viktigt för grundforskning men lika viktigt för tillämpningar inom energiteknik, bioteknologi, medicin och läkemedelsindustri, fordon och kommunikation, tomografi och arkeologi. Tillsammans kommer de två laboratorierna att bilda ett centrum i världsklass för gränsöverskridande materialforskning.

Både MAX IV och ESS är tekniskt, ekonomiskt, och politiskt mycket komplexa projekt och har därför decennielånga ledtider. De har planerats under många år men står nu mer eller mindre inför byggstart. MAX IV börjar byggas hösten 2010 och kommer att stå klart 2015 för att sedan drivas i kanske tjugo-fem år. För närvarande slutritas ESS för att uppföras mellan 2013-19, vara fullt utbyggt 2025 och därefter köras i cirka fyrtio år. ESS drivs nu som ett statligt bolag, ESS AB.

MAX IV ÄR ETT nationellt projekt, det vill säga det är främst avsett för forskning vid svenska universitet och högskolor. Därför planeras och finansieras det inom Sverige. Totalt beräknas kostnaden till cirka tre miljarder kronor i en första fas. Finansiärer är främst Vetenskapsrådet, Vin-nova, Lunds universitet, Region Skåne, och Knut och Alice Wallenbergs Stiftelse. ESS är, å andra sidan ett sameuropeiskt projekt. Sverige är värdland, men ESS skall byggas och drivas av ett antal länder som Sverige tecknar bilaterala avtal med. Den processen pågår fortfarande,

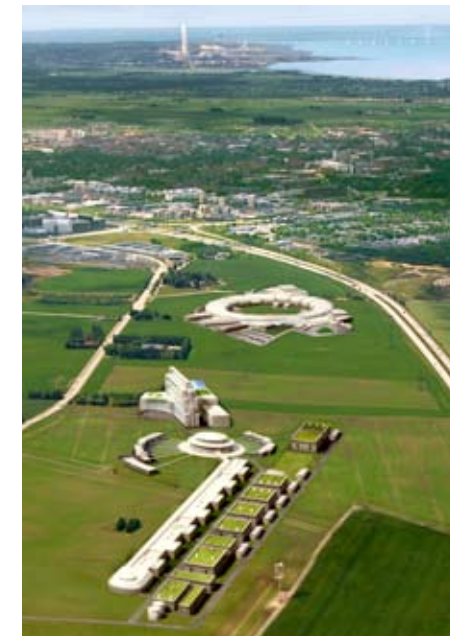


Bild: ESS AB

Skiss på laboratorierna ESS och MAX IV i utkanten av Lund.

ibland med överraskande biavtal som med Frankrike och Tyskland. Den totala investeringen blir cirka tretton till fjorton miljarder kronor. Av detta har svenska regeringen lovat stå för upp till trettiofem procent plus tio procent av driften. Som vi ser handlar set om stora investeringar och dryga driftskostnader. Kontroversiellt är det naturligtvis för somliga.

SOM SAGTS ÄR LEDTIDERNÄ långa och ut-hålligheten är imponerande. Många av dem som nu verkar för ESS och MAX IV är inte de som kommer att vara de som forskare där. ESS, till exempel, kommer att vara i full drift först om femton år. Forskarna kommer att vara dagens skole-lever, ja en del är nog inte ens födda än! Vi får hoppas att de makalösa satsningarna på MAX IV och ESS inspirerar dem att välja naturvetenskap och teknik.

Knut och Alice Wallenbergs Stiftelse



Svenska Fysikersamfundet

Fysikaktuellt distribueras av Svenska Fysikersamfundet. Svenska Fysikersamfundet 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:	Karl-Fredrik Berggren, Linköpings universitet kfber@ifm.liu.se
Skattmästare:	Lage Hedin, Uppsala universitet lage.hedin@fysik.uu.se
Sekreterare:	Raimund Feifel, Uppsala universitet raimund.feifel@fysik.uu.se
Adress:	Svenska Fysikersamfundet Fysiska institutionen Uppsala universitet Box 530 751 21 Uppsala
Postgiro:	2683-1
E-post:	kansliet@fysikersamfundet.se
Webb:	www.fysikersamfundet.se

Medlemskap

Svenska Fysikersamfundet har för närvarande cirka 900 medlemmar och ett antal stödjande medlemmar (företag och organisationer) och stödjande institutioner.

År 2010 är årsavgiften 400 kronor för ordinarie medlemmar och 250 kronor för pensionärer och doktorander upp till 30 år. För grundutbildningsstudenter i fysik är årsavgiften 50 kronor.

Stödjande medlemskap, vilket ger kraftigt rabatterat pris på annonser i Fysikaktuellt, kostar 4000 kr per år. Läs mer och ansök om medlemskap på www.fysikersamfundet.se.

Sektioner

Inom Fysikersamfundet finns ett antal sektioner som bland annat ordnar möten och konferenser inom området. Läs mer på Fysikersamfundets hemsida.

Kosmos

Samfundet ger ut årsskriften Kosmos. Redaktör är Leif Karlsson, leif.karlsson@fysik.uu.se.

Fysikaktuellt

Fysikaktuellt distribueras till alla medlemmar och gymnasieskolor fyra gånger per år. Ansvarig utgivare är Karl-Fredrik Berggren. Vikarierande redaktör och annonskontakt är Åsa Rehnström (asa.rehnstrom@k12.se). Övriga redaktionsmedlemmar är Bengt Edvardsson, Jenny Linde, Thors Hans Hansson, Sofia Svedhem och Peter Apell. Reklamation av uteblivna eller felaktiga nummer sker till Fysikersamfundets kansli.

Omslagsbilden: Förstoring av en laserstråle. Från www.morguefile.com

Tryck: Trydells, Laholm 2010

Aktuellt

■ Nobelpristagarna i fysik och kemi föreläser den 8 december i Aula Magna, Vetenskapsakademien, Stockholm. www.kva.se

■ Fysikerdagarna 2011 blir ett gemensamt möte för de nordiska fysikersamfunden (Danmark, Finland, Island, Norge, Sverige) och Estland. Konferensen kommer att äga rum 29-31/3 2011 i Helsingfors. www.physics.helsinki.fi

■ Europhysics Letters fyller 25 år 2011. För att fira detta planeras ett möte under rubriken ”Frontiers of Physics” i München 2-3 maj. <http://epljournal.edpsciences.org/>

■ NO-biennaler för lärare i skolor F-9 hålls i Luleå den 4-5 april och i Halmstad den 11-12 april. Läs mer på www.nobiennal.nu.

■ Fysikersamfundets remissvar på skolverkets förslag till ”Ämnesplan för fysik i Gy 2011” finns att läsa under www.fysikersamfundet.se/remissvar100817.html

■ Medlemmar av the European Physical Society inbjuds att nominera kandidater till 2011 års ”EPS Gero Thomas Prize”. Endast personer som gjort väsentliga bidrag till EPS verksamhet i olika roller under ett antal år och som gjort anmärkningsvärda gärningar inom fysik, industri eller utbildning kan nomineras. Fullständiga instruktioner för nomineringar finns publicerade i Europhysics News, volym 41, nr 4 (2010). Sista datum för nomineringar är 15 januari 2011. 2010 års medalj tilldelades Professor Emeritus Gunnar Tibell, Uppsala universitet. **Läs mer i Fysikaktuellt Nr 2, 2010.**

■ EPS Nuclear Physics Division vill ha nomineringar till ”2011 IBA-Europhysics prize” för ”outstanding contributions to Applied Nuclear Science and Nuclear Methods in Medicine in Europe”. Blanketter och detaljerad information finns på <http://nuclear.epsdivisions.org/>

Stödjande medlemmar

- ALEGA Skolmateriel AB
www.alega.se
- BFI OPTILAS
www.bfioptilas.com
- Bokförlaget Natur och Kultur
www.nok.se
- Gamdata Instrument AB
www.gamdatainstrument.se

- Gleerups Utbildning AB
www.gleerups.se
- Laser 2000
www.laser2000.se
- Liber AB
www.liber.se
- VWR International AB
www.vwr.com

Stödjande institutioner

- Chalmers tekniska högskola, Institutionen för fundamental fysik
- Chalmers tekniska högskola, Institutionen för teknisk fysik
- Göteborgs universitet, Institutionen för fysik
- Högskolan i Halmstad, IDE-sektionen
- Karlstads universitet, Avdelningen för fysik och elektroteknik
- Kungliga tekniska högskolan, Institutionen för teoretisk fysik
- Linköpings universitet, Institutionen för fysik, kemi och biologi (IFM)
- Lunds universitet, Fysiska institutionen
- Mittuniversitetet, Institutionen för naturvetenskap, teknik och matematik
- Stockholms universitet, Fysikum
- Umeå universitet, Institutionen för fysik
- Uppsala universitet, Institutionen för fysik och astronomi

Fysikämnets anpassning till Bolognaprocessen studeras

Fysik är ett av de första ämnena där Bolognaprocessens implementering har studerats på ämnesnivå. Trots en sen start har Sverige infört de flesta punkterna i Bolognaprocessen men det finns många skillnader mellan universitet i Europa i hur långt införandet har gått.

VID ETT MÖTE I BOLOGNA 1999 beslöt utbildningsministrarna i EG om gemensam struktur för universitetsutbildning. Det gällde framförallt att dela upp grundutbildningen i två cykler, kandidatprogram och masterprogram. Vid senare möten lades det till ytterligare delar som ”diploma supplement”, modularisering, poängsystem och förväntade studieresultat.

Europeiska fysikersamfundet (EPS) beslöt 2007 att undersöka hur Bolognaprocessen har implementerats i fysikämnet och de fick ekonomiskt stöd från Europakommissionen. EPS tillsatte en

styrgrupp med representanter från alla medlemsländer där undertecknad har representerat Sverige. Under det första året studerades kandidatprogrammen genom att i varje land välja ut några universitet som ombads att skicka in kursplaner och studieplaner samt besvara en enkät. I Sverige utvaldes de sex universitet som hade intag på sina fysikerprogram hösten 2008.

SVERIGE BÖRJADE INFÖRA den nya strukturen först den 1 juli 2007 och var därmed bland de sista länderna att införa två cykler. Även om vi var sena med introduktionen så har Sverige följt de flesta intentionerna med Bolognaprocessen. Nästan alla länder har infört poängsystem som är kompatibla med European Credit Transfer System (ECTS) men några länder baserar det inte på studenternas arbetsbelastning som tanken var. Drygt 50 procent av universiteten har uppskattat att en ECTS motsvarar 25-30 timmars

arbete men övriga svar är spridda från 7,5 upp till 40 timmar. Vad som menas med begreppet modularisering har också tolkats på många sätt (även i enkätsvaren från Sverige) och 30 procent av universiteten uppger att de inte har infört modularisering.

Under 2009 gjordes en motsvarande studie av masterprogram och en rapport från den undersökningen håller nu på att sammanställas. Under hösten 2010 har forskarutbildningen studerats med en enkät till de deltagande universiteten. Professor Per-Olov Holtz från Linköpings universitet kommer att ingå i styrgruppen under studiet av forskarutbildningen.

SUNE PETTERSSON

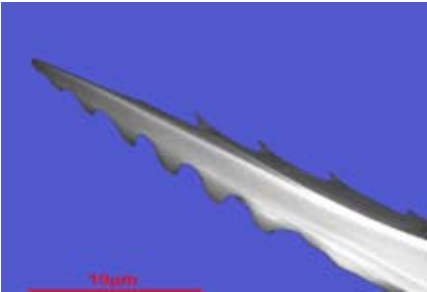
■ Många fler resultat från studien finns att läsa i den rapport som kan laddas hem från <http://www.eps.org/activities/education/eps-physics-education-study>

Myggans metod: stick, såga, sug!

Vi har alla en mer eller mindre utvecklad relation till myggor. Självt kan jag, tack vare bristen av hår på huvudet, till och med känna deras kalla fötter. Annars är ju myggan sådan att vi brukar känna den när det är för sent.

”NU STICKER DET”, brukar sjuksköterskan säga för att förringa den ibland upp till 1N starka kraft som appliceras för att få nålen genom det översta lagret av döda hudceller som vandrat från nedre delen av epidermis där de ser dagens ljus, till övre delen på ett månvarv. Myggan behöver bara en kraft som är 5 storleksordningar mindre.

Myggans mundel är ett gott exem-



Förstoring av myggans mundel.

pel på ett bioelektromekaniskt system som både finner blodkärlen och tömmer oss relativt smärtfritt. I Phys. Rev E82, 011910 (2010) visar författarna Kong och Wu fantastiska bilder på myggans stickverktyg som varken går sönder eller bucklas ut trots ett höjd-bredd förhål-

lande på en faktor 60. Sticka är inte hela sanningen. Det är blott i den första fasen för att ta sig igenom översta lagret; därefter sågar sig myggan ner i en fram- och återgående rörelse kring 10Hz med rakbladsvassa sågtänder.

MYGGOR VERKAR vara ett intressant forskningsobjekt med stor potential inom hälsosektorn. Även fästingar, som skär sig in, och har en sugsnabel med hullingar som gör det svårt att dra ut den, liksom blodsugande iglar (tre käkar med rakbladsvassa tänder) kan fungera som viktiga inspirationskällor inom ramen för ett område som utvecklas rasande snabbt: biomimetiken.

PETER APELL

LASERN – lösningen som

I år är det 50 år sedan vår vardag och vetenskap för alltid

Laserstrålning utsänds i synnerligen parallella strålar, kan ha extremt hög frekvensskärpa eller ofattbart hög toppeffekt. I korthet, vi rör oss här på de extrema talens marknad.

Laserstrålningen är ett skarpt verktyg med en mängd tillämpningar på de mest skiftande områden. Lasern har trängt in i och blivit en integrerad del i vårt vardagsliv men har även öppnat dörren till frontlinjeforskning om de mest fundamentala processerna i universum.

I ÅR ÄR DET 50 ÅR SEDAN sedan den första laserverkan demonstrerades. Den 16 maj 1960 observerade Theodore Maiman första gången denna nya typ av strålning som man länge vetat borde finnas. Maiman var anställd vid Hughes Research Laboratories i Kalifornien och sökte, liksom många andra, att demonstrera laserverkan. Bakgrunden till arbetet var bland annat en artikel från 1958 av Charles Townes och Arthur Schawlow, där utvidgning av maserkonceptet från mikrovågsområdet till det synliga området diskuterades. Townes och medarbetare, respektive Nikolai Basov och Aleksander Prokhorov i Moskva, hade diskuterat och demonstrerat förstärkning av mikrovågstrålning genom stimulerad emission (maser) några år tidigare.

Allt började med Albert Einstein, som redan 1917 teoretiskt visade att det måste finnas stimulerad emission från högre liggande kvantmekaniska tillstånd förutom spontan emission. Lasern kunde egentligen ha demonstrerats mycket tidigare än vad som i verkligheten skedde och bland andra Rudolf Ladenburg, Valentin Fabrikant och Alfred Kastler snuddade vid möjligheten.

Maimans bedrift öppnade en damm-



Bild: Anders Persson

Uppställning för Dopplerfri mättnadsspektroskopi på jodmolekyler. En fredsensdubblad, kontinuerlig Nd:YAG-laser pumpar en avstämbar färgämneslaser som emitterar i en enda kavitsmod. Den spektrala upplösningen är 1:10⁸. Då lasern läses på en bestämd övergång i det elektroniska vibrations-rotationsspektret utgör dess våglängd en sekundärstandard för meterdefinitionen. Alla studenter på den valfria kursen "Atom- och molekylspektroskopi" i Lund utför detta experiment som laboration.

lucka genom vilken en mängd ideer och demonstrationer av lasrar och laseranvändande vällde fram. Från att först ha betraktats som "a solution looking for a problem" har lasern blivit en alldaglig företeelse och en självklar del i vårt teknologiska samhälle med otaliga tillämpningar inom till exempel grundforskning, kommunikation och datahantering, mätteknik, industri och medicin. Lasern blev verkligen lösningen på ett stort antal problemställningar.

LASERJUBILEET HAR uppmärksamats genom en mängd arrangemang runt hela världen (se till exempel www.laserfest.org), så även i Sverige.

Laserstrålning kan konfigureras på många olika sätt. Kontinuerliga lasrar

kan fås att alstra ljus i en enda och ytterst frekvensskarp kavitsmod. Laserns linjebredd kan göras mindre än 1 Hz, extremt liten med tanke på att synligt ljus har en frekvens på ca 10¹⁴ Hz. Alternativt kan ytterst korta pulser alstras genom så kallad modlåsning. Puls längder på mindre än 10 femtosekunder (10⁻¹⁴ s) kan alstras. I sakens natur (Heisenbergs osäkerhetsrelation) ligger, att ljuset då med nödvändigt är spektralt bredbandigt. Laserpulser kan förstärkas till extrema toppeffekter, terawatt (10¹² W) eller till och med petawatt (10¹⁵ W). Detta är görligt genom en speciell teknik där pulserna först sträcks i tiden och sedan förstärks varefter de komprimeras tillbaka till en kort puls som nu har extrem toppeffekt. Tekniken kallas "chirped pulse amplification".

hittade problemen

förändrades av laserns mångfacetterade möjligheter

Lasrar, och då speciellt diodlasrar, har fått mycket stor användning inom informationssamhället, som avläsare av streckkoder, i scanners, laserskrivare, för avläsning av CD skivor och i fiberoptisk kommunikation.

Inom materialbearbetning har lasrar, främst koldioxid-, neodmium- och fiberlasrar fått mycket stor användning för hårdning, skärning, håltagning och svetsning.

LASRAR ANVÄNDS I EN mängd metrologiska tillämpningar, för interferometriska mätningar av ytors planhet, avståndsmätning, som riktmedel och i holografi.

Inom medicinen utnyttjas lasrar av olika typer för kirurgi, koagulation, ablation av vävnad (ändring av hornhinnans brytkraft, rensning av igensatta blodkärl), och för tumörbehandling med fotodynamisk terapi. Lasern har möjliggjort nya kraftfulla mikroskopimetoder; konfokal-, multifoton-, och coherent anti-Stokes Ramanspektroskopi är några av dem. Opisk koherenstomografi har revolutionerat ögonsjukvården och har ett expanderande tillämpningsområde vad gäller undersökning av blodkärl.

En mängd diagnostiska tillämpningar har möjliggjorts med hjälp av lasrar, till exempel vad gäller diagnostik av förbränningsprocesser, mätningar av luft- och vattenföroreningar, statuskontroll av vegetation och fasader på historiska byggnader, och för tidig upptäckt av cancertumörer. Dessa aspekter har varit ett fokus i forskningsverksamheten vid Lunds Lasercentrum.

LASRAR HAR BLIVIT speciellt skarpa verktyg inom grundläggande forskning. Laserspektroskopiska tekniker har inneburit en revolution inom atom- och molekylfysik. I spektroskopiska tillämpningar måste laserns våglängd kunna ändras kontinuerligt. Utvecklingen av så kall-

ade färgämneslasrar blev här av största vikt. Den med partiklarnas rörelse sammanhängande Dopplerbreddningen för övergångarna mellan olika kvantmekaniska tillstånd kan elimineras med Nobelprisbelönade metoder, som medger att fin- och hyperfinstruktur kan upplösas. På bilden till vänster visas Dopplerfria mätningar på jodmolekyler med så kallad mättnadsspektroskopi. Mätningar på övergångar i fundamentala system, som till exempel väteatomer, kan nu göras med så stor precision att frågan om naturkonstanterna verkligen är konstanta blir aktuell.

ULTRAKORTA LASERPULSER öppnar möjligheter att studera dynamik i molekyler och i kemiska reaktioner. Processer av typ fotosyntes, synstimuli och solcellsfysik sker ofta på femtosekundstidskalan. Nyligen har det även blivit möjligt att alstra pulser av längd runt 100 attosekunder (10⁻¹⁶ sekunder). Detta är tidskalan för elektroniska processer i det inre av atomerna. Extremt intensiva högeffektlaserpulser

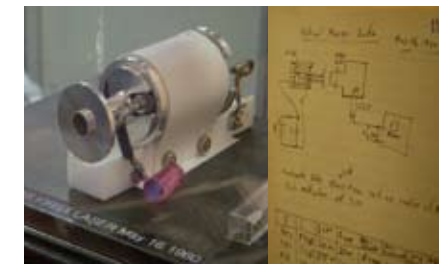


Bild: Sune Svanberg

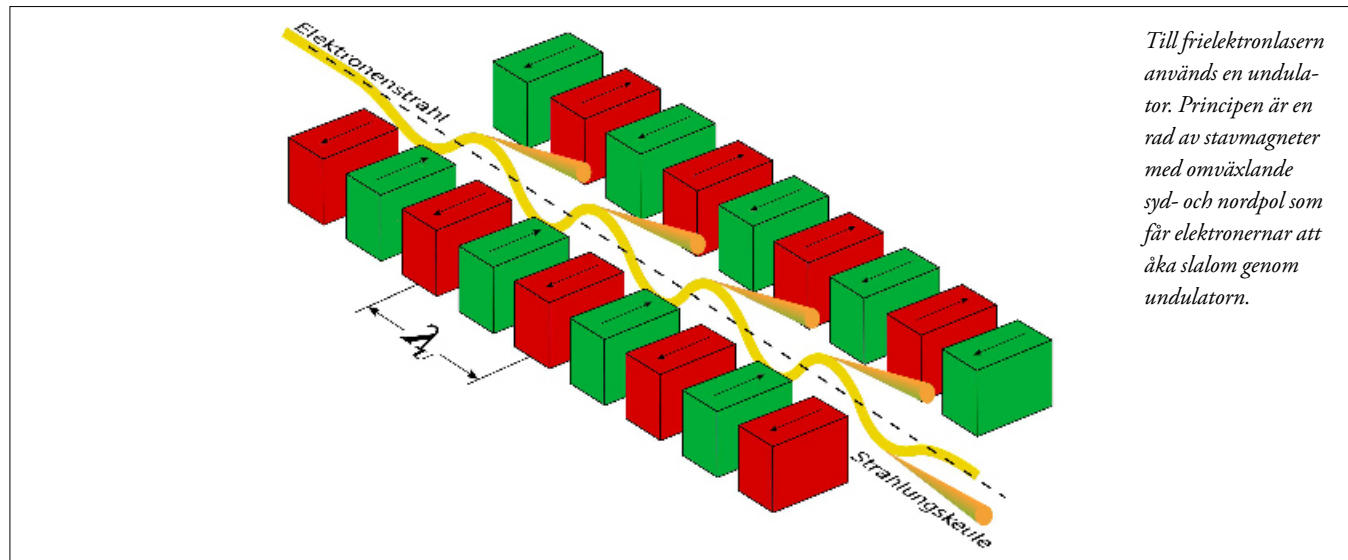
Maimans rubinlaser och hans laboratoriebooks anteckningar från den 16 maj 1960. Rubinlasern är en så kallade trenivå-laser, där den för förstärkning genom stimulerad emission av strålning (laserverkan) nödvändiga så kallade populationsinversionen åstadkommes genom optisk pumpning genom en kraftig blixurladdning. Maiman kunde med hjälp av den på bilden visade originalanordningen demonstrera skarp emission runt 694 nm.

kan användas för att pumpa röntgenlasrar eller för att på bråkdelar av en millimeter accelerera elektroner eller protoner till hastigheter nära ljusets. Alla dessa områden är nu starkt företrädade i Lund.

I SVERIGE BEDRIVS NU forskning baserad på lasrar på de flesta av våra större universitet. Studier av pulserade gaslasrar påbörjades i Kjell Bockastens grupp i Lund med start i mitten på 60-talet, och vid mitten av 70-talet tillkom även tidig laserspektroskopi, där absorptionsspektra från laserexciterade alkaliska jordartsatomer kunde studeras. I Göteborg startade 1973 ett brett program inom grundläggande och tillämpad laserspektroskopi, och 1980 initierades i Lund en omfattande verksamhet inom området baserad på Göteborgserfarenheterna. Förutom laserspektroskopi på fria atomer bedrivs tillämpningar inom miljömätteknik och förbränningsdiagnostik. 1982 utvidgades programmet mot lasermedicinska tillämpningar.

Högeffektlaserlaboratoriet i Lund invigdes 1992. Lunds Lasercentrum bildades 1995 som en interdisciplinär samarbetsorganisation och fick genast status som European Large Scale Infrastructure. I Göteborg, Uppsala och Stockholm, och något senare även i Umeå har laserspektroskopi bedrivits med stor framgång. KTH, genom Nils Abramson, och senare även Luleå, blev säten för avancerad holografi och laserbaserad mätteknik. Halvledarlasrar, främst för kommunikationssektorn, har med stor framgång utvecklats på KTH och Chalmers. KTH har nu genom Fredrik Laurells forskningsgrupp en stark internationell ställning inom utveckling av avancerade solid-state-lasrar.

SUNE SVANBERG
AVDELNINGEN FÖR ATOMFYSIK OCH
LUNDS LASERCENTRUM
LUNDS UNIVERSITET



Fria elektroner vidgar laserns potential

När jag var doktorand för 30 år sedan var en röntgenlaser science fiction. För några veckor sedan deltog jag i mitt första experiment vid världens första röntgenlaser, frielektronlasern LCLS vid Stanforduniversitetet. Frielektronlasern håller på att revolutionera fotonvetenskaperna och har styrt om inriktningen hos stora laboratorier som tidigare var helt inriktade på elementartpartikelfysik.

JAG FICK EN GÅNG lära mig att för att bygga en laser behövs bland annat ett lasrande medium som kan vara i stort sett vad som helst, whisky till exempel. Om någon byggt en whisky-laser vet jag inte, men under den senaste tioårsperioden har ett annat lasrande medium seglat upp som det hetaste, nämligen fria elektroner, alltså elektroner som inte är bundna till atomer eller molekyler. Det speciella med elektroner som lasrande medium är att de inte begränsar lasern till vissa våglängdsområden. Om elektronernas energi

är tillräckligt hög kan våglängden göras mycket kort. Free Electron Laser in Hamburg (FLASH) vid DESY började användas i det mjuka röntgenområdet 2005. I april 2009 demonstrerade Linac Coherent Light Source (LCLS) lasring vid 1.5 Å (0.15 nm).

Lasern, som fyllde 50 år under 2010, har väl numera växt ur sin akronym – Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – och vi tänker på laser som ett ord än som en initialförkortning (akronym). Men det långa och lite invecklade engelska uttrycket som bildar ordet "LASER" är en bra utgångspunkt för att förstå varför det varit så svårt att konstruera en laser för mycket korta våglängder. Ljus förstärks genom stimulerad emission av strålning.

LÅT OSS TA ETT EXEMPEL. Om en ström av fotoner passerar en behållare med atomer som alla befinner sig i sitt lägsta kvanttillstånd, och vars energi är anpassad till energiskillnaden mellan det lägsta och näst lägsta tillståndet i atomen, kommer

åtminstone en del av fotonerna att absorberas av atomerna, så att fotonströmmen minskar. När samma ström fotoner passerar genom samma behållare med atomer vilka nu alla befinner sig i sitt näst lägsta kvanttillstånd, kommer stimulerad emission att leda till en förstärkning av fotonströmmen. De fotoner som bildas genom stimulerad emission har samma våglängd och är i fas med de fotoner som stimulerade emissionen – strålningen blir koherent. Naturen strävar alltid efter att besätta det lägsta kvanttillståndet i en atom, och det krävs någons slag energipump för att vända på populationen, så kallad populationsinversion. Det lasrande mediet, i mitt exempel en behållare med atomer, måste alltså hela tiden pumpas så att populationsinversionen upprätthålls. Det är den spontana emissionen som hela tiden driver atomerna ned till sitt lägsta kvanttillstånd. Pumpen måste alltså dels kämpa mot de stimulerade emissionerna och den spontana emissionen. Den senare ökar dramatiskt, kubiskt för att var exakt, med minskad våglängd och det är detta som

gör det näst intill omöjligt att bygga en laser i röntgenområdet baserat på stimulerad emission.

I en konventionell laser av den typ som jag beskriver ovan, produceras laserljuset genom kvantsprång som elektroner bundna till atomer gör. Fria elektroner har använts för att producera elektromagnetisk strålning i ett mycket brett våglängdsområde i synkrotroner under mer än fyra decennier. Elektriskt laddade partiklar som rör sig i cirkelformad bana i ett konstant magnetfält sänder ut så kallad bromsstrålning. Strålningens intensitet är proportionell mot kvadraten på partiklarnas rörelsemängd. Strålningens vinkelfördelning är beroende av partiklarnas hastighet. Om partiklarna rör sig långsamt så är strålningen vinkelrät mot rörelseplanet ungefär 50 procent av strålningen i planet, men om partiklarna är relativistiska och rör sig med en hastighet nära ljusets så är strålningen koncentrerad i en smal kon i tangentens riktning.

I DEN FÖRSTA GENERATIONENS synkrotroner var bromsstrålningen en oönskad bieffekt i högenergiexperiment i partikelfysik, som utnyttjades av lågenergifysiker inom den kondenserade materiens fysik och atom- och molekyelfysik. Den andra generationens synkrotroner byggdes som användarfaciliteter, med ljusproduktion i böjmagheterna. I den tredje generationens synkrotronljusanläggningar hade böjmagheternas funktion i huvudsak reducerats till att hålla elektronerna i slutna banor runt synkrotronringen, medan den elektromagnetiska strålningen som leverades till experimentstationerna runt ringen istället kom från undulatorer.

Principen för en undulator är en rad av stavmagneter med omväxlande syd- och nordpol får elektronerna att åka slalom genom undulatorn. Om vi kunde åka med de relativistiska, slalomåkande elektronerna skulle Lorentz-kontraktionen få undulatorns period att bli mycket kortare och oscillera med hög frekvens. En observatör i laboratoriet som står i borten änden av undulatorn ser en elektromagnetisk strålning som genom dopplereffekten är skiftad tusenfalt mot kortare våglängder. Strålningen är koncentrerad i

ett smalt våglängdsområde, som kan varieras genom att ändra avståndet mellan magneterna. Intensiteten är proportionell mot antalet elektroner.

GENOM ATT SKAPA och accelerera elektronpaket som är mycket komprimerade i tiden, kortare än 1 ps, och genom att mycket exakt kontrollera dessa elektronpaket på deras väg genom undulatorn kan man få den genererade elektromagnetiska strålen att växelverka med elektronerna, så att dessa fungerar som det lasrande



Den 120 meter långa undulatorn vid LCLS.

mediet. Antalet fotoner blir nu proportionellt mot kvadraten på antalet elektroner och strålningen blir koherent. Detta är grundprincipen för en frielektronlaser som bygger på SASE – Self Amplified Stimulated Emission. Med 106 elektroner i koherensregionen blir strålningen en miljon gånger mer intensiv än från en vanlig undulator. Figur 2 visar den 120 meter långa undulatorn i LCLS.

FLASH (VÅGLÄNGD) 4.5–47 nm vid DESY Hamburg och LCLS (2.48–0.15 nm) vid SLAC (National Accelerator Laboratory) vid Stanforduniversitetet är de två första frielektronlaserna i världen. I Japan är Testacceleratorn Spring-8 Compact SASE Source (SCSS; 3–20 nm) igång för användning i fotonexperiment. I Europa byggs XFEL i Hamburg i collaboration mellan ett flertal europeiska länder, inklusive Sverige, för laserljus ned till 0.1 nm, och även japanerna arbetar med att bygga en egen röntgenlaser. Amerikana har redan avancerade planer på en uppgradering av sin LCLS för att ligga i framkant även när de nya europeiska och japanska laserna tas i drift. LCLS leve-

rerar laserpulser med energi upp till ett par mJ/puls, en pulsbredd ned till ett par femtosekunder, 1012 fotoner/puls, och med en repetitionsfrekvens av 60 Hz. Enheten mJ/puls är den som används för lasrar i det synliga området, och ett tydligt tecken på att en frielektronlaser har mer gemensamt med sina kusiner i det synliga området snarare än med synkrotronljusanläggningar.

FLASH och LCLS är redan vetenskapliga succéer. En "killer rapp" som man säger på svengelska är koherent diffraktionsavbildning. I ett berömt experiment från 2006 vid FLASH visade Henry Chapman, Janos Hajdu och medarbetare att det går att avbilda ett objekt med en extremt kort och intensiv mjukröntgenpuls innan objektet totalförstörs av pulsen. Målsättningen är att i framtiden kunna avbilda biologiska molekyler som inte går, eller är mycket svåra, att kristallisera, till exempel membranproteiner.

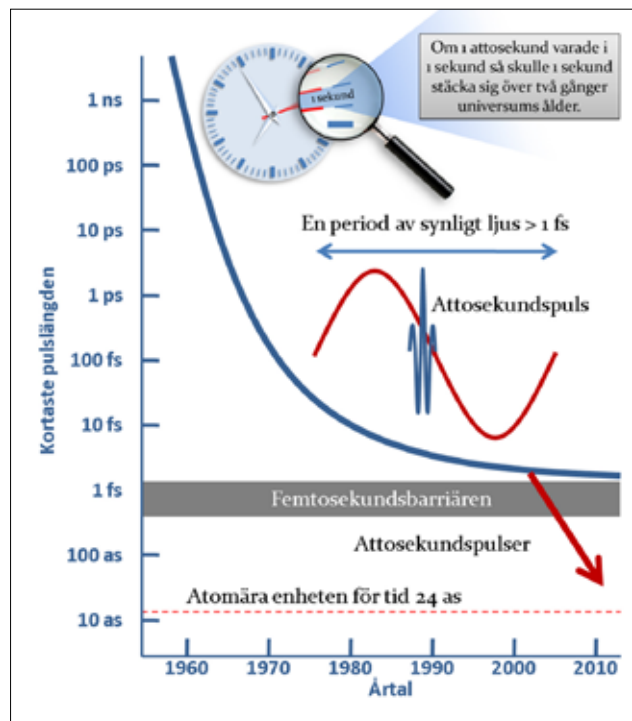
Det finns en stor nackdel med en frielektronlaser, nämligen att man bara kan göra ett experiment i taget. Konkurrensen om stråltid är därför mycket stor. Samtidigt som nya anläggningar tas i drift under de kommande åren kommer säkert nya användare att ställa sig i kö för experiment. Trycket kommer att förbli högt.

MIN UPPFATTNING ÄR att den mest spännande forskningen vid nuvarande och kommande accelerators (möjligen undantaget LHC vid CERN) kommer att utföras vid frielektronlasrar. I Sverige satsar vi på acceleratoranläggningarna European Spallation Source (ESS; neutronkälla) och MAX IV (synkrotronljusanläggning), båda i Lund. Sverige bör också satsa på en frielektronlaser i mjukröntgenområdet. Mälardalsregionen är stark inom fotonvetenskaperna och viss nationell infrastrukturbalans behövs, vilket gör det naturligt att förlägga en anläggning dit. Uppsala universitet, Stockholms universitet och Kungl. Tekniska Högskolan har redan ett FEL-center som arbetar med den målsättningen. Den tekniska utvecklingen går mycket snabbt och man kan kostnaderna för att bygga en frielektronlaser komma att minska i framtiden.

MATS LARSSON

Laserteknik berättar elektronernas dramatik

Attofysik handlar om att öppna ögonen för en värld som vi länge vetat fanns men fram till nu inte har kunnat se – elektronernas värld. En värld av ofattbart små och snabba förlopp och fenomen. Utvecklingen av lasertekniken har kommit så långt att vi faktiskt har möjlighet att studera den världen.



ATT STUDERA FYSIK utan tillräckligt bra tidsupplösning är som att se en kraftigt censurerad Shakespearepjäs, en pjäs där man bara får se inledningsakten där skådespelarna gör sig redo och sedan slutscenen där alla skådespelarna ligger döda på scenen – att utifrån den informationen försöka gissa sig till vad som egentligen utspelade sig däremellan är inte lätt och antagligen frustrerande.

Utvecklingen av lasern har möjliggjort tidsupplösta mätningar av fenomen som utspelar sig på elektronens naturliga tidsskala. För att kunna göra detta utnyttjar vi de kortaste ljuspulserna som någonsin har skapats, attosekundspulser, där en attosekund är lika med 10^{-18} sekunder (en miljarddels miljarddels sekund). Med hjälp av attosekundspulser hoppas vi få ta del av den fascinerande föreställningen som utspelar sig i elektronernas värld.

DET FINNS EN NÄSTAN symbiotisk koppling mellan elektroner och fotoner. Då elektroner rör sig skapas ljus, men ljus kan också starta elektronrörelser. Elektronernas svängande rörelser i atomer och molekyler kan lite förenklat liknas vid miniatyrantennar som antingen sänder ut eller tar emot ljus. Elektronernas rörelser

kan också utnyttjas till att skapa, förstöra eller förändra molekyler. Att förstå hur elektroner rör sig och växelverkar med ljus är av central betydelse inom fysiken, kemin och biologin.

EFTER REALISERINGEN AV den första lasern gick utvecklingen mot kortare laserpulser otroligt fort ända fram till mitten av 80-talet då man hade nått pulslängder som bara var några få femtosekunder långa. Här stannade utvecklingen av dramatiskt. En ljuspuls kan inte vara kortare än en svängning hos ljusfältet och i det synliga området betyder det att den måste vara längre än en femtosekund. Den här begränsningen kom därför att kallas "femtosekundsbarriären". Kortare ljuspulser kräver alltså att vi utnyttjar ljus med kortare våglängd, men också med en väldig bandbredd eftersom hög precision i tid oundvikligen leder till en stor osäkerhet i energi. För att åstadkomma detta utnyttjar vi återigen elektronernas rörelser och hur de växelverkar med ljus.

FEMTOSEKUNDBARRIÄREN kunde äntligen brytas år 2001 och det gjordes genom att skapa ljus med mycket kortare våglängd än synligt ljus via en process som kallas

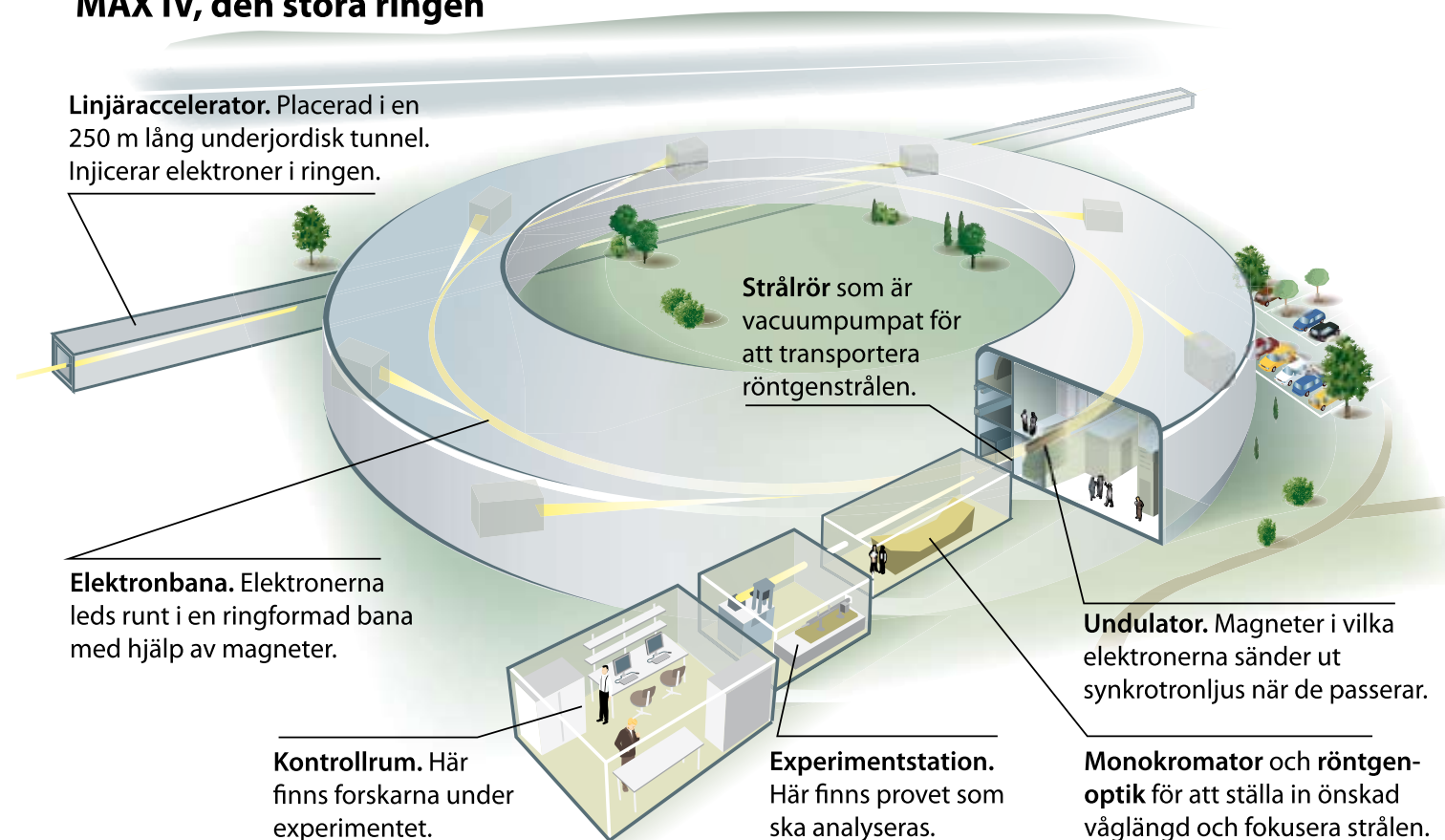
övertonsgenerering. Vid övertonsgenerering växelverkar synligt laserljus med elektroner som är bundna till atomer. I den här processen använder vi laserljus som är så starkt att det kan konkurrera med kopplingen mellan elektronen och atomen. Det leder till att laserljuset till viss del joniserar atomerna och att de frigjorda elektronerna sedan kan accelereras i ljusvågen. Om elektronerna drivs tillbaka till atomen frigörs all den energin som de har ackumulerat i ljusfältet. Energin frigörs i form av en kort ljusblint – en attosekundspuls. De senaste åren har vi ägnat åt att lära oss att kontrollera och karaktärisera dessa väldigt korta ljusblintar. Forskningsfronten har nu med råge passerat 100 attosekunder och vi närmar oss snabbt 24 attosekunder, som är den atomära enheten för tid.

VI HAR NÅTT MYCKET långt och vågar påstå att ridån har gått upp: elektronernas särregna skådespel kan nu både beskådas och kontrolleras.

JOHAN MAURITSSON
MARCUS DAHLSTRÖM
PER JOHNSON
ERIK MANSTEN OCH
ANNE L'HUILLIER
LUNDS UNIVERSITET

MAX IV – framtidens ljuskälla

MAX IV, den stora ringen



- **Världsledande forskning i världsledande anläggning**
- **Lockar fler än 800 forskare från hela världen varje år – redan i dag**
- **Ger nya möjligheter att undersöka molekylära strukturer och ytor**
- **Avancerad forskning om ren energiteknik**
- **Avancerad miljöforskning**
- **Förstärker Sveriges position inom materialforskning**
- **Forskning inom allt från arkeologi och medicin till miljövetenskap och nanofysik**



www.maxlab.lu.se

Diodlaser kan finna inflammation i bihållor

Laserspektroskopi används ofta till att mäta gasen i atmosfären eller i genomskinliga gasceller, för till exempel kemisk analys. Ny teknik gör det nu möjligt att mäta gas i mer komplexa miljöer, till exempel inuti människokroppen eller i livsmedel. Tekniken är baserad på absorptionen av ljus från diodlaser med låg effekt och är ett intressant alternativ för att diagnostisera den vanliga, men svårbestämda bihålsinflammationen.

LJUS VÄXELVERKAR MED materia på ett mycket specifikt sätt och är anledningen till att saker har färger, himlen är blå och att solljus kan delas upp i en regnbåge genom vattendroppar. Läran om hur ljus växelverkar med material – spektroskopi – används inom astronomi, kemi, fysik och medicin. Absorptionsspektroskopi studerar just hur olika material absorberar elektromagnetisk strålning och gör det möjligt att avbilda genom röntgenstrålning och kvantitativt bestämma gaser i atmosfären. Inom kemisk analys är absorption av ljus (UV, synliga och IR området) ofta använt. Varje atom och molekyl absorberar ljus på ett unikt sätt, vilket är ett resultat av dess inre struktur. Övergångar mellan de diskreta energinivåerna, ett resultat av kvantmekaniken, leder till absorptionslinjer. Då ljus absorberas av en molekyl exciteras denna, vilket innebär att den ändrar sin elektronkonfiguration, det vill säga elektronorbital, vibration och/eller rotation.

DENNA AVHANDLING AVSER absorptionsspektroskopi där absorptionen av ljus emitterat från diodlaser studeras diod-

laserabsorptionsspektroskopi. Laserljus är en ytterst lämplig ljuskälla för absorptionsspektroskopistudier då ljuset från en laser har alldeles specifika egenskaper. Särskilt intressant är diodlasern för absorptions-spektroskopi, då den är svepbar. Diodlasern består av ett halvledarmaterial som man skickar en ström igenom. Genom att ändra diodlaserns temperatur eller drivström så ändras den utsända våglängden – man kallar detta att diodlasern är svepbar i våglängd. Typiskt sveps våglängden över en absorptionslinje av den studerade gasen genom att strömmen till diodlasern snabbt rampas, se figur. Diodlaserar är kompakta små enheter, som är enkla att styra och reglera, vilket ytterligare bidragit till deras stora användning inom absorptionsspektroskopi.

AVHANDLINGEN SYFTAR syftar till utveckling av diodlaserspektroskopitekniken och ett särskilt fokus har varit att studera gaser inuti fasta prover som sprider och absorberar ljus kraftigt. Spridning innebär att ljusets utbredningsriktning ändras, jämför till exempel laserljus som

passerar genom ett glas med vatten (det går rakt igenom) och laserljus som går genom ett mjölkglas (det blir diffust), se figur. Möjligheten att mäta gas fastän den är lokaliserad inuti ett fast absorberande och spridande material är en relativt ny diodlaserspektroskopiteknik (har funnits i 10 år) och har givits namnet GASMAS – gas in scattering media absorption spectroscopy.

Den fundamentala skillnaden mellan GASMAS och traditionell diodlaserspektroskopi är att ljuset inte går rakt igenom provet och växelverkar med gasen, utan istället studsar runt inuti provet och växelverkar med gas när det stöter på denna, se figur. Den diffusa ljusutbredningen som spridningen orsakar leder till att vägstrecken genom gas är okänd och att endast mycket små mängder ljus kan detekteras. Klassiskt används vägstrecken för att bestämma koncentrationen på gasen genom Beer-Lamberts lag. Den okända gas-våglängden i GASMAS-fallet leder till en mer komplex koncentrationsanalys. För att detektera det spridda ljuset används en detektor med stor yta (25 - 400

mm²). Typiskt detekteras 1 nW - 1 μW då laserljus med effekten 0.5 - 1 mW sänds in i provet. Möjligheten att detektera absorptionen från gasen (typiskt absorberas 1 av 10 000 fotoner) fastän provet kraftigt absorberat och spritt ljuset beror på att gasen spektralt sett absorberar mycket skarpare än bulkmaterialiet. Till skillnad från fria molekyler – gas – upplever molekyler i flytande och fast fas störningar av närliggande molekyler vilket gör att deras absorption blir bredbandig.

I DETTA AVHANDLINGSARBETE har GASMAS-tekniken undersökts för medicinsk diagnostisering och livsmedelsförpackningsanalys. Gasmonitorering i människokroppen är begränsad till vävnadens transmission av ljus och tillgängliga absorptionslinjer. Vävnad absorberar ljus kraftigt, men i området från 600 nm till 1400 nm (det optiska vävnadsfönstret) är det möjligt för ljus att passera igenom. Inom detta optiska vävnadsfönster har syre, O₂, och vattenånga, H₂O, absorptionslinjer.

I detta avhandlingsarbete visas hur detektion av O₂ och H₂O i mänskliga käk- och pann-bihålor samt gaskaviteter i mastoidbenet, med hjälp av icke-invasiv GASMAS-teknik ger klinisk relevant information. Mastoidbenet, lokaliserat bakom örat, är en gasfylld benstruktur som kan bli igensatt vid sjukdom. Bihålorna som i ett friskt tillstånd är gasfyllda kaviteter som ventileras via näskaviteten blir i ett sjukligt tillstånd blockerade och igensatta. Inga enkla tillförlitliga diagnostiseringsmetoder finns vilket leder till överförskrivningar av antibiotika. GASMAS-teknikens icke-invasiva natur och enkla apparatur är ett intressant alternativ med stor klinisk användbarhet. Genom

att lysa laserljus genom kinden kan gas i bihålan mätas, se figur.

I en klinisk studie, där GASMAS-data och annan klinisk data (utvärdering av datortomografibilder) jämförts, har god korrelation visats. Genom att mäta absorptionen av H₂O och O₂ kan både gasmängd och koncentrationen av O₂ bestämmas. Gasmängden anger hur igensatt bihålan är och O₂-koncentrationen är reducerad. Med diodlaserspektroskopi är det möjligt att mäta gasen i en förpackning om det finns fri optiskt tillgång, det vill säga en passage där ljuset kan gå rakt igenom. GASMAS-tekniken expanderar användningsområdet till förpackningar där ljuset kan gå genom spridande förpackningsmaterial och livsmedel. Demonstration av tekniken har gjorts genom köttfärspaket och bröd paketerade i en modifierad atmosfär.

VIDARE HAR GASMAS-TEKNIKEN undersökts som möjlig metod för att monitorera gas i lungorna hos för tidigt födda barn – ett högst kritiskt fall som skulle nyttjas av en icke-invasiv teknik. GASMAS-mätningar har utförts på en realistisk modell bestående av lungvävnad från djur och gelatinfantomer (med absorption och spridning som vävnad), i realistiska dimensioner. Resulta-

ten visar att gasmonitorering av för tidigt födda barns lungor bör vara möjligt.

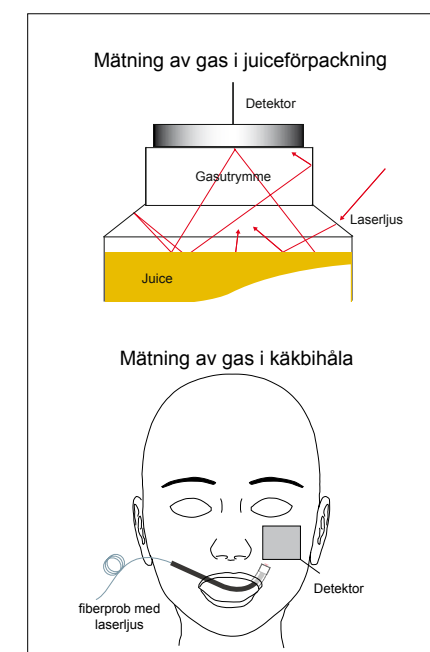
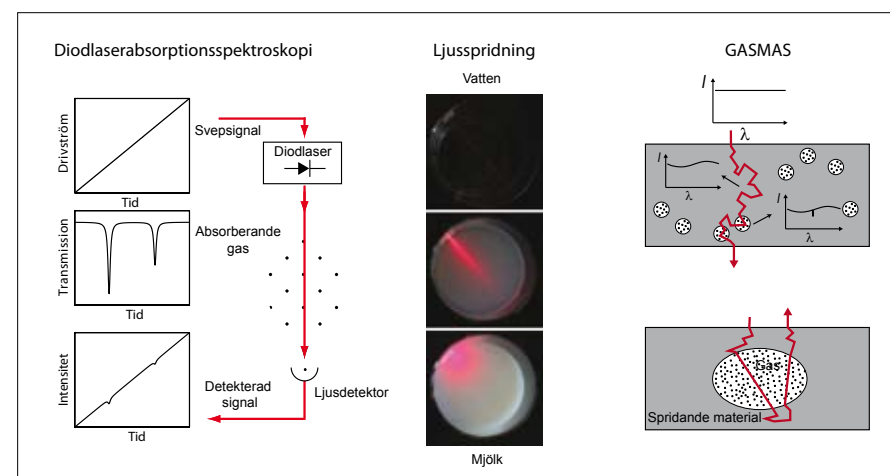
ATT MÄTA GASEN I livsmedelsförpackningar utan att punktera dem är en annan intressant applikation av GASMAS-tekniken. Behovet att mäta gas i förpackningar är stort då många livsmedel förpackas i en modifierad atmosfär, det vill säga O₂-koncentrationen är reducerad. Med diodlaserspektroskopi är det möjligt att mäta gasen i en förpackning om det finns fri optiskt tillgång, det vill säga en passage där ljuset kan gå rakt igenom. GASMAS-tekniken expanderar användningsområdet till förpackningar där ljuset kan gå genom spridande förpackningsmaterial och livsmedel. Demonstration av tekniken har gjorts genom köttfärspaket och bröd paketerade i en modifierad atmosfär.

Ytterligare har studier av gas inuti mjölkpaket och olika syrgasinnehåll för juicepaket med olika hållbarhetsdatum utförts. Laserljuset får då passera igenom förpackningen och genom att analysera det ljus som kommer ut kan man bestämma gassammansättningen i förpackningen utan att ta hål på den, se figur. Resultaten visar att GASMAS-tekniken kan bestämma syrekoncentrationen i förslutna förpackningar.

MÄRTA LEWANDER

Märta Lewander doktorerar i atomfysik vid Lunds Tekniska Högskola. Hon försvarade sin avhandling "Laser Absorption Spectroscopy of Gas in Scattering Media" den 17 december 2010.

Hela avhandlingen finns att ladda ner på: http://www.atomic.physics.lu.se/research/applied_molecular_spectroscopy_and_remote_sensing/phd_theses/



“Kunskap sitter även i händerna”

Din avhandling handlar om att mäta gas med hjälp av diodlaser. Varför fastnade du för det ämnet?

– Jag lockades av dess tvärvetenskapliga inriktning. Projektet innehåller både ny teknik och intressanta applikationer. Dels inom sjukvården och i diagnosticeringsmiljöer och dels inom industrin och i förpackningstillverkningen.

Vad har varit största utmaningen under din doktorandtid?

– Det har varit väldigt mycket jobb om jag ska vara ärlig. Många projekt som ska göras samtidigt. Som forskare är det spännande att kunna påverka sitt jobb men det är också lätt att ta på sig för mycket och försöka göra mer än vad man fysiskt kan under de timmar man har.

Vad är du speciellt stolt över?

– Jag är mest stolt över att jag har lärt mig så mycket. Jag har pushat mig själv och



MÄRTA LEWANDER

Ålder: 29 år

Familj: stor

Bor: i Lund

Bakgrund: lärarexamen inom matte och fysik och civilingenjör i teknisk fysik.

Forskning: mätning av gas i komplexa miljöer med hjälp av ljus från diodlaser.

blivit pushad och utvecklats och investerat i mig själv.

Varför blev det fysik för dig?

– Jag har alltid tyckt att matte och fysik är

tilltalande och har haft viss läggning för det. Valet av fysik beror på att det har en ”hands-on”-kvalitet som jag gillar. Jag trivs med att jobba med händerna i labbet och anser att kunskap sitter både i huvudet och i händerna. Att bygga något i ett labb, testa, verifiera och pröva nya applikationer ger mig en väldig tillfredsställelse.

Vad har du för intressen utöver fysiken?

– Måla tavlor och sticka. Jag läser också mycket böcker och gillar att vara ute i naturen och att jogga.

Vad drömmer du om att göra i framtiden?

– Jag hoppas att jag har ett lika roligt jobb som jag har haft under de här fyra åren när jag har doktorerat, men att jag även har tid för annat. Min dröm är att kunna kombinera detta stimulerande jobb med en fritid.

ÅSA REHNSTRÖM

TARGET YOUR RESEARCH WITH EPL

Sign up to receive the free EPL table of contents alert.

www.epljournal.org/alerts



Skolfysik på hög nivå

Sätillaskolan byggde observatorium i Sierra Nevada

Dubbelstjärnor, Messierobjekt, jupiterstormar och kanske Pluto. Allt syntes i teleskopen när elever från Sätillaskolan åkte på premiärtur till det observatorium i Sierra Nevada som skolans entusiastiska lärare byggt upp.

I DEN LILLA BYN PITRES i Sierra Nevada-massivet, två timmars bilresa från Granada i södra Spanien ligger TEN, Telescopios Escolares Nordicos, det vill säga Nordiska skolteleskopen. Här har svenska lärare med Erik Ordell från Sätillaskolan i spetsen byggt upp ett nytt observatorium högt ovan molnen och långt borta från ljusa sommarnätter och störande gatubelysning. Hit kan lärare och elever åka för att observera, men studierna ska också kunna skötas hemifrån eftersom en del av utrustningen är robotstyrd. Observatoriet har fem optiska teleskop, varav två i kupoler som stängs på 20 sekunder när det blir mulet. TEN har också ett radioteleskop i form av två åttameters dipolantennar avsedda att detektera solstormar och Jupiterstormar i 20 MHz-området.

HUR ÄR DET MÖJLIGT att skapa detta? Erik Ordell berättar att det varit en stor aktivitet på NO-avdelningen på Sätillaskolan, som är en högstadieskola med ungefär 300 elever på landet några mil öster om Göteborg. På naturvetarsidan finns det både fysiker och ingenjörer som läst till lärare ganska sent, och lärare som har en mer modern utbildning som är bredare men grundare.

– Kombinationen är i mina ögon lyckad och har gett ett dynamiskt gäng, säger Erik. Ett tag var vi tre fysiker som råkade ha läst mellan 40 och 60 poäng

astronomi så en satsning på astronomi var naturlig. Vi sålde inventarierna i en gammal oanvänd tekniskal och göt och spikade ihop ett observationsdäck för astronomi på den innergård som till NO-avdelningen. Sen fick jag nästan 400 000 kronor från Stiftelsen Föreningsparbanken Sjuhärad 2005. Det var egentligen tänkt att vara till en lokal satsning i Sätilla med både optisk astronomi och radioastronomi, men bra teleskop hjälper inte långt om inte observatoriet är väl placerat så jag började leta efter att ha en del av utrustningen längre bort.

EN SPANSK ASTRONOM ordnade kontakt med en liten glesbygdskommun, La Taha, i Sierra Nevadamassivet som tog emot projektet med öppna armar – ingen hyra, fri internetanslutning, fri el, rabatt på hotellet och utbytt gatubelysningen för att lyktorna inte ska störa observationerna. Hösten 2008 skickades en 20-fots container till Pitres. Eftersom det var svårt att få upp lasten de sista kilometrarna

på den slingriga serpentinvägen fick containern fraktas tom uppför de sista backarna med en liten speciallastbil. Väl på plats byggdes containern om till observatorium och två trettio centimeters betongpelare göts tvärs igenom tak och golv för att teleskopen skulle stå fritt från själva containern.

EFTER MÅNGA resor och mycket arbete kunde TEN-observatoriet i oktober i år ta emot sina första elever. Sju elever från Sätillaskolans årskurs nio med några medföljande föräldrar och lärare tillbringade en vecka med att studera himlen på nätterna och njuta av det omgivande landskapet på dagarna.



Fanny Apelgren, Rebecca Pettersson, Jonatan Larsson, Robin Johansson, Niklas Ericson, Freddy Råsemeyr och Johan Lundberg från Sätillaskolan på TEN-observatoriets tak.

På hemmaplan har Sätillaskolan precis byggts om och kan nu ståta med ett astronomitorn och ett mikrorum med plats för två elektronmikroskop och ett sveptunnelmikroskop (det sistnämnda dock inte byggt eller införskaffat ännu).

– I astronomitornet kan vi utbilda inte bara våra egna elever utan även lärare från andra skolor som i sin tur utbildar sina elever och använder skolans utrustning, säger Erik Ordell. Sådana här stipendier faller ju ut lite var som helst och vi delar gärna med oss av den tur vi haft.

Erik och hans kollegor hoppas kunna anordna workshops för lärare i hur man använder all utrustning de samlat på sig. I tornet finns två kupoler med bland annat ett 28 centimeters teleskop, ett fyrameters radioteleskop (för neutralt väte 21 centimeter), en föreläsningssal/klassrum samt ett videokonferensrum.

ANNE-SOFIE MÅRTENSSON

Is på Sydpolen blir till världens största teleskop



Över: Flygbild från Amundsen-Scott-basen vid Sydpolen där IceCube finns.

Under: Slangen med varmvatten slingrar sig fram till borrhjulet intill IceCube-byggnaden.

Neutrinostrålning från rymden skulle kunna lära oss mycket om universum. Nu installeras de sista delarna av neutrinoobservatoriet IceCube i isen vid Sydpolen.

IS-SMÄLTNINGEN VID vid Sydpolen har pågått sedan början av nittiotalet. Men det är inte en fråga om klimatförändringar. Vid Sydpolen kommer lufttemperaturen utomhus aldrig i närheten av nollstrecket.

Polen ligger i Antarktis inland och är täckt med ett tre kilometer tjockt istäcke som glider förbi mot havet med en hastighet av ungefär 10 meter per år. Det som smält is vid polen är istället en varmvattenslang med en effekt av 5 MW som använts för att ”borra” hål ned till ett djup av 2450 m.

Luften i Antarktis är den renaste i världen och genom den faller den renaste snön som packas till den renaste is man känner till. Den är så klar att absorptionslängden för ljus är över 100 meter på stora djup. Genom att placera ljusdetektorer i de vattenfyllda hålen innan de fryser igen har vi kunnat skapa världens största mätinstrument: IceCube.

När en laddad partikel rör sig snabbare än ljushastigheten i isen, c/n där n är brytningsindex, hinser inte dess elektromagnetiska fält med, utan det ”släpar efter” i en kon bakom partikeln. Med konens yta utbreder sig ett blåaktigt sken, Cherenkovljuset. Detta ljus registreras, foton för foton, av IceCube-modulerna, och de digitaliserade signalerna skickas upp till glaciärytan ovanför via nätverkskablar.

DE PARTIKLAR VI egentligen är ute efter är neutriner från processer ute i universum som vi inte riktigt förstår. Eftersom neutrinerna är elektriskt oladdade och bara växelverkar svagt reagerar de ytterst ogärna med materia. Det är därför vår

detektor måste vara så stor som en kubik-kilometer. Men deras svaga växelverkan betyder också att de kan nå oss direkt från platser som inte kan observeras på något annat sätt. Lågenergetiska neutriner i MeV-området har observerats från solens inre, och från supernovan i Stora Magellanska molnet 1997. I IceCube letar vi efter neutriner med högre energi. De måste finnas, eftersom man observerat protoner och atomkärnor med hög energi som når jorden, den så kallade kosmiska strålningen. När dessa protoner reagerar ute i universum, framför allt i anslutning till de ännu oidentifierade platser där de bildas, uppstår partikelskuror av en typ som är välkända för partikelfysiker och som bland annat innehåller neutriner.

DET FINNS TRE SORTERS neutriner, och IceCube är känsligt för alla tre via de laddade partiklar som bildas när de reagerar. Myonineutriner är speciellt intressanta eftersom deras reaktioner ofta ger en myon, en partikel som kan färdas flera kilometer genom isen i en riktning som nästan sammanfaller med neutrinons. På så sätt kan vi se varifrån neutrinon kom på någon grad när, och ett astronomiskt objekt som sänder ut tillräckligt mycket neutriner skulle vi kunna se som en punktkälla. Men det räcker inte med en neutrino för att vi skall kunna säga att vi sett en källa. Det finns nämligen en betydande bakgrund av neutriner som bildas då den kosmiska strålningen reagerar med jordens atmosfär. Dessutom finns för varje sådan atmosfärisk neutrino som reagerar i isen ungefär en miljon myoner som passerar ned genom isen från reaktioner i atmosfären ovanför polen. Den senare bakgrunden kan till stor del undvikas genom att man studerar norra himmelssfären: det är bara neutriner som kan passera genom jorden.

Kommer vi att hitta neutriner från

kosmos? Det vet vi inte, men vi har gott hopp. Utifrån det observerade flödet av kosmisk strålning med hög energi kan man uppskatta hur stort neutrinoflöde källorna till den strålningen ger, det så kallade Waxman-Bahcall-flödet.

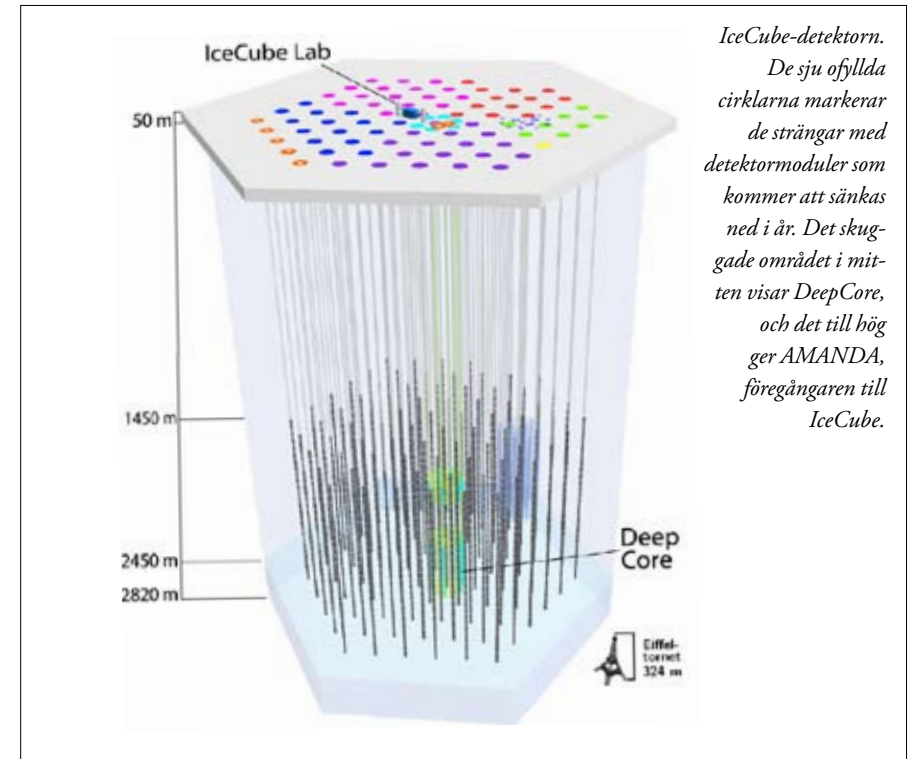
Vi är nu känsliga för ett neutrinoflöde av den storleken, och känsligheten ökar i och med att vi samlar in mera data. Dessa data analyseras intensivt i hopp om att vi ska finna tecken på antingen ett diffust flöde av neutriner med högre energi än den atmosfäriska bakgrunden, eller sådana som kommer från en viss riktning eller vid en viss tid. En del riktningar är speciellt intressanta eftersom de svarar mot kända objekt.

BLAND DE OBJEKT vi studerar finns svarta hål som slukar omgivande materia och slungar ut en liten del som ”jets”, antingen supermassiva hål i mitten av galaxer med massan från hundratals miljoner stjärnor (aktiva galaxkärnor) eller mindre massiva inom vår egen galax. I chockfronterna som bildas kan laddade partiklar accelereras för att sedan kollidera och bilda neutriner.

En speciellt intressant möjlighet är neutriner från gammablixtar (gamma ray bursts, GRBs). En GRB kan under någon sekund leverera lika mycket strålningsenergi som solen gör under sin livstid. Man tror att vissa uppstår när neutronstjärnor sammansmälter och andra i supernovaexplosioner. Också här bildas en ”jet” vilken, förutom gammastrålen som kan ses i satellitburna gammateleskop, också bör kunna ge en neutrinostråle.

Genom att söka efter neutriner som sammanfaller i tiden med en detekterad GRB kan man eliminera bakgrunden av atmosfäriska neutriner. Om den högenergetiska kosmiska strålningen härrör från GRBs borde IceCube kunna se tecken på det inom några år.

DET FINNS MÅNGA andra kända eller hypotetiska fenomen som kan studeras med IceCube. Den kosmiska strålningen och de atmosfäriska neutrinerna är inte bara bakgrunder för en kosmisk neutrino-signal, utan också naturfenomen värda ett ingående studium. På isytan ovanför



IceCube finns ett detektorsystem som tillsammans med detektorn nere i isen kan användas för att studera egenskaper hos de atmosfäriska skurarna och därmed också massfördelningen för den kosmiska strålning som orsakar dem. Vi kan också lära oss mer om neutriners egenskaper genom att se hur de atmosfäriska neutrinerna påverkas av färdens genom jorden till IceCube.

DET SENARE ÄR ETT exempel på hur IceCube kan användas för partikelfysik. Det finns flera andra. Speciellt intressant för de svenska grupperna är jakten efter den mörka materien.

Vi vet att ungefär 80 procent av universums materia är av en okänd typ som inte bildar stjärnor eller går att se med teleskop, bara indirekt via gravitationella effekter på den synliga materien eller ljusets utbredning. Den mest lovande kandidaten för denna mörka materia är nog neutralinon, en neutral, svagt växelverkande partikel som förutsägs i modeller för partikelfysiken byggda på det som kallas supersymmetri.

Neutriner, eller andra liknande partiklar, skulle kunna ansamlas till exempel

i solen och där nå en sådan koncentration att de annihileras till bland annat neutriner. Sådana neutriner har vi länge letat efter, men deras förväntade energier har varit i lägsta laget för IceCube.

Sedan 2009 är dock IceCube utrustad med en speciell deldetektor, DeepCore, som har en högre känslighet vid låga energier. DeepCore är ett svenskt initiativ, möjliggjort av ett bidrag från Wallenbergstiftelsen, som förbättrar IceCubes prestanda i flera avseenden.

DE SJU SISTA STRÄNGARNA med IceCube-detektorer kommer att sänkas ned vid Sydpolen i december 2010.

För de svenska grupperna i Stockholm och Uppsala som byggt ungefär 20 procent av de 5500 detektormodulerna väntar nu flera års datatagning och analys med det färdiga instrumentet, och förhoppningsvis upptäckter av neutriner från kosmos. Is-smältningen vid polen är slut för IceCubes del. Men det finns redan ideer om hur man kan utnyttja den kristallklara isen för andra mätningar.

KLAS HULTQVIST
STOCKHOLMS UNIVERSITET



■ **Vad betyder fysikdagar för dig?**
– Våldigt mycket. Jag är ensam fysiklärare på min skola och det här är en chans att få input, inspiration och skapa kontakter med andra fysiklärare.

ANDERS LINDAHL,
lärare på Lärcenter i Falkenberg



ANJA BOISEN,
professor vid Danmarks Tekniske Universitet

■ **Vad för dig hit?**
– Jag ska presentera min forskning inom mikro- och nanoteknologi. Mitt föredrag heter "Miniaturized mechanical sensors".



CECILIA BJÖRSTRÖM-SVANSTRÖM,
fil.dr. i materialfysik och anställd på Tetrapak

■ **Vad för dig hit?**
– Dels vill jag se vad man kan jobba med som fysiker och dels ska jag hålla föredrag om utvecklingen av materialförpackning under punkten "Unga forskare".



BRITA BERGH OCH EVA REINHOLDSSON,
lärare vid Aranäsgymnasiet i Kungälv

■ **Vad hoppas ni att Fysikerdagarna ska ge er?**
– Ny kunskap som vi kan förmedla till elever och kollegor och idéer till experiment. Men även inspirerande möten med kollegor.



DETLEF QUAST,
fil. dr. i datavetenskap

■ **Vad för dig hit?**
– Jag håller i en hemligt inslag under kvällens middag. Sedan jag blev pensionär har jag varit ute på skolor med en trolleri- och fysikföreställning. Den ska jag bjuda på ikväll.



DAVID JUTERÄNG
fysikstudent vid Karlstads universitet

■ **Varför behövs dessa dagar?**
– Ofta får man en generell och vinklad skildring av fysik i media. Här får man en möjlighet att gå direkt till källan, till forskarna, och det ger en helhetsbild.

Enkät: Åsa Rehnström

■ I år tog Karlstads Universitet över stafettpinnen för **FYSIKERSAMFUNDETS SEMINARIUM FYSIKDAGARNA**. Under tre intensiva oktoberdagar samlades hundratals lärare, forskare och studenter för att lyssna på föredrag om allt från solceller till outreachverksamhet. Några av samfundets sektioner fick även tid för inomvetenskapliga sessionser.

■ En av föredragshållarna var professor Olle Inganäs. För er som inte var där och vill veta mer om **ÅRETS NOBELPRIS I FYSIK** skriver Olle Inganäs speciellt för Fysikaktuelltts läsare om forskningen som i dagarna belönas med Nobels fysikpris.

Dagar i Karlstad

NOBELPRISET I FYSIK UTDELAS år 2010 till Andre Geim och Konstantin Novoselov, för deras banbrytande experiment i grafen, ett skikt av kolatomer som är en atom tjockt. I ett perfekt 2- dimensionellt kolskikt antar elektronernas rörlighet oerhört höga nivåer, långt bortom de värden som gäller i kisel och vanliga halvledare. Därför ses nu grafen som en ny kandidat för elektroniska tillämpningar. I grafen har pristagarna också lyckats påvisa och studera fenomen som kvantHalleffekt, men denna gång vid rumstemperatur snarare än vid flytande heliumtemperaturer. Klein tunnling har påvisats i mätningar på fälteffekttransistorer med grafen, vilket avspeglar att elektronerna i grafen har många likheter med partiklar vid relativistiska energier i högenergifysikens värld.

KOL FINNS I MÅNGA former och tillstånd och i kraft av denna kombinatorik är den

grunden för organiskt liv. Som ren förenig antar kol i sitt fasta tillstånd former som diamant, grafit, kolbollar(fullerener) eller kolnanorör, allt beroende av kemiska bindningar och topologi. I diamant, som syntetiseras vid höga tryck och temperaturer, är varje kolatom bunden till fyra grannatomer kol, i en bindning som inkluderar s-orbitaler och p-orbitaler i en sp³hybridisering. Materialet är en transparent isolator/halvledare med högt bandgap, och som vi alla vet, ett mycket hårt material. Däremot är det inte termodynamiskt stabilt under vanliga jordiska villkor, vilket sällan brukar hindra investerare från att betrakta det som en säker investering.

I GRAFIT SOM VI STRYKER mot cellulosaytor när vi skriver med blyertspenna på papper, har bindingen mellan kolatomerna modifierats. Nu binder kolatomen till tre

andra kolatomer, i en sp² hybridisering av s- och p-orbitalerna. En plan struktur av kolatomer i hexagonalt mönster bildas, en 2 dimensionell struktur. Det fasta ämnet grafit består av sådana skikt, bundna till varandra med van der Waalskrafter, väsentligen svagare än de kovalenta bindingarna mellan enskilda kolatomer. Därför är det möjligt att skiva av flak av grafit, något vi ägnat uppmärksamhet under de senaste 400 åren av skrift med blyertspenna. Någonstans mellan det svarta grafitspåret och det obestrukna papperet måste det finnas grafitpartiklar med bara få lager, kanske till och med enskilda grafenskikt. Dessa kan man kanske lätt föreställa sig, men de är alls inte så lätta att upptäcka eller identifiera. Skall man göra det så kan det dessutom vara ett hinder om det anförts starka teoretiska argument mot att dessa monoatomära skikt kan existera.

fyllda av fysik

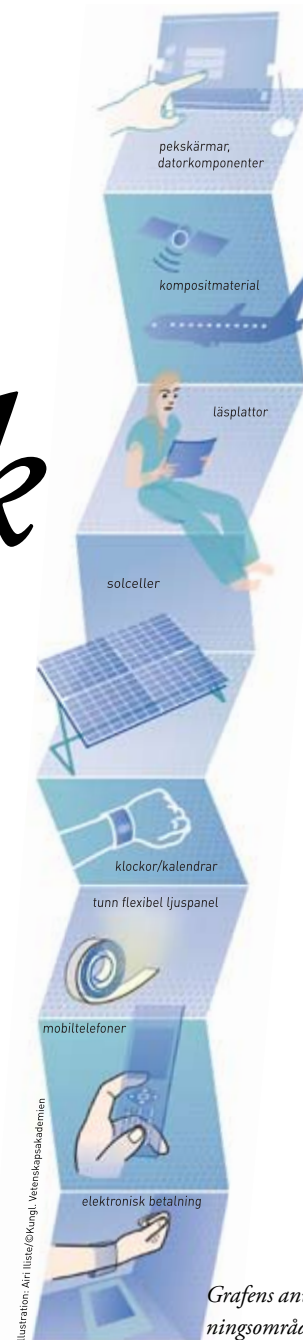
FLER GEOMETRIER ÄR möjliga. I grafen binder kolatomer i ett hexagonalt mönster; ett sådant skikt kan rullas ihop till ett kolnanorör, en cylinderyta monoatomärt tjock och med varierande radie och kiralitet. Sådana nanostrukturer av kol identifierades av Iijima i början av 1990-talet, och har givit upphov till omfattande forskning. Dessa tuber av kol är antingen halvledande eller metalliska, beroende på kiralitet, och har studerats som kandidater för elektroniska funktioner; dessutom är de mycket starka material, och används för förstärkning av andra material.

I KOLBOLLAR, FULLERENER, fogas planet av kolatomer samman till en sfär eller ellipsoid, där hexagoner av kol kombineras med pentagoner, för att ytan skall kunna slutas. Sådana objekt identifierades först i yttre rymden med spektroskopiska metoder, men finns kring oss i bläck och andra

kolprodukter sedan 1000-tals år. Deras upptäckare Curl, Kroto och Smalley belönades med Nobelpriset i kemi år 1996.

KOLATOMEN I SP² HYBRIDISERADE former har en fri elektron tillgänglig för att bilda nya orbitaler, pi-orbitaler, vilka överlappar mellan angränsande kolatomer. Dessa pi-orbitaler bildar energiband i utbredda system av kolatomer. Alla periodiska kristaller av sådana kolatomer bör alltså vara metalliska, eftersom det alltid finns plats för exakt två elektroner i ett energiband, enligt Pauliprincipen; spinn upp och spinn ner. Grafit är en halvmetall; kolnanotuber kan vara metalliska eller halvledande, beroende på geometri; kolbollar är halvledare, men kan dopas till metalliska eller supraleddande faser.

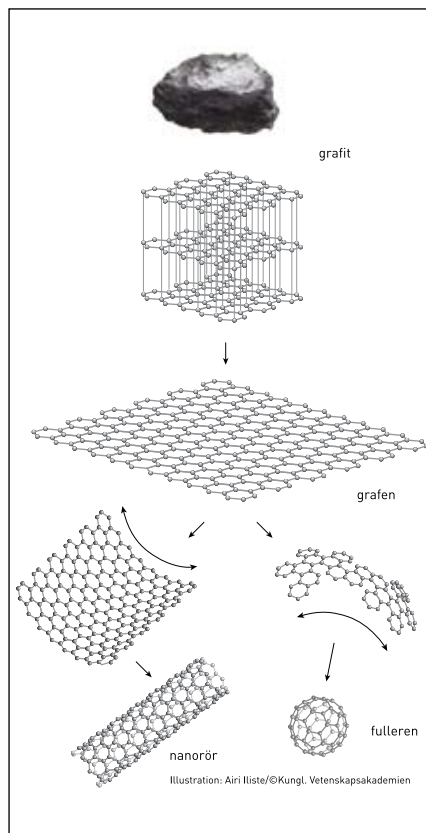
DEN TVÅDIMENSIONELLA formen av kol, grafen, analyserades teoretiskt av Willi-



Grafens användningsområden.

ams 1947 som förutsade dess elektroniska egenskaper i detalj. Den sp^2 hybridiserade kolatomen har ytterligare en elektron, en valenselektron som bestämmer alla elektroniska egenskaper. I grafenets geometri ger detta upphov till ett antal energiband, vilka beräknades av Williams. Eftersom den tvådimensionella kristallen grafen är en perfekt kristall i modellen, ger Schrödingerekvationen delokaliserade elektroner som lösningar. Dessa har en struktur med sex koner, Dirac-koner, där lokalt en approximativt linjär relation mellan vågvektor och energi råder. Detta avviker från villkoren i många halvledare, där en parabolisk form beskriver motsvarande relation. Denna linjära relation är roten till flera av de säregna egenskaperna i grafen. Den är också gemensam med Dirac-ekvationen för relativistiska partiklar med hastigheter nära ljushastigheten c , en orsak till att elektronerna i grafen kan ses som masslösa Dirac fermioner. Hastigheten för dessa elektroner i elektriskt fält är upp till $c/300$, något som kan omsättas till en mobilitet av 10^4 till 10^6 cm^2/Vs , som också har uppmätts.

GRAFEN MÅSTE finnas i kanten av varje blyertstreck, men att hitta grafen blir inte lätt. Speciellt försöker man inte, om det finns övertygande teoretiska skäl att anta att sådana strukturer inte kan vara stabila, utan måste omedelbart bilda kolnanotuber. Är man envis kan man försöka också det omöjliga, och detta var vad Geim och Novoselov gjorde. Ett vanligt sätt att preparera en ren grafityta är att slita loss ett lager grafit med en tejp, från ett stycke grafit. Om man nu fortsätter att dra bort ett skikt från detta skikt, och så vidare, så måste det slutligen finnas ett enda skikt på tejp eller bärare. Hur identifiera ett monolager av kolatomer? Här insåg Geim och Novoselov att optiken kan vara behjälplig: ett monolager kan vara synligt för ögat om vi placerar lagret på en optisk resonansplatta, i form av en transparent isolator av tjocklek en halv våglängd, på en metall. Och det var med sådana metoder som grafenflak först identifierades och rapporterades av Geim och Novoselov år 2004. Försök att framställa grafen på detta sätt hade gjorts tidigare av andra



Grafen från grafit. Kol kan byggas till olika former av rena kolföreningar, diamant, grafit, grafen, kolnanorör och kolbollar.

forskare, som dock inte lyckats identifiera enskilda grafenskikt.

Det var på sådana skikt som elektroniska mätningar kunde genomföras, och där en fälteffekt kunde påvisas, med både p och n-typ fälteffekttransistorer. Mycket höga mobiliteter uppmätts.

I fortsatta mätningar visade Geim och Novoselov att den optiska transmissionen genom grafen är bestämd av finstrukturkonstanten α , som företrädesvis användes i atomfysik och kvantelektrodynamik och som är $\alpha = 2\pi e^2/hc \approx 1/137$, där alla naturkonstanterna elektronladdning e , Plancks konstant h och ljushastigheten c används. Från transportmodellen för masslösa Dirac fermioner förutsägs en konduktivitet i det optiska området som är $(\pi/2)(e^2/h)$, vilket leder till transmissionen $1/(1+(\pi\alpha/2))^2 \approx (1-\pi\alpha)$. Detta uppmättes i experiment på frihängande grafenskikt i mikroskala, med den optisk transmission väsentligen oberoende av våglängd i det optiska området. Ytterligare en koppling

mellan grundläggande fysik och grafenets egenskaper.

GRAFEN KAN OCKSÅ produceras i andra mängder och för andra ändamål. Med tejpmetoden får man prover för vetenskapliga experiment. En teknik är att starta med en kiselkarbidkristall och därefter "bränna av" ett skikt Si för att få ett monolager med grafen på en SiC bärare. Alternativt kan grafen framställas katalytiskt från kolbaserade gaser på katalytiska ytor eller kristallina substrat, och sedan frigöras från dessa substrat med kemiska metoder för att fångas upp - svårt men demonstrerat. I andra metoder exfolieras grafit till enskilda grafenskikt, genom att utsätta grafit för ultraljudsbehandling i vätska och "skaka" fram enskilda skikt. Ibland kombineras detta med en kemisk behandling, så att oxiderade grafenskikt går i lösning. Dessa kan sedan reduceras till grafen, med kemiska metoder, och är ett sätt att få stora volymer av material. Sådana material har med framgång kompletterat andra former av kol i batterielektroder, för lagring av laddning.

TILL VAD KAN GRAFEN då användas? Eftersom grafen inte är en halvledare utan en halvmetall, utan bandgap, kanske fälteffekttransistorernas prestanda inte är goda nog för att lämpa sig för digital logik. Möjligheter finns att använda bilager - två grafenskikt på varandra, som nu har ett energigap - eller att kemiskt mönstra för att skapa bandgap, som dock samtidigt förväntas minska mobiliteten.

Möjligheten för höghastighets elektronik i analoga funktioner är dock tydlig i de extremt höga hastigheter som erhållits, upp till 300 GHz.

LEDNINGSFÖRMÅGA och transparens behöver ofta kombineras, i ljusskärmar och touchdisplejer, i solceller och i belysning, och här erbjuder grafen möjligheter, men kanske inte överlägsna prestanda jämfört med konventionella transparenta metalloxider. Dock kan nog överraskningar vänta i takt med att mer kemi och fysik kombineras kring grafen.

OLLE INGANÄS



JENS ERGON

Jobbar som: vetenskapsjournalist på SVT

Utbildning: Tek. lic. från Kungliga Tekniska Högskolan, journalistlinjen vid Stockholms universitet och studier vid Stockholms filmskola.

Familj: Sambo och två barn, 2 och 6 år.

Ledig tid: "tillbringar jag med familj och vänner. Blir ofta att jag läser om de ämnen jag arbetar med för tillfället".

"Populärvetenskap handlar om att våga förenkla"

Vad gör en fysiker som inte forskar eller undervisar? Vi fortsätter våra porträtt av fysiker bortom universiteten. Den här gången med Jens Ergon, vetenskapsjournalist.

Berätta om ditt arbete?

– Jag jobbar på SVT:s vetenskapsredaktion som reporter och journalist och producerar reportage med inriktning på fysik och teknik. Det kan vara allt från inslag i "Vetenskapens värld" och ända upp till dokumentärlängd. Ofta med fokus på klimat- och energifrågor och där teknik- och naturvetenskap korsar samhällsfrågor.

Du har en licentiatexamen i teoretisk fysik. Hur har du användning av det i ditt jobb?

– Mina egna forskarstudier har gett mig en inblick i hur forskarvardagen funkar. Det är förstås skillnad mellan olika områden men jag förstår lunken, vet forskningens fördelar och begränsningar. För andra journalister tror jag att forskning kan upplevas som en helt främmande värld och då är det lätt att bli lite för ödmjuk och sätta forskare på en piedestal.

Hur ser en typisk arbetsdag ut?

– Jag kan befinnas mig i en av tre faser. I det

första stadiet funderar jag och letar efter uppslag. Då gör jag mycket research vid datorn och pratar i telefon. Jag letar medverkande och inspelningsplatser. Sedan är det dags att gå ut på fältet med en fotograf och det kan vara både i Sverige och utomlands. Tredje fasen är redigering. Själv eller tillsammans med redigerare försöker jag då att göra det bästa av materialet.

Vad måste man tänka på när man förvandlar forskning till populärvetenskap?

– Populärvetenskap handlar mycket om att våga förenkla, vilket också underlättar om man själv har en bakgrund i forskarvärlden. Oftast är det olika forskningsrön som vi berättar om. Men jag tycker att mitt jobb mer och mer handlar om att skildra forskningens konsekvenser för samhället, helt enkelt granskande journalistik.

Vad är roligast?

– Det är spännande att få chansen att titta in i så många olika områden och världar

och komma till platser man annars inte skulle få se. Jag tycker också om möjligheten att få dyka ner i och jobba med ett material under en längre tid.

Vad är mindre roligt?

– När man måste göra slavgörat. Oavsett om du är forskare eller journalist så måste du mäta och samla in fakta för att göra ett bra jobb. Man måste skrapa ihop allt material. För min del kan det handla om att gå igenom timmar av material som ska kokas ner till några minuter. Det är ett slavgöra som inte syns i rutan. Ett annat bekymmer när man jobbar med radio och tv är också oro för att det man producerar ska drunkna i allt som publiceras.

Varför blev det fysik för dig?

– Svårt att säga. Mina föräldrar var bildkonstnärer men jag var intresserad av rymden och astronomi. Det var nog så det började.

Vad gör du om tio år?

– Sitter och skriver på en bok. Eller håller på med en dokumentärfilm. Antagligen om resurs-, energi- och klimatfrågor.

ÅSA REHNSTRÖM

Elever och lärare undersöker partiklar i Atlasexperimentet

Under två kvällar studerade universitetsstudenter och gymnasielärare partikelkollisioner från ATLAS-experimentet. De hade samlats i Vetenskapens Hus på AlbaNova i Stockholm för att bestämma neutrala särpartiklars massa och livslängd.

VID CERN, DET EUROPEISKA partikelfysiklaboratoriet utanför Geneve, studeras materiens minsta delar. Genom att accelerera partiklar och låta dem kollidera skapas nya, kortlivade partiklar som kan studeras med hjälp av olika detektorer.

ATLAS-detektorn vid CERN:s partikelkolliderare LHC (Large Hadron Collider) är stor som ett sjukvåringshus och beläget 100 meter under jord. Det är ett av de största fysikprojekten genom tiderna, 3000 forskare från hela världen deltar, bland annat forskare från universiteten i Lund, Stockholm och Uppsala och från KTH. I slutet av 2009 började ATLAS ta data från partikelkollisioner med kollisionens energi 900 GeV. Under 2010 har energin ökat till 7 TeV.

Stockholms universitet och Vetenskapens Hus deltar i EU-projektet "Learning with ATLAS@CERN" för att försöka förmedla fascinationen för och information om partikelfysik, ATLAS och CERN till lärare och elever. Bland annat har en webportal med information och undervisningsmaterial ställts samman.

SÄRPARTIKLAR har sedan upptäckten för bortemot 60 år sedan betraktats som lite udda. Det började med att deras livslängd var oerhört mycket längre än man hade väntat sig. Sedan visade det sig att den neutrala K-mesonen hade två livslängder, en kort och en lång.

Under 3 timmar en kväll i september i Vetenskapens Hus fick 10 universitetsstudenter bekanta sig med ATLAS och särpartikelscenariot.



Dave Milstead instruerar studenter som bekantarsig med ATLAS och särpartikelscenariot.

Kvällen inleddes med en kort sammanfattning av "Learning with ATLAS"-projektet. Därpå följde en allmän presentation av CERN, LHC och ATLAS och även en kort introduktion till partikelfysik. För att studera partikelkollisionerna i ATLAS användes analysverktyget MINERVA, i stort sett detsamma som används av forskarna i ATLAS.

STUDENTERNA ANVÄNDE sig av MINERVA för att hitta och studera K^0 -partiklar som bildats i kollisionerna i ATLAS. När de lyckats upptäcka och identifiera K^0 -partikeln kunde de med hjälp av MINERVA erhålla information om bland annat dess rörelsemängd och sträckan partikeln hunnit tillryggälägga innan den sönderföll. Ur dessa data kunde de sedan beräkna K^0 -partikelns massa och uppskatta storleksordningen på K^0 -partikelns livslängd.

Även om det var mycket nytt att ta in så tog studenterna sig an uppgiften med gott mod och glatt humör, och sökandet efter kortlivade partiklar satte igång forskningsinstinkten.

I oktober hade vi ett avslutande möte med 12 lärare. Vi inledde med en presentation av projektet, portalen, ATLAS och LHC. Lärarna analyserade sedan verkliga data genom att laborera på K^0 -scenariot på samma sätt som universitetsstudenterna gjort några veckor tidigare. Flera lä-

rare såg en möjlighet att använda delar av materialet då de undervisar partikelfysik. En majoritet av lärarna tyckte att projektet kunde berika deras undervisning. De tyckte också att mer modern fysik i skolan skulle göra fysikämnet mer intressant för eleverna.

PROJEKTARBETE UNDER sista året på gymnasiet diskuterades som en möjlighet för elever att arbeta med ATLAS-data. Ett annat sätt att föra ut detta till gymnasieelever skulle kunna vara att ha Mästarklasser under en dag då elever får lyssna till föreläsningar i partikelfysik och sedan får möjlighet att arbeta praktiskt med MINERVA för att analysera kollisionsdata från ATLAS. Nästa års endags Mästarklasser i partikelfysik kommer att ägnas åt att studera partikelkollisioner i ATLAS. Det kan bli både särpartiklar och Z-partiklar och senaste nytt från ATLAS-experimentet.

ERIK JOHANSSON OCH
CECILIA KOZMA

WEBBTIPS:

■ ATLAS-experimentet:
<http://atlas.ch/>

■ Svenska versionen av Learning with ATLAS: <http://learningwithatlas-portal.eu/sv>

Få framtiden spådd av en fisk

På internet kan Du köpa en fysikalisk leksak "Fortune Teller Fish". Fisken är gjord av tunn cellofan. Om man lägger den på handen börjar den snart röra på sig. Den lyfter kanske huvudet, vrider sig och eventuellt rullar ihop sig.

Jag brukar låta försökspersonen gissa vad effekten kan bero på. Jag får vanligen svar som värme, statisk elektricitet, vinddrag. Men sällan det korrekta svaret. Lagg fisken på en näsduk eller dylikt: fisken rör inte på sig. Vät näsduken: fisken rör på sig! Det är alltså fuktigheten från handen som stiger upp och fastnar på fiskens undersida. Fisken är fuktighetskänslig (hygroskopisk), som mycket annat i naturen; ditt hår, trädens kvistar.

Med köpet av fisken ingår tolkningar av dess rörelser. Till exempel är man för-

älskad om fisken lyfter huvud och stjärt.

Cellofanet innehåller porer, typiskt 5 nm breda. Här kan vattenmolekyler (storlek 0,3 nm) lätt slinka in genom kapillärverkan. Cellofan kan faktiskt absorbera mer vatten än tre gånger sin egen vikt, vilket åstadkommer en väsentlig svällning. Utvidgningen på fiskens undersida får fisken att böja sig på liknande sätt som en bimetall. Den återgår till sin platta form om man lägger den på bordet och du kan använda den så många gånger du vill.



SOM BEKANT ANVÄNDS cellofan som förpackningsmaterial, men då har man lagt på ett ytskikt för att just förhindra att fuktighet, gas eller lukt tränger igenom. Så om du inte kan använda kakpaket eller dylikt, hur kan du då göra dina köksexperiment?

Om du letar, kan du faktiskt hitta hygroskopiska material (tipsa mig gärna). Som

exempel nämner jag här de påsar som mintchokladen After Eight förvaras i. Om du klipper ut en remsa horisontellt får du en "fisk" som fungerar bra. Vät eventuellt en aning på handen om effekten är svag. Observera att om du istället klipper lodrätt uteblir effekten. Detta beror på att materialet vid tillverkningen sträcks så att det blir anisotropt. Om du klipper diagonalt kommer fisken att skruva på sig.

Mycket nöje med personlighetstesterna, vilka naturligtvis utgör ren kvasivetenskap, men som kan vara underhållande.

PER-OLOF NILSSON

EN FISKS SPÅDOM

Höjer huvud	Avundsjuk
Höjer stjärt	Likgiltig
Höjer huvud och stjärt	Förälskad
Vrider sig sidledes	Nyckfull
Vänder på sig	Falsk
Rullar upp helt	Passionerad

Varför är backhoppare små?

Här kommer en ny fråga från frågelådan på Nationellt resurscentrum för fysiks hemsida, www.fysik.org. Där kan studenter på allt ifrån grundskole- till högskolenivå ställa frågor om fysik.

Fråga: Vid backhoppning borde inte massan spela någon roll för hastigheten vid själva uthoppet (väl?). Varför är det då en "trend" för backhoppare att de ska vara så små som möjligt? Är det för att minska luftmotståndet?

Svar: Intressant fråga, speciellt med tanke på tidigare svar om störtlopp! Jo, massan har betydelse för uthoppshastigheten. Se fråga 869 i länk 1 där det visas att hastigheten för en tyngre störtloppsåkare är större än för en mindre.

Hur kan det då komma sig att de bästa backhopparna ofta är små och lätta? En

antydning får man om man jämför dräkterna. En störtloppsåkare har en tätsittande dräkt för att minimera luftmotståndet, medan en backhoppare har breda skidor och en dräkt som är "fem nummer för stor". Det är alltså inte farten i backen som bestämmer hopplängden utan förmågan att sväva långt i luften. För detta behöver man liten vikt och stor yta. Den stora ytan åstadkommer man dels med en väl tilltagen dräkt och dels med den s.k. V-stilen (uppfunnen av Jan Boklöv) som ger mer lyftkraft på kroppen eftersom den inte skuggas av skidorna - större "vinge" ger större lyftkraft. Hopplängden bestäms

alltså till en stor del av aerodynamiken i luften.

En annan aspekt som gör farten i backen mindre utslagsgivande är att en stor del av uthoppshastigheten kommer från ett väl tajmat uthopp. Det är här och i förmågan att hålla kropp och skidor i en effektiv vinkel som skiljer bra hoppare från mindre bra.

PETER EKSTRÖM

Hela svaret på frågan hittar du här:
<http://www.fysik.org/webste/fragelada/index.asp?id=17108>



Reims bjuder på fysik och champagne

I augusti samlades flera hundra fysiker och fysikutbildare från hela världen till en internationell konferens i Reims i Frankrike.

KONFERENSEN VAR EN samordning mellan tre olika konferenserier: GIREP (Groupe International de Recherche de Education Physique), ICPE (International Conference for Physics Education) och MPTL (Multimedia in Physics Teaching and Learning). Reims konferenscenrum gav en fin miljö för plenarföredrag, workshops, och forskningsbidrag, som presenterades i parallella sessioner och i en postersession.

Staden Reims är starkt präglad av Champagne. Blomsterplanteringarna vid infarten är blandade med vinrankor. En av de stora glasmålningarna i 1100-tals katedralen visar de olika stegen i champagnetillverkning. Bara i Reims finns en professur helt ägnad åt vetenskapliga studier av Champagne. Den stora föreläsningssalen i konferenscentret har strålkastare vid podiet som ger champagneglas-formade projektioner på väggen bakom podiet.

KONFERENSUTFLYKTERNA kvar naturligtvis relaterade till champagne, en av turerna gick till en champagnegård och vid provsmakningen kunde fysikerna förstås inte avhålla sig från att studera bubblorna inför den utlovade föreläsningen nästa dag. Philippe Jeandet talade då om fysiken bakom champagnens bubblande egenskaper, från födelse och uppstigande i glaset, då volymen kan öka upp till en miljon gånger större, tills de slutligen spricker högst upp. Forskargruppen använder fysikaliska mätmetoder och modeller för att studera flera olika frågor kring champagne. Vilka skillnader finns mellan bromsningen av uppstigande öl-

och champagnebubblor? Hur kan man använda masspektrometri för att studera molekylerna i och utanför bubblorna och laser för att studera molekylerna i den aerosol som bildar när bubblorna spricker? Och hur påverkas bubblornas kemi av skillnader i flöde orsakade av glasets form?

Forskning om lärande i fysik och många resultat av forskning och utveckling som kan användas i undervisning presenterades på konferensen.

Laurence Viennot talade om betydelsen av länkar till begrepp från barnens observationer i "inquiry-based science education" (IBSE) och visade resultat där barnens intresse hade minskat efter ett projekt som var avsett att stimulera deras intresse. Viennot tolkade detta som ett misslyckande i att skapa konceptuella länkar, och konstaterar att lärare ofta följer "undervisningsritualer" som förenklar presentationen så mycket att man undviker att ta upp viktiga delar av en situation: "The devil is in the details – but not only the devil".

GORAZD PLANINSIC demonstrerade utmanande optiska egenskaper av en prismatisk folie från en LCD datorskärm och visade hur den kunde användas för att undersöka studenters, och publikens, förmåga att resonera kring observationer. Eugenia Etkina utmanade os att använda fysikaliska begrepp som ett sammanhang för att träna elever att tänka som forskare. Manfred Euler utmanade vår syn på fysikens bilder. Genom att detektera ljudvågor som spreds mot youghurtbehållare kunde han skapa bilden som var nästan identiska med nanovetenskapens "ikon-bilder" av enskilda atomer på en yta.

2007 års Nobelpristagare Albert Fert tog med oss in i spintronikens värld och

tog kollisioner mellan bollarna i petanque som hjälp för att illustrera spin-överföring.

ETT PROJEKT – som dock inte passar svenska skolor – är Eurodiffusion. Euro-mynten har olika symboler som påminner om det land där de präglas. Hur snabbt sprids de i Europa? Fördelningen av mynt i plånboken hos olika länders medborgare blir ett samarbetsprojekt som kan visa när nya mynt släpps i något land, hur mycket utbyte det finns, storleksrelationer mellan olika länders ekonomi.

Mojca Čepič från Ljubljana berättade om hur de tillsammans med eleverna började följa inflödet av euromynt från andra länder, efter att euron under 2007 infördes i Slovenien. Hon beskrev också hur det tydligt märks i deras data när nya Slovenska euro-mynt kommer ut på marknaden. Lärare i olika länder som arbetar med denna typ av projekt ser det som ett sätt att visa hur fysikens modeller kan tillämpas också på det som händer i samhället – diffusion är fysik

Hur känns det att vara tyngdlös – eller att uppleva konstgjord gravitation i en roterande rymdstation.

Igal Galili från Jerusalem, berättade om försök med israeliska elever i årskurs sju och nio som fått prova "tankeresor" till ovanliga situationer – och hur detta kunde vara ett sätt att undvika att vardagsuppfattningar kan komma i vägen för fysikförståelsen.

PETER HUBBER FRÅN Australien berättade om hur han arbetat med fortbildning av biologilärare för att de också skulle kunna undervisa i fysik. Han berättade om hur ev av lärarna använt modellerna i en klass för att introducera kraftbegreppen, och börjat med att be klassen skriva ned olika sätt att ändra formen på modelleran.

Orden skrevs på tavlan och eleverna började klassificeras orden efter om de beskrev "trycka" eller "dra". Klassrumsdiskussionen blev en förhandling om klassificeringen, och en elev föreslog Wenn-diagram för att också kunna ta hänsyn till de ord som innebar både tryck och drag.

JOCHEN KUHN FRÅN Landau diskuterade autentiska uppgifter, knutna till tidsningsartiklar. De fann bl.a. att eleverna med autentiska uppgifter klarade texter med högre svårighetsgrad genom att de blev mer engagerade av frågeställningarna.

International Commission for Physics Education, ICPE, är en av kommissionerna, C14, inom IUPAP – International Union of Pure and Applied Physics (www.iuap.org). Den fyller i år 50 år, vilket firades med lansering av den tryckta versionen av volym 2 av ICPE:s bok "Connecting research in physics education with teacher education" (den finns på kommissionens webbsida: <http://web.phys.ksu.edu/icpe/>).

UNDER DEN AVSLUTANDE sessionen av konferensen presenterade Pratibha Jolly, ordförande för ICPE 2006-2011, en översikt över kommissionens historia och framtidsplaner, och framför allt PHYSWARE som kommer att anordnas i Trieste 2012 och 2014, efter ett pilotomgång där fysiklärare från många olika länder gavs möjlighet att prova på olika hands-on metoder.

Efter avslutningsföreläsningen bjöd konferensen på en gigantisk födelsedagstårta.

ANN-MARIE PENDRILL
GÖTEBORGS UNIVERSITET OCH
NATIONELLT RESURSCENTRUM FÖR FYSIK



Stor bild: Pratibha Jolly, ICPEs ordförande, på konferensutflykt bland vinrankor i Champagne.
Liten bild: Reims borgmästare guidar i en champagnekällaren.

KONFERENSER OM FYSIK 2011

Nästa års hålls tre separata konferenser med tillfällen att möta fysiklärare från hela världen:

■ GIREP-EPEC den 1-5 augusti i Jyväskylä, www.girep.org

■ MPTL i september i Ljubljana, www.mptl.eu/workshops.htm

■ ICPE den 15-19 augusti i Mexico City, www.icpe2011.net.

Albert Einstein rider på en ljuspuls

I populärvetenskapliga sammanhang nämns ibland att Einstein i tidig ålder fantiserade om att rida på en ljuspuls. Men sällan förklaras vad han kan ha fått ut av tankeleken.

EINSTEIN HAR SJÄLV beskrivit hur han redan vid 16 års ålder grubblade över ljusets natur. Hur skulle man, frågade han sig, uppfatta de elektromagnetiska fälten, om man färdades intill en ljuspuls med samma fart som den?

Svaret borde ges av Maxwells teori. Det är ju den som säger att ljuset är en elektromagnetisk våg – att det utgörs av ett elektriskt och ett magnetiskt fält som oscillerar i takt. Figuren här nedan visar hur det ser ut. Hela fältkonfigurationen rör sig med farten c snett ner åt höger. Om nu Einstein själv färdas med samma fart, borde han uppfatta vågen som stillastående eller "frusen" – på samma sätt som man uppfattar en vattenvåg om man färdas med den. Einstein skulle uppfatta en statisk elektromagnetisk våg.

Problemet är att något sådant inte kan förekomma. En statisk elektromagnetisk

våg – en våg där fältstyrkorna varierar i rummet som i figuren nedan men där ingenting förändras i tiden – är förbjuden enligt Maxwells teori. Teorin förutsäger att en sådan fältkonfiguration, om den skulle uppstå, nödvändigtvis måste röra sig med farten c åt det håll som pilen i figuren visar. Skumt, tyckte Einstein.

FÖR ATT SE HUR problemet uppstår räcker det att betrakta en enda av Maxwells fyra ekvationer, den som brukar kallas Faradays induktionslag. Låt oss påminna oss om vad den säger.

Betrakta en liten sluten kurva (det vill säga en som kommer tillbaka till utgångspunkten), var som helst i rummet. Följ kurvan ett helt varv runt, och notera för varje punkt på kurvan projektionen av det elektriska fältet E längs med kurvan. Alltså, i vilken grad det elektriska fältet pekar åt samma håll som kurvans tangent. Lägg slutligen samman alla dessa fältprojektioner. Proceduren kan illustreras med en analogi: om fältet i stället motsvarade vindstyrka och kurvan sträckningen hos en promenad, skulle vi för varje punkt på promenaden runt kurvan notera gra-

den av motvind respektive medvind just där. Därefter skulle vi lägga samman alla vindvärden, och på så sätt erhålla ett enda sammanfattande värde för medvinden under promenaden. Ett positivt resultat skulle betyda övervägande medvind; ett negativt övervägande motvind.

Faradays induktionslag säger att "medvinden" av det elektriska fältet runt en hel kurva precis ska motsvara hur mycket det magnetiska fältet genom kurvan förändras. Om fältprojektionerna summeras till noll är magnetfältet genom kurvan oförändrat; annars finns där ett magnetfält som förändrar sig. Och omvänt: om vi har ett magnetfält i förändring någonstans måste det också finnas ett elektriskt fält längs en kurva runt om. (En välkänd tillämpning av lagen är förstas principen för en generator: det faktum att ström uppstår då en magnet förs genom en spole.)

ÅTERVÄNDER TILL Einsteins tankeexperiment, och till den "frusna" elektromagnetiska våg som han borde observera när han färdas jämte ljuset med farten c . Betrakta en sluten kurva placerad som i figuren uppe till höger, det vill säga i det elektriska fältets plan, och omkring en punkt där detta fält byter riktning. Om man tänker sig att man promenerar runt denna kurva medurs kommer man att ha "medvind" hela vägen: längs kurvans vänstra del, där man promenerar uppåt i figuren, är även fältet riktat uppåt, och längs kurvans högra del, där man promenerar nedåt, är även fältet riktat nedåt. Summan av fältets projektion längs hela kurvan blir således inte noll. Men eftersom det är en statisk situation som Einstein observerar finns där inget magnetfält som förändras. Det som Einstein borde se strider mot Faradays lag!

Problemet uppstår förstås inte om

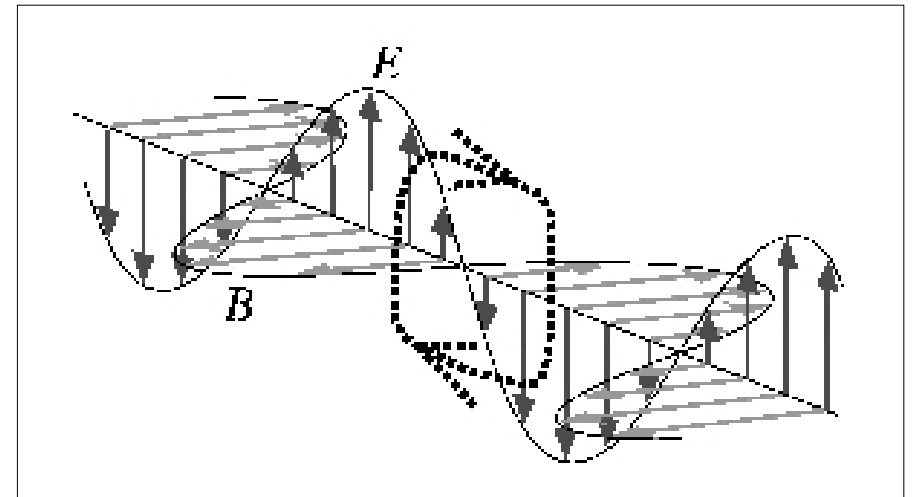
fältkonfigurationen rör sig. I så fall förändras ju det magnetiska fältet genom den slutna kurvan. Faradays lag anger precis hur stor denna förändring måste vara för att väga upp det elektriska fältets projektion längs kurvan. Därmed ger den också hastigheten hos vågen: det visar sig att den måste vara just c .

Här framträder dilemmat: Maxwells teori förutsäger att det existerar elektromagnetiska vågor som utbreder sig i vakuum med farten c . Men om Einstein själv rör sig med farten c intill en sådan våg bör han uppfatta den som stillastående, något som är förbjudet enligt samma teori. Vi tycks stå inför en paradox. Men ur varje paradox finns en utväg – det gäller bara att hitta den.

DEN UTVÄG SOM I Einsteins samtid framstod som den naturligaste, utgick från den då förhärskande idén om en eter. Etern, tänkte man sig, var en substans som fyllde ut hela universum, även områden med perfekt vakuum. Den utgjorde substansen hos självaste rummet. Etern var det medium genom vilket de elektromagnetiska vågorna fortplantade sig, och de elektriska och magnetiska fälten betraktades som uttryck för olika "etertillstånd".

Det var då naturligt att uppfatta Maxwells teori som giltig endast i det unika referenssystem där etern befinner sig i vila. Bara den som är i vila i förhållande till etern kan tillämpa teorin i dess vanliga formulering. Så när Einstein rör sig med farten c i förhållande till etern och ser den frusna ljusvågen, kan han inte förvänta sig att Faradays lag ska vara uppfylld. En frusen elektromagnetisk våg kan, enligt detta synsätt, visst existera – bara inte i etersystemet.

DETTA UTGJORDE DOCK ingen acceptabel lösning för Einstein. Michelsons och Morleys berömda experiment var bara det senaste i en rad observationer som tydde på att etersystemet inte gick att fastställa experimentellt. Maxwells teori verkade



uppfylla relativitetsprincipen åtminstone i observationell mening: de elektromagnetiska fenomenen tycktes uppföra sig på samma sätt i alla referenssystem. Men den föreslagna lösningen på paradoxen skulle innebära att etersystemet faktiskt fastställs: den som observerar en frusen elektromagnetisk våg vet att hon rör sig med farten c i förhållande till etern.

EN ANNAN UTVÄG fanns i så kallade emissionsteorier – en typ av alternativa elektromagnetiska teorier som diskuterades i slutet av 1800-talet och som även Einstein övervägde under en period. Enligt en emissionsteori existerar ingen eter. Ljusets hastighet c ska här i stället uppfattas som en fart i förhållande till ljuskällan. Som analogi kan man föreställa sig en pistolkula som skjuts iväg: kulan rör sig med en viss fart i förhållande till pistolens mynning. Kulans fart när den svischar förbi oss beror naturligtvis på hur pistolen själv rör sig när den avlossas. Enligt en emissionsteori kan ljus således passera oss med olika hastighet beroende på ljuskällans rörelse. En källa som avlägsnar sig med ljushastigheten skulle exempelvis ge upphov till just en frusen elektromagnetisk våg.

Problemet med emissionsteorier blir dock tydligt just i detta tankeexperiment: Maxwells teori tillåter inte frusna vågor,

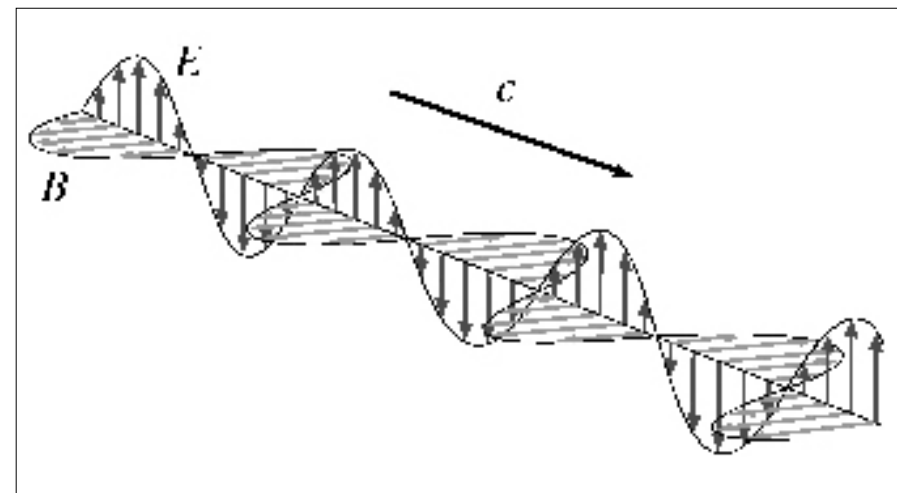
och skulle därför behöva modifieras. Och det är ingen liten modifiering som skulle krävas. Även den mest grundläggande delen av elektromagnetismen – den som handlar om statiska situationer – måste rivas upp. Inte heller denna utväg tedde sig särskilt sannolik.

DET SKULLE DRÖJA nästan tio år innan Einstein fann en tillfredsställande lösning på problemet: den speciella relativitetsteorin. Med dess beskrivning av tid och rum blir det omöjligt att färdas med ljushastigheten c . Och om tankeexperimentet modifieras så att Einstein bara färdas mycket nära ljushastigheten (vilket vore principiellt möjligt), så skulle han ändå inte se en (nästan) frusen elektromagnetisk våg. Einstein skulle då bara observera en helt vanlig elektromagnetisk våg fara förbi honom med farten c . Just så som Faradays lag faktiskt implicerar. Ljusets hastighet är densamma i alla referenssystem.

Så tanken på att rida på en ljuspuls spelade förmodligen en viss roll i Einsteins tänkande – den satte fingret på ett akut problem i den samtida fysiken.

SÖREN HOLST

Fotnot. Figuren ovan är egentligen något missvisande. Den visar endast fältens utseende längs en en-dimensionell axel, medan kurvan ju även passerar punkter utanför denna linje. För att erhålla hela fältkonfigurationen måste man tänka sig den en-dimensionella fältaxeln parallellförskjuten uppåt och nedåt i figuren.



LASRAR

Gammadata Instrument erbjuder kontinuerliga (CW) och pulssade (ns, ps eller fs) lasrar med våglängder från UV till IR.

Våra leverantörer är:

- *Coherent*
- *Quantel*
- *Opotek*
- *Sacher Lasertechnik*
- *APE*



INSTRUMENT

Vi erbjuder instrument för mätning av laserparametrar såsom:

- *Effekt*
- *Pulsenergi*
- *Strålfprofil*
- *Våglängd*
- *Pulslängd*

Vi tillhandahåller också laserskyddsprodukter såsom skyddsglasögon, fönster och skärmar från vår leverantör Laservision

Gammadata Instrument AB
P.b. 15120, 750 15 Uppsala
Telefon: 018-480 58 00 - Fax: 018-555 888
info@gammadata.se
www.gammadatainstrument.se