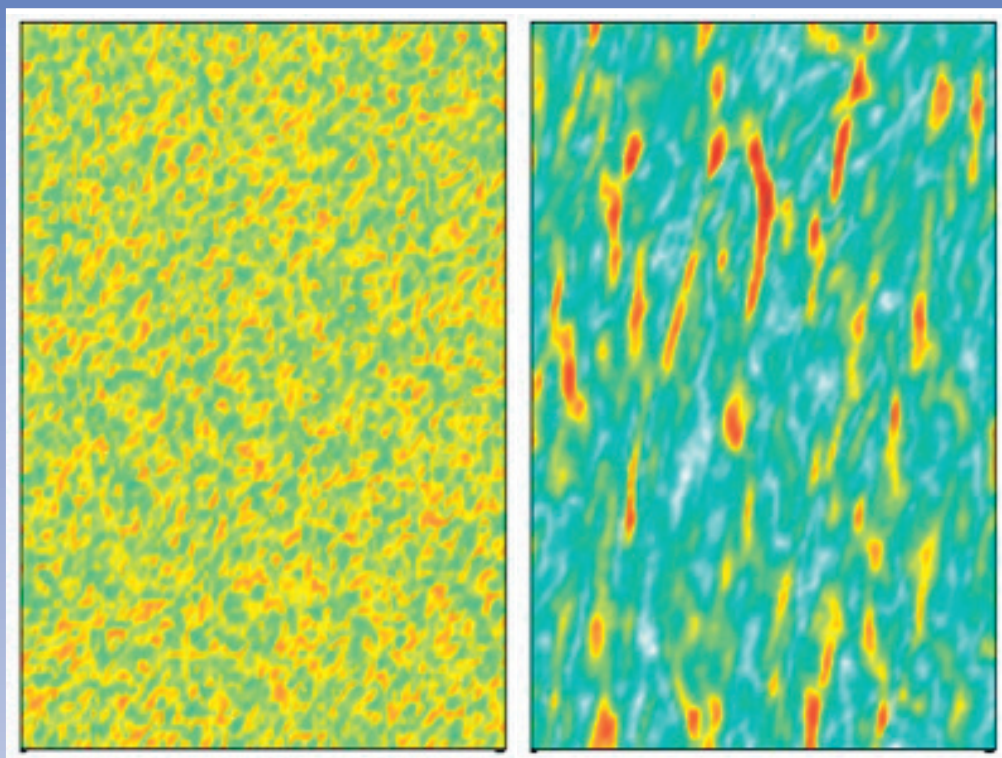




Monstervågor (sid 10)

Innehåll

Samfundet	2
Ledare	3
Val	5
Fysiktävlingen	6
IYPT	9
Monstervågor	10
Fotonen	12
EU Contest	18

Manusstopp för nästa nummer:
15 november 2006

Fysikaktuellt finns nu också på: <http://physics.gu.se/fysikaktuellt/>

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: Björn Jonson, Chalmers • bjn@fy.chalmers.se
 Skattmästare: Hans Lundberg, Lunds Tekniska Högskola,
 Hans.Lundberg@fysik.lth.se
 Sekreterare: Håkan Danared, Manne Siegbahnlaboratoriet
 Stockholms universitet, • danared@msl.se
 Adress: Svenska Fysikersamfundet
 Manne Siegbahnlaboratoriet
 Stockholms universitet
 Frescativägen 24, 104 05 Stockholm
 Postgiro: 2683-1
 Elektronisk post: kansliet@fysikersamfundet.se
 WWW: www.fysikersamfundet.se

Samfundet har för närvarande ca 850 medlemmar och ett antal stödjande medlemmar (företag, organisationer). Årsavgiften för medlemskap är 250 kr. Studerande (under 30 år) och pensionärer 150 kr. Man kan därutöver vara individuell medlem i European Physical Society (EPS). Den sammanlagda årsavgiften är 430 kr. Samtliga medlemmar i Svenska Fysikersamfundet erhåller EPS tidskrift *Europhysics News* (EPN) utom de som betalar pensionsavgift.

Inom samfundet finns ett antal sektioner som bl.a. anordnar konferenser och möten inom respektive områden:

Atom- och molekylfysik	Jan-Erik Rubensson • jan-erik.rubensson@fysik.uu.se
Biologisk fysik	Peter Apell • apell@fy.chalmers.se
Elementarpartikel- och astropartikelfysik	Tommy Ohlsson • tommy@theophys.kth.se
Gravitation	Brian Edgar • bredg@mai.liu.se
Kondenserade materiens fysik	William R Salaneck • bisal@ifm.liu.se
Kvinnor i fysik	Elisabeth Rachlew • rachlew@atom.kth.se
Kärnfysik	Per-Erik Tegnér • tegnér@physto.se
Matematisk fysik	Imre Pázsit • imre@nephy.chalmers.se
Plasmafysik	Michael Tendler • tendler@fusion.kth.se
Undervisning	Mona Engberg • mona.engberg@telia.com

Fysikaktuellt

Fysikaktuellt ger aktuell information om Svenska Fysikersamfundet och nyheter inom fysiken. Den distribueras till alla medlemmar, gymnasieskolor och fysikinstitutioner 4 gånger per år.

Ansvarig utgivare är Björn Jonson, bjn@fy.chalmers.se.

Redaktör är Ann-Marie Pendrill, Institutionen för fysik, Göteborgs universitet 412 96 Göteborg.

Använd i första hand elektronisk post

(Ann-Marie.Pendrill@physics.gu.se) för bidrag till Fysikaktuellt.

Annons-kontakt: Ann-Marie.Pendrill@physics.gu.se.

Reklamation av uteblivna eller felaktiga nummer sker till sekretariatet.

Kosmos

Samfundet utger en årsskrift "Kosmos". Redaktör för om årgång 2004 är Leif Karlsson. Fysiska Institutionen, Uppsala Universitet, Box 530, 751 21 Uppsala, Leif.Karlsson@fysik.uu.se

Medlemskap

Information om medlemskap finns på
<http://www.fysikersamfundet.se/medlemskap.html>

Omslagsbilden

Omslagsbilden visar resultatet av en simulering av icke-linjär vågfokusering av Mattias Marklund m. fl. (Sid 6)

Tryck: Trydells, Laholm 2006

Aktuellt

- Svenskt Kärnfysikermöte XXVI, Lund den 14 och 15 november 2006, <http://www.ts.mah.se/forsk/fysik/SFS-Karnfysik>
- NorWiP Nordic Network for Women in Physics, <http://www.norwip.dk/>. Årsmötet 2006 kommer att hållas i Lund 29–30 november. Årsmötet 2007 kommer att hållas i Lyngby, Denmark 16–17 augusti./
- Fysikdagarna 2007 kommer att hållas i Uppsala 29–30 oktober. Kontakt: Jan.Blomgren@tsl.uu.se
- Matematikstatsning, bl.a. på övergången gymnasium – högskola/universitet, se <http://www.ncm.gu.se>
- Science in School, Ny web-baserad tidskrift, publicerad av EIROforum, för "teachers, scientists and all stakeholders in European science teaching". Se <http://www.scienceinschool.org>.
- Gymnasiereformen 2007, <http://www.skolverket.se/gy-07>
- European Science Education Research Association, ESERA, konferens 21–25 augusti 2007, Malmö bidrag senast 1 januari 2007 <http://www.mah.se/eseral>

Stödjande medlemmar

Samfundet har för närvarande följande stödjande medlemmar:

- **Bokförlaget Natur och Kultur**, Box 27323, 102 54 Stockholm <http://www.nok.se>
- **Gammadata Instrument AB**, Box 151 20, 750 15 Uppsala <http://www.gammadata.se>
- **Gleerups Utbildning AB**, Box 367, 201 23 Malmö <http://www.gleerups.se>
- **Liber AB**, 113 98 Stockholm <http://www.liber.se>
- **Studentlitteratur AB**, Box 141, 221 00 Lund <http://www.studentlitteratur.se>
- **Zenit AB Läromedel**, Box 54, 450 43 Smögen <http://www.zenitlaromedel.se>

Det var en gång ...

... "så otroligt osannolikt, så att egentligen har det nog inte hänt"

Av Ann-Marie Pendrill

En kommentar från en äldre student under en lektion i våras. Vi skrattade, tittade på varandra, och så på resten av gruppen som såg frågande ut. Den gemensamma insikten kom snabbt: "De är så unga. De har inte hört Tage Danielssons klassiska monolog om olyckan på Three-Mile Island i Harrisburg i samband med den svenska kärnkraftsomröstningen." I juli citerades den igen i massmedia, som något självklart allmänt känt.

En kultur byggs inte bara av språk, byggnader, konst, dans och musik utan också av de berättelser som är en del av våra gemensamma referensramar. Enstaka ord eller korta citat, som t.ex. "Krumelurpillen" eller "Vofför gör de på detta viset" väcker genast associationer till Astrid Lindgrens sagovärld för den som är uppvuxen med den. För dagens ungdom, och deras föräldrar, leder ordet "Quidditch" tankarna till Harry Potter och "ni vet vem". Förslaget om en litterär "kanon" besökte under en kort tid årets valrörelse. Arbetet med att ta fram en sådan stöter naturligtvis på svårigheter med avgränsning om vad som skall ingå och frågor om vem som skall bestämma, men diskussionen i sig tydliggör att det finns böcker som "alla" har läst och som kan vara viktiga för att komma in i en kultur.

Kanon?

Finns det någon liknande outtalad kanon av fysikberättelser som alla förväntas känna till? Arkimedes' Heureka, Galileo vid lutande tornet i Pisa och Newtons äpple är bland de mest kända händelserna som finns med även i grundskolans fysikböcker. Ger berättelserna också plats för att bakgrunden och de utmaningar som ledde fram till nya insikter och ideer? Blir berättelserna bara en saga eller kan de bli stimulans för elever att själva prova och experimentera? Beskrivs Arki-

medes problem med Herons krona som ett tal att sätta in siffror i eller så att eleverna uppmanas att själva känna efter hur lyftkraften beror på den undanträngda vätskemängden?

Räcker det att berätta att Ørstedt av en slump upptäckte att elektricitet och magnetism hör ihop eller spelar det någon roll om boken också visar hur "fortune favours the prepared mind" genom att erbjuda en längre berättelse, av hur Ørstedt såg kompassnålen röra sig en bit bort när det flöt ström i en ledare och insåg att han upptäckt ett tidigare okänt fenomen? Finns det plats för kopplingen till samhället och berättelsen om när Faraday svarar på frågan om nyttan av elektromagnetism: "One day, sir, you may tax it"? Titta gärna i skolans fysikböcker och se hur de presenterar fysiker och upptäckter!

Naturfenomen ger tillfälle att koppla fysikaliska beskrivningar till något alla känner till. Omslagsbilden visar resultatet av en simulering av "Monstervågor" av forskare i Umeå som presenteras i detta nummer.

Fysikers berättelser

Många berättelser och citat är välkända för oss som är fysiker. Nobelpriset är del av vår gemensamma historia. I detta nummer beskriver Stig Stenholm hur "Einstein uppfann fotonen". Som vi vet var det en lång väg innan Einsteins upptäckt av "lagen för den fotoelektriska effekten" belönades med Nobelpris. I en nyutkommen bok [1] presenterar Aant Elzinga mycket material från Nobel-arkiven som visar mer om spelet kring priset, som så småningom ledde fram till att 1921 års pris delades samtidigt som 1922 års pris till Niels Bohr.

George Gamows "Trettio år som skakade fysiken" [2] har många av oss läst. Den visar ett nära samspel mellan det

tidiga 1900-talets stora fysiker, både som människor och som fysiker i diskussioner om de ideer och modeller som växte fram och lade grunden för den moderna fysiken. Kanske minns vi "Blegdamsvejs Faust". Kanske har Niels Bohrs svar på frågan hästskon över dörren gjort intryck – naturligtvis trodde han inte på att den gav tur – "men folk säger att den fungerar även om man inte tror på den". Kanske minns vi de mer fysikrelaterade diskussionerna, t.ex. mellan Bohr och Einstein – och även det ofta citerade "Gud spelar inte tärning". Genom Michael Frayns "Copenhagen" [3] har Niels Bohr blivit känd också för en större allmänhet.

Fysikers biografier ger oss många anekdoter som blir den del av vår gemensamma kultur. Jag har under sommaren åter läst delar av bl.a. "Surely, you are joking, Mr Feynman" [4] och återigen glatts t.ex. över berättelsen om kassaskåpen i Los Alamos – där det bl.a. visade sig att ungefär en tredjedel av kassaskåpen hade samma kod som de ursprungligen levererats med. Många andras koder var åtkomliga genom några enkla knep som säkert också fungerar för att idag hitta lösenord till datorkonton. Den finns många svaga länkar i datasäkerhet!

Tiden i Los Alamos har lämnat djupa spår för många av 1900-talets fysiker och diskuteras i många självbiografier.

Forskarens ansvar

Det var en gång för länge sedan. Fysikerna var hjältar. De byggde den första atombomben. Under den första provsprängningen stod Enrico Fermi och släppte papperslappar och observerade nedslagspunkter för att uppskatta bombens styrka. Ett stycke bort stod Robert Oppenheimer och citerade Bahavadgita: "I have become death, the shatterer of worlds."



Detaljer om fysikernas observationer både under provsprängningen och efteråt finns återgivna i tidigare hemligstämplade dokument, numera lättåtkomliga på WWW [5]. Allmänhetens bild av fysiker har efter 1945 ändrats från hjältar till en vanlig syn på naturvetenskap och teknik som "roten till allt ont".

Det var en gång för länge sedan. Diskussioner om etiska riktlinjer för forskning handlade inte i första hand om etikettsregler, oredlighet och fusk utan om forskares ansvar i komplicerade frågor och för upptäckternas och utvecklingens följder [6,7].

Det fanns en tid när Internet var ett exklusivt redskap. Några forskare på CERN behövde ett bättre sätt att kommunicera och dela filer. Genom en acceptans hos deras närmaste ledning för något som inte var en absolut kärnverksamhet kunde Världsväven, WWW, växa fram. [8]

Det var en gång för länge sedan. Kylskåp började ersätta de traditionella islådorna. Einstein läste i tidningen under vintern 1925–26 om en familj som dött när kylskåpet läckte ut giftig gas. "Det måste finnas ett bättre sätt" sa han till Leo Szilard, och deras samarbete ledde till flera uppfinningar [9,10]. Två patent av Einstein och Szilard har köpts av Elektrolux [11].

Fysik, teknik och risker

I januari i år var det 20 år sedan Challenger exploderade. Andra delen "What do you care what other people think?" [12] av Feynmans självbiografi beskriver hans arbete i utredningen av olyckan, som sedan kommit att bli analyserad ur många olika perspektiv.

Haverikommissionens rapport visar på brister i kommunikationen mellan olika grupper som gjorde att indikationer som borde föranlett närmare analys aldrig nådde dem som fattade beslut. En av ingenjörerna som var med skrev flera PM under 1985 för att påpeka problem med O-ringarna [13]. Även Columbias explosion 2003 har beskrivits som en "Organizational Failure at NASA" [14].

I sommar har återigen rymdfärjor skjutits upp. Var astronauterna säkra? Hur påverkas risken – uppfattad och

verklig – när något fungerat förut? En rapport [15] visar hur säkerhetsmarginaler efter hand hade tänjts mer och mer före Challengers uppskjutning 1986. Under kvällen före uppskjutningen ombads en av ledarna att "Put away your engineering hat, put on your management hat" så att man kunde komma fram till ett beslut om uppskjutning. Samtidigt konstaterar rapporten att ingenjörer ofta vill ha så stora säkerhetsmarginaler att man aldrig skulle kunna skjuta upp en enda färja. Feynmans rapport i en bilaga till huvudrapporten avslutas med den ofta citerade meningen:

For successful technology, reality must take precedence over public relations, for Nature cannot be fooled. [12]

Tekniska haverier handlar inte bara om teknik utan på många olika sätt om organisationskultur. Behöver förståelse om risk och säkerhet påverka vår utbildning av fysiker, tekniker och allmänhet? Hur stort ansvar kan forskare och tekniker ta för tekniken och dess användning i komplicerade organisationer? Robert Oppenheimer konstaterade efter 1945:

A scientist should assume responsibility for the fruits of his work. I would not argue against this, but it must be clear to all of us how very modest such assumption of responsibility can be, how very ineffective it has been in the past, how necessarily ineffective it will surely be in the future. [13]

Tage Danielssons monolog om Harrisburg utmanar den allmänna uppfattningen om sannolikhet. Läs den eller lyssna gärna på den igen! Den går lätt att hitta på WWW.

"Nu har vi tydligen inte råd med äkta sanningar längre, utan vi får nöja oss med sannolikhetskalkyler. Det är synd det, för dom håller lägre kvalitet än sanningar. Dom är inte lika pålitliga. Dom blir till exempel väldigt olika före och efter.

...

Tala alltid sanning, barn, sa våra föräldrar till oss. Det får vi inte säga till våra barn utan vi måste lära dom att alltid tala sannolikt. Att säga sannolikheten, hela sannolikheten och ingenting annat än sannolikheten." ■

Referenser

1. *Einstein's Nobel Prize, A Glimpse Behind Closed Doors: The Archival Evidence*, Aant Elzinga, 2006
2. *Thirty Years That Shook Physics: The Story of Quantum Theory*, George Gamov (1966),
3. *Copenhagen*, Michael Frayn (1988) Methuen Drama
4. *Surely, You are Joking, Mr Feynman - Adventures of a Curious Character* Richard Feynman, 1985 New York: WW Norton
5. *Trinity Test, July 16, 1945, Eyewitness Accounts*, <http://www.dannen.com/decision/trin-eye.html>, transkriberade av Gene Dannen
6. *The Uppsala Code of Ethics for Scientists*, <http://user.it.uu.se/~pugwash/Etik/uppsalakodex.html> och *Focus on: The Uppsala Code of Ethics for Scientists* Gustafsson B, Ryden L, Tibell G, and Wallensten P, *Journal of Peace Research*, Vol. 21, No 4, 1984
7. Codex – regler och riktlinjer för forskning, <http://www.codex.vr.se>
8. *How the Web was Born - The Story of the World Wide Web*, James Gillies, Robert Cailliau (2000) Oxford University Press
9. *Leo Szilard the Inventor*, <http://www.dannen.com/budatalk.html> Gene Dannen, presentation på Leo Szilard Centenary, Eötvös University, Budapest 9 February 1998,
10. "The Einstein-Szilard Refrigerators", Gene Dannen, *Scientific American*, Jan 1997
11. Kopior av patenthandlingar kan hittas t.ex. på <http://se.espacenet.com>, Se t.ex. US1781541
12. *What do you care what other people think?*, Richard Feynman, 1988 New York: WW Norton. Feynmans observationer finns också på WWW, som bilaga F i den officiella rapporten: <http://history.nasa.gov/rogersrep/genindex.htm>
13. *Roger Boisjoly and the Challenger Disaster*, The On-Line Ethics Center for Engineering and Science at Case Western Reserve University, <http://onlineethics.org/moral/boisjoly/RB-intro.html>
14. *Columbia and Challenger: organizational failure at NASA* Joseph Lorenzo Hall (2003) *Space Policy* 19, 239-247, <http://josephhall.org/papers/nasa.pdf>
15. *Challenger: Fine tuning the odds until something breaks* William H. Starbuck och Frances J. Milliken, *Journal of Management Studies*, 1988, 25: 319-340, <http://pages.stern.nyu.edu/~wstarbuck/mob/challenge.html>
16. *Physics in the Contemporary World*, Oppenheimer J R, 1947, MIT Lecture, publicerad i *Great Essays in Science*, Meridian (M. Gardner, ed.), 1994, s205

Ann-Marie.Pendrill@physics.gu.se

Val av ny styrelse för Svenska Fysikersamfundet för perioden 2007–2009

Nuvarande styrelsen för Samfundet avgår vid kommande årsskifte. Den av årsmötet i mars utsedda valberedningen får härmed lämna följande förslag till ny styrelse för ovan angivna period:

Ordförande:

Anders Kastberg, Umeå universitet, optisk fysik – nyval

Ledamöter:

Håkan Danared, Manne Siegbahnlaboratoriet, Stockholms universitet, acceleratorfysik – omval

Per-Olof Holtz, Linköpings universitet, materialfysik, nanofysik – nyval

Paula Eerola, Lunds universitet, partikelfysik – omval

Kerstin Ahlström, Komvux, Borås – nyval

Igor Zoric, Chalmers, teknisk fysik, ytreaktioner, undervisning – nyval

Ane Håkansson, Uppsala universitet, kärnfysik – nyval

Hans Lundberg, Lunds tekniska högskola, fysik – omval

Peter Olsson, Umeå universitet, statistisk fysik, supraleddare – omval

Claes Uggla, Karlstads universitet, teoretisk fysik, relativitetsteori – omval

Revisorer:

Sven Huldt, Lund – omval

Indrek Martinsson, Lund – omval

Revisorssuppleanter:

Mats Jonson, Göteborg – nyval

Göran Nyman, Göteborg – omval

Samfundets medlemmar har möjlighet att fram till 25 oktober 2006 till valberedningen inkomma med kompletterande förslag. Förslagsställaren skall förvissa sig om att föreslagen kandidat är villig att åta sig uppdraget. Valbara är medlemmar i samfundet. Samtliga förslag kommer därefter att utsändas till medlemmarna för poströstning.

Uppsala i september 2006

Leif Karlsson (valberedningens ordförande)

Valberedning:

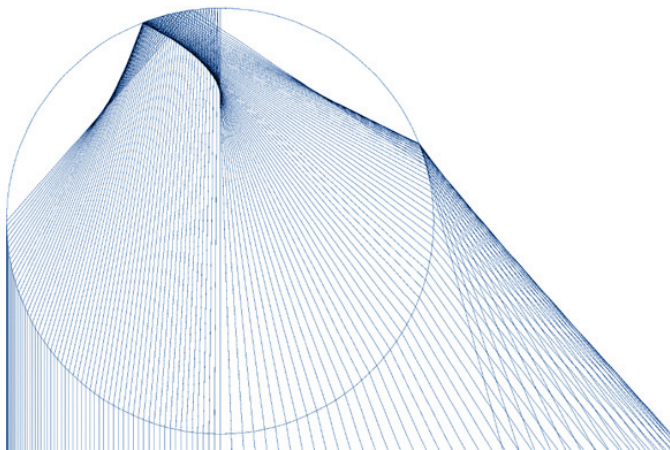
Ragnar Hellborg, *Leif Karlsson*, *Eva Lindroth*, *Eva Olsson*, *Lennart Stenflo*

Förslag insändes till:

Leif Karlsson, Fysiska institutionen, Uppsala universitet, Box 530, 751 21 Uppsala

Tel: 018-471 12 99, Fax: 018-471 35 24

e-post: Leif.Karlsson@fysik.uu.se



Fysiktävlingen

Finalen – teori – 20 maj 2006

Svenska Fysikersamfundet

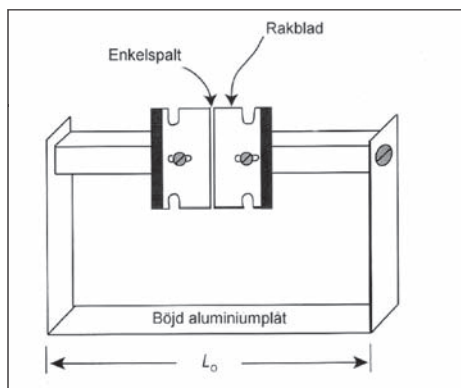
”Samfundets Fysiktävling riktar sig till elever på naturvetenskapsprogrammet och teknikprogrammet som har läst kursen Fy A och större delen av kursen Fy B. Tävligen stöds av Chalmers tekniska högskola, Göteborgs universitet, David Griffin, Ljungbladsfonden och, Erna och Victor Hasselblads stiftelse. Ansvar för tävlingen ligger sedan 2005 på sektionen för undervisning.

Finalen i årets Fysiktävling inleddes den fredagen den 19 maj med 5 experimentella uppgifter om vardera

50 minuter. Lördagsförmiddagen ägnades sedan åt tävlingens teoretiska del. Medan juryn rättade de teoretiska uppgifterna kunde finalisterna höra föredrag under fysikens dag, innan det var dags för prisutdelning, som förrättades av Börje Steen. För de teoretiska uppgifterna svarade Alf Ölme, Varberg, och för de experimentella Curt Nyberg, Göteborg. Juryn bestod av Lars Gislén, Maj Hansson, Max Kesselberg, Christina Malmberg och Alf Ölme.

Uppgift 1

I en artikel i *Physics Teacher* Vol 44, Februari 2006 s 82 beskrivs en uppställning för att bestämma värmeutvidgningskoefficienten för aluminium – se **Figur 1**. En laserstråle skickas in vinkelrätt mot den enkelspalt som bildas av de båda rakbladen. Interferensmönstret från diffraktionen i enkelspalten betraktas på en skärm som befinner sig på avståndet D från enkelspalten. Avståndet d i interferensmönstret (se **Figur 2**) mellan de två första symmetriskt belägna minima kring centralmaximum bestäms för några olika temperaturer på aluminiumbandet genom att sänka ner detta i varmt vatten.



Figur 1

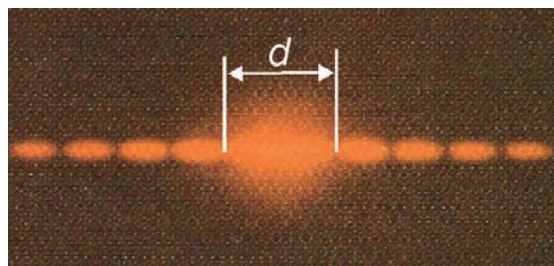
I tabellen nedan ges några samhörande värden på aluminiumbandets temperatur, t , och avståndet, d , i interferensmönstret.

$t/^{\circ}\text{C}$	17	40	57	75	90
d/mm	12,8	10,2	8,6	7,4	6,6

Det använda laserljusets våglängd är 633 nm och för aluminiumbandet gäller L_0 vid starttemperaturen 17 °C. Avståndet D mellan enkelspalt och skärm är 1,70 m.

Bestäm med hjälp av dessa data och mätserien ovan ett värde på värmeutvidgningskoefficienten för aluminium.

Ledning: Vid diffraktion i en enkelspalt gäller för vinkeln α mellan centralmaximum och första minimum $\alpha \cdot \sin \alpha = \lambda$ där α är spaltvidden för enkelspalten och λ det använda ljusets våglängd.



Figur 2

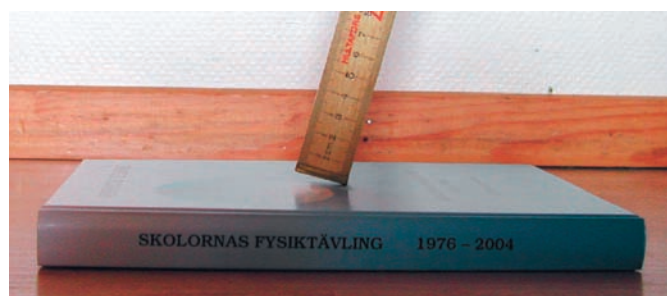
Uppgift 2

Vid avslutningen av de olympiska vinterspelen 2006 fick publiken och TV-tittarna se artister som uppträdde svävande i en kraftig vertikal vind. Bilden till höger visar en "snowboardåkare" svävande på sin bräda. Undersök vilken vindhastighet som behövs för att detta ska vara möjligt. Du får själv göra de uppskattningar och approximationer som är nödvändiga – diskutera och motivera dina antaganden



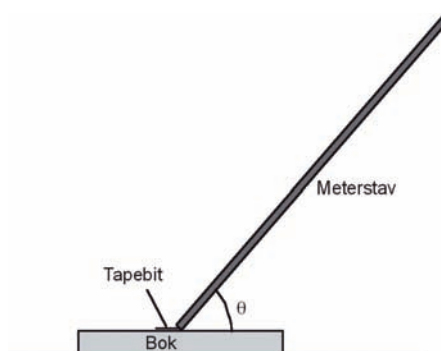
Uppgift 3

För att bestämma den statiska friktionskoefficienten, μ , mellan ett föremål och underlaget kan följande experiment genomföras. En bok läggs på golvet och sedan försöker man skjuta boken framåt utefter golvet med hjälp av t ex en meterstav – se bild. Det kan behövas en bit tape på boken för att förhindra meterstaven från att glida. Om meterstavens



vinkel θ med golvet – se figur – ökas när man ett läge när det blir omöjligt att skjuta boken framåt hur stor kraft man än använder.

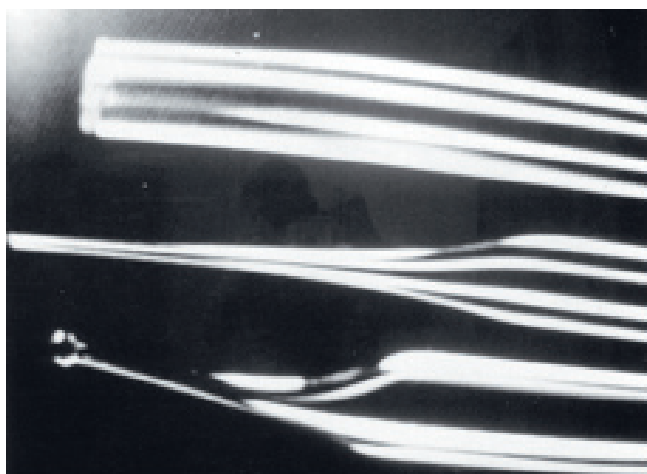
Analysera och förklara experimentet samt beräkna ett värde på μ om det kritiska värdet på vinkeln θ blir 75° .



Uppgift 4

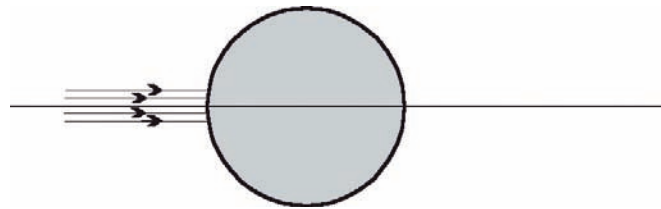
4. Holländaren Antony van Leeuwenhoek konstruerade på 1600-talet ett "enkelt" mikroskop d v s ett mikroskop med endast en lins. Denna enda lins utgjordes av en liten glassfär. Man kan tillverka en sådan glassfär genom att värma upp en glasstav i en låga så att den kan dras ut till en tunn glasfiber. Den tunna glasfibers yttersta del smälts sedan så att det bildas en sfärisk glasdroppe ytterst på staven.

En av de mest revolutionerande upptäckterna som Leeuwenhoek gjorde med sitt enkla mikroskop var iakttagelsen av de röda blodkropparna. Sedan han väl hade övertygat Royal Society i London om sina upptäckter blev han invald i denna berömda sammanslutning.



a) Antag att ett parallellt strålnippe träffar en glassfär. Beräkna avståndet från strålarnas konvergenspunkt, brännpunkten, till glassfärens medelpunkt. Detta avstånd utgör den "tjocka" linsens brännvidd. Du får i dina beräkningar använda "centrala strålar" d v s parallellknipets vidd är litet i förhållande till glassfärens radie.

b) Den så framställda linsen hålls sedan omedelbart framför ögat. Linsen används alltså som lupp. Vilken förstoring får en sådan lupp om glassfärens radie är 1,0 mm.



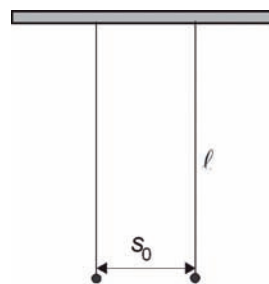
Uppgift 5

Två lika stora laddningar med motsatt tecken, $+q$ och $-q$, befinner sig på avståndet s från varandra vid jämvikt. Laddningarna kan betraktas som punktformiga partiklar med massan m vardera. Partiklarna är upphängda i två snören, vardera med längden ℓ och försumbara massa. Då partiklarna är oladdade är avståndet mellan dem s_0 . Snörets längd $\ell \gg s_0$. Se Figur 1

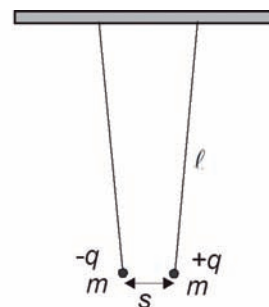
När partiklarna laddats enligt Figur 2 får de istället avståndet s . Undersök sambandet mellan s och q då laddningen q ökas från noll. Hur stort kan q göras utan att laddningarna slår ihop?

Utgå från följande värden

$$m = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg}, \ell = 1,0 \text{ m och } s_0 = 0,20 \text{ m}$$



Figur 1



Figur 2

Finalresultat

i Svenska Fysikersamfundets fysiktävling 2006

Placering	Namn	Skola	Ort
1	Martin Andreasson	Blackebergs gymnasium	Stockholm
2	Robert Zenlander	Rudbeckianska gymnasiet	Västerås
3-delad	Magnus Berg Anton Frisk Kockum	Östrabogymnasiet Östrabogymnasiet	Uddevalla Uddevalla
5	Simon Mueller	Danderyds gymnasium	Danderyd
6	Louise Andersson	Sigrid Rudebecks gymnasium	Göteborg
7	Johan Bernland	Peder Skrivares skola	Varberg
7	Björn Edlund	Sundsta-Älvkullægymnasiet	Karlstad
7	Janne Engshagen	Tyresö gymnasium	Tyresö
7	Oskar Lindgren	Hvitfeldtska gymnasiet	Göteborg
7	Carl Olsson	Haraldsbogymnasiet	Falun
7	Jonas Sundberg	Äva gymnasium	Täby



Martin Andreasson, Blackebergs gymnasium, Stockholm, segrare i 2006 års tävling.



Louise Andersson, Sigrid Rudebecks gymnasium, Göteborg.



Segraren i finaltävlingen Martin Andreasson, Blackebergs gymnasium, Stockholm får diplom och 7000 kr av prisutdelaren Börje Steen.

Den nittonde IYPT-tävlingen i Bratislava

Av Gunnar Tibell

Under invigningsceremonin till årets IYPT fick Gunnar Tibell ta emot ett pris som delas ut av "World Federation of Physics Competitions". Priset delas ut av priskommitténs ordförande Matti Rajamäki från Finland för "insatser för att befästa och synliggöra betydelsen av IYPT". Han presenterar här årets upplaga av tävlingen

Förkortningen IYPT betyder International Young Physicists' Tournament och är som lagtävling ett intressant komplement till den mera kända Fysikolympiaden, en tävling på individuell basis. Årets tävling var den nittonde gången i ordningen och den organiserades i Slovakien i huvudstad Bratislava, 6 – 13 juli. De tävlande lagen kom från 24 olika länder och bestod som vanligt av gymnasister, vanligtvis i sitt sista år före universitet eller högskola. Två lagledare brukar finnas med liksom också oberoende jurymedlemmar, i allmänhet universitetsforskare.

Totala antalet antal lag var i år 26, eftersom både Polen och värdlandet Slovakien hade två lag vardera. Totalt omfattade tävlingen bortåt 200 deltagande. De problem vilkas lösning skulle demonstreras av de tävlande var kända sedan cirka 10 månader tillbaka. Deltagarna har alltså haft den tiden på sig att sätta sig in i möjliga lösningar. Originalspråket vid publiceringen är engelska, som också är det språk som alla måste använda vid sina presentationer.

Här följer några exempel på 2006 års problem, där numreringen hänför sig till den som användes i tävlingen. Totalt fanns 17 problem att välja mellan.

2. Shades

If small non-transparent objects are illuminated with light, patterns in the shadows are observed. What information can be obtained about these objects using these patterns?

4. Whispering Gallery

The Whispering Gallery at St Paul's Cathedral in London, for example, is famous for the fact that the construction of the circular gallery makes a whisper against its walls on one side of the gallery audible on the opposite side of the gallery. Investigate this phenomenon.

6. Wet cleaning

A wet rag is hard to drag when it is spread out and pulled across the floor. What does the resistive force depend on?

8. Electrostatics

Propose and make a device for measuring the charge density on a plastic ruler after it has been rubbed with a cloth.

11. Singing tube

A tube open at both ends is mounted vertically. Use a flame to generate sound from the tube. Investigate the phenomenon.

Det är uppenbart att det handlar om "öppna" problem utan entydiga lösningar. Lagen presenterar också olika förslag till lösningar, vilkas förtjänster diskuteras mellan deltagande lag och bedöms av den internationellt sammansatta juryn. Vid bedömningen, på en skala från 0 till 10, tas hänsyn inte bara till de fysikaliska kvaliteterna utan också till framträdandet i olika avseenden, sättet att resonera om sin lösning och hur man bemöter de andra lag man har att göra med.

Den veckolånga tävlingen inleddes med fem parallella kvalificeringsomgångar, vardera med tre lag närvarande i olika roller: rapportör, opponent och

granskare. Alla tre lagen tar samtliga roller under en omgång, vilket betyder att tre olika problem tas upp till behandling. Juryns bedömning ligger till grund för urvalet av de tre lag som efter de fem omgångarna är kvalificerade för finalen.

Till årets final kvalificerade sig Tyskland, Sydkorea och Kroatien. Det svenska laget som i år liksom 2005 kom från Skåne placerade sig något under mitten av fältet av de 24 lagen. I finalen får lagen själva välja vilket problem man vill behandla; valet sker i tur och ordning efter placeringen i de inledande omgångarna. Det segrande kroatiska laget hade valt problem 8, Tyskland problem 2 och Sydkorea problem 6. Som brukligt sedan ett par år användes moderna hjälpmedel som t.ex. datorer och video. Både experimentella och teoretiska aspekter ska tas upp för en lyckad presentation.

Tävlingsveckan i Bratislava avslutades med ett sammanträde i den Internationella Organisations kommittén (IOC). Ett viktigt inslag var som vanligt sammanställningen av listan på problem för 2007. För övrigt valdes ny generalsekreterare i styrelsen, Martin Plesch från Slovakien och en ny representant för deltagande länder, Brigitte Pagana-Hammer från Wien. Min egen tid som ordförande, hittills 8 år, förlängdes med ytterligare två år.

Nästa år kommer tävlingen att arrangeras i Sydkorea och 2008 står årets värdnation. Därefter finns kandidater till värdskapet i form av USA, Mexiko, Brasilien och Indonesien. Framtiden ser ljus ut för IYPT! På adressen www.iypt.org kan man läsa mera.

Gunnar Tibell

Ordförande i Internationella Organisationskommittén

Fysiken bakom Monstervågor

Av P.K. Shukla, M. Marklund, B. Eliasson, I. Kourakis, L. Stenflo



Fig. 1: Det berömda träsnittet "Den Stora Vågen utanför Kanagawa" av Hokusai. Denna bild är känd från en serie träsnitt kring temat Fuji, och kan antas visa vad vi nu skulle kalla en monstervåg. Berättelser om sådana vågor har förekommit under lång tid, men det är först under de senaste decennierna vi erhållit tillräcklig observationell information för att kunna förstå orsakerna bakom vågornas uppkomst.

Monstervågor – vågor som kan bli höga som tiovaningshus – har under lång tid varit grund för fascinerande berättelser om havets oberäkneliga natur (se fig. 1). I filmer som exempelvis *The Perfect Storm* och den nyligen omgjorda *Poseidon* drabbas fartyg med passagerare och besättning av vågor av enorm storlek, med den efterföljande kampen som tema. När vi själva tillbringar en dag på stranden i soligt väder är det svårt att tro att vågor kan uppträda på annat sätt än det vi är vana vid – lugnt brytande vågsvall och enkel superposition av vågornas storlek (se fig. 2). Kanske just därför var de berättelser som cirkulerade om så kallade monstervågor (*freak waves*, *rogue waves* eller *killer waves* på engelska) extra svåra att ta till sig. Det påstods att det i ett normalt vågsvall, där vågorna var 5–10 meter höga, helt plötsligt kunde dyka upp vågor 3–4 gånger större än sina omgivande grannar. Avsaknaden av mätningar och inget annat än ögonvittnesuppgifter att tillgå gjorde det svårt att modellera sådana vågeffekter.

Det är därför endast under de senaste decennierna som fysiker på allvar har börjat få kläm på dynamiken hos sådana vågor. Ett antal modeller har varit tillgängliga och jämförelser med experiment i vattentankar har möjliggjort nya framsteg inom detta område. Avsaknaden av mätningar på riktiga monstervågor var länge en stötesten för forskningen rörande extrema vatten- vågor. Det var inte förrän den norska oljeplattformen Draupner i Nordsjön den första januari 1995 drabbades av en våg med en höjd på nästan 20 meter, tre gånger högre än det omgivande vågsvall, som man framgångsrikt lyckades genomföra en mät-

ning. Detta var första gången som användbara data kunde erhållas. När sedan europeiska rymdstyrelsen (ESA) beslutade att driva projektet MaxWave [1] år 2000–2003, där man med hjälp av satellitburen radar lyckades mäta extrema havsvågor, inleddes något av en ny era inom området. (Figur 3) Under de tre år som projektet bedrevs samlades data in som tycks stödja tanken på att sådana extrema vågor med höjder mellan 20 och 30 meter är vanligare än vad man kunnat tro.

Modeller för att beskriva vattenvågor

De modeller som används för att beskriva monstervågor är givetvis av skiftande slag. Navier-Stokes-ekvationerna är grunden för en rad framgångsrika modeller inom hydrodynamik och meteorologi. Detta gör det dock inte enkelt att modellera extrema vattenvågor. Avsaknaden av observationer gör det svårt att använda lämpliga approximationer, och det är oklart under vilka specifika förhållanden vågorna kan tänkas uppstå. Några huvudexempel på modeller som används är följande [2].

- **Vågfokusering baserad på variabla strömmar:** Man antar att ett normalt vinddrivet vågsvall utsätts för havsströmmar, varvid en drift av vågsystemet uppstår. För strömmar med lämpliga variationer uppstår då en koncentration av vågsystemets energi på vissa platser. Problemet med denna modell är frågan hur sådan variabla havsströmmar alstras. Man vet också att extrema vågor uppstår på platser där strömmar av detta slag inte är av betydelse.
- **Tids- och rumsfokusering:** En våg, som karaktäriseras av ett antal olika våglängder, tillåts utbreda sig i en riktning. Om de kortaste våglängderna initialt ligger i vågens front, med påföljande successivt längre våglängder, så kommer dessa längre vågor att hinna ikapp och "köra över" vågfronten. Detta på grund av att ytvågor uppfyller dispersionsrelationen $\omega = (gk)^{1/2}$ (där ω är frekvensen, g är gravitationsaccelerationen och k är vågtalet) vilket ger upphov till ett våglängdsberoende i hastigheten. Problemet med denna modell är huruvida det är realistiskt att en sådan ordnad våg kan uppstå mitt i ett vinddrivet och mer eller mindre slumpmässigt vågsvall.

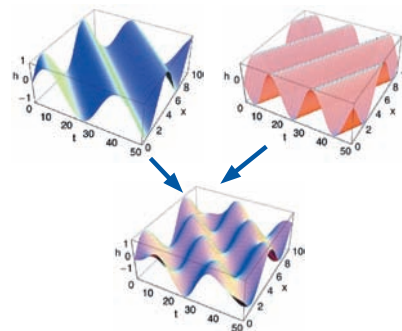
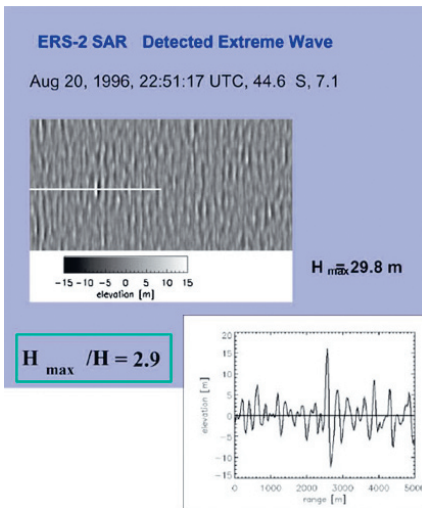


Fig. 2: Superposition av två vågsystem. Två system (överst till vänster och höger) av vågor med olika utbredningshastigheter längs x-axeln och olika amplitud ger med linjär superposition upphov till vågmönstret i den nedre figuren, inte helt olikt det man kan se en dag på stranden.



• **Fig. 3.** Jättevåg som detekterats under en global "census" med användning av tre veckors rådata från ERS-2 SAR, som inverterats för att få fram individuella våghöjder. Den våg som visas i figuren är 29.8 m hög. (http://www.esa.int/esaCP/SEMOKQL26WD_Protecting_1.html, Bild: DLR)

Icke-linjär fokusering: Navier-Stokes ekvationer är av naturen icke-linjära. Det är därför inte orimligt att ett antal icke-linjära effekter blir viktiga när vågornas energi, d.v.s. vågornas amplitud, ökar. Förenklade icke-linjära ekvationer kan härledas från Navier-Stokes-ekvationerna genom att anta svaga icke-linjära effekter och icke-visköst samt icke-rotterande flöde. En sådan beskrivning av ytvågor kan kvalitativt ge ett vågbeteende som i princip verkar överensstämma med vad som förväntas av extrema vågor.

Den icke-linjära modellen av ytvågor har flera intressanta egenskaper. I fallet med djuphavsvågor beskrivs de av den så kallade Schrödingerekvationen med en icke-linjär potential som ger upphov till självväxelverkan hos vågsystemet. Den icke-linjära Schrödingerekvationen uppträder i en rad sammanhang, exempelvis optisk fiberkommunikation, rymd- och laser-plasmafysik och Bose-Einsteinkondensatens fysik, och det är välkänt att den under rätt förhållanden kan beskriva självfokusering (i en dimension) och vågkollaps (i två och tre dimensioner). Dessa egenskaper kommer från den tävling som uppstår mellan dispersion och icke-linjär tillväxt i systemet. Om balansen mellan dessa två effekter är den rätta kan också så kallade solitoner uppstå, stabila vågstrukturer som utbreder sig utan att ändra form. Den icke-linjära Schrödingerbekrivningen av ytvågor har setts som en lovande modell av verkliga extrema vågsystem, men överensstämmelser med de fåtaliga observationer som finns har varit svåra att styrka, även om rätt karaktäristik kan erhållas.

Ett antal observationer av monstervågor indikerar att dessa i hög grad uppstår när det finns två separata vågsystem i samma region. Exempel på detta ges t.ex. av Draupner-vågen. Ett sätt för två skilda vågsystem att möta upp är att ett vindgenererat vågsvall driver utanför det aktuella området, och då kan träffa på nya vågsystem med andra utbredningsriktningar. Med denna idé beskrev en italiensk forskargrupp i början av 2006 en möjlig modell för detta fenomen [3]. Modellen består av två icke-linjära Schrödingerekvationer som beskriver två olika vågsystem där växelverkan mellan vågorna ges av en summa av kvadraterna av beloppen av vågampplituderna. Eftersom vågsystemen i princip kan ha helt separata utbredningsriktningar öppnar denna modell för en helt ny typ av vågdynamik.

Vår forskargrupp i Umeå har under lång tid använt sig av

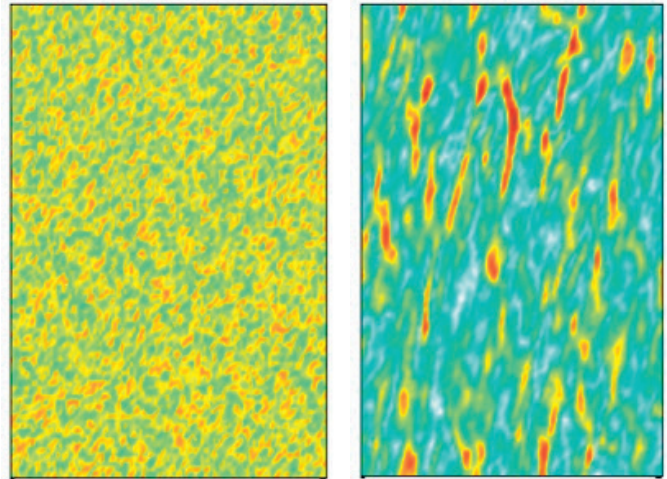


Fig. 4: Datorsimulering av icke-linjär vågfokusering. Två vågsystem möts med en vinkel på 45°. I bilden till vänster ser vi det slumpmässiga vågsvallat från vilket simuleringen startar. En stund senare (omkring tio minuter i fysikaliska enheter) har ett antal mer än tre gånger så stora vågor växt till, vilka kan ses i bilden till höger. Man kan tydligt se den uppbrutna karaktären hos monstervågorna, något som inte kan ses när ett ensamt icke-linjärt vågsvall simuleras (då ett mer ordnat beteende kan skönjas). Notera att bilderna visar beloppet av amplituden för ett av vågsystemen. Bilderna är från en simulering som presenterades i referens [4].

vågmodeller av detta slag i vitt skilda sammanhang. Genom analytiska lösningar och numeriska simuleringar, där parametrar relevanta för havsvågor användes, kunde man visa att ett sådant system svarade mot ett mycket verklighetstroget beteende. Speciellt kunde man se att från ett slumpartat vågsvall kunde extrema vågor bildas på mycket kort tid, upp till tre gånger snabbare än från tidigare modeller. Denna snabba tillväxt av monstervågor beror på en inneboende instabilitet (den så kallade modulationsinstabiliteten) hos havsvågorna som uppstår i växelverkan mellan de två vågsystemen (denna typ av instabilitet finns också i fallet med ett enda system av havsvågor och kallas då Benjamin-Feir-instabilitet, men uppvisar då en betydligt långsammare tillväxt). Jämförelse med motsvarande dynamik hos ett ensamt vågsystem visade också på betydande skillnader, som exempelvis bildandet av separata vågstrukturer och fragmentering (se fig. 4) i fallet med två vågsystem, något som inte kunde ses när växelverkan mellan de två vågsvallen togs bort. I och med att modellen också beskriver den situation där monstervågor allra helst verkar uppstå, d.v.s. att två vågsystem som möts, finns därför stora förhoppningar om att modeller av detta slag, med möjliga generaliseringar, kan leda till en ökad förståelse för hur och var vågorna uppstår. I förlängningen är det också möjligt att sådana modeller kan användas för att förutsäga monstervågornas framfart, och därmed också för att varna för eventuella problemområden. ■

Referenser

1. Se http://www.esa.int/esaCP/SEMPLIV4QWD_Sweden_0.html
2. Se Karsten Trulsens website http://www.math.uio.no/~karstent/waves/index_en.html, där det finns en diskussion av vågmodeller och länkar till mer material.
3. M. Onorato, A. R. Osborne, M. Serio, Phys. Rev. Lett. 96, 014503 (2006).
4. P. K. Shukla, I. Kourakis, B. Eliasson, M. Marklund, L. Stenflo, Phys. Rev. Lett. 97, 094501 (2006). Se också <http://focus.aps.org/story/v18/st7> för en populärbeskrivning på engelska.

Då Einstein uppfann fotonen*

Av Stig Stenholm

1 En uppfinning?

Enligt stipulationen i Alfred Nobels testamente skall fysikpriset ges till

...den person som har gjort den viktigaste upptäckten eller uppfinningen inom fysiken...

Det har senare diskuterats mycket hur begreppet "uppfinning" bör förstås; en blick på de företeelser som belönats visar att ytterst få kan benämnas så. Einsteins bidrag införde däremot entydigt begreppet "energipaket" betecknande bäraren av energin i den elektromagnetiska strålningen. Denna upptäckt har kommit att ha en långt större betydelse för fysikens utveckling än de övriga omvälvande idéer han presenterade år 1905, nämligen den särskilda relativitetsteorin och förklaringen av den Brownska rörelsen. Alla tre bidragen genomförde en revolutionerande nystart inom sitt forskningsområde. Året firas alltså med rätta som grund för valet av år 2005 till "Fysikens År".

Kvanthypotesen blev en omedelbar framgång; den accepterades av fysikersamhället utan större problem. Den särskilda relativitetsteorin stötte inte heller på betydande motstånd, medan däremot dess avkomma, den allmänna relativitetsteorin, ansågs spekulativ och ideologiskt tvivelaktig. Vid solförmörkelsen 1919 erhöll Arthur Eddington och medarbetare ljusavvikelser i ett gravitationsfält, vilka överensstämde med Einsteins teori. Dessa resultat väckte global uppmärksamhet och gjorde Einstein till en internationellt välkänd person. Trots detta höll sig Vetenskapsakademien avvaktande. Då Einstein tilldelades 1921 års Nobelpris år 1922 kom prismotiveringen att lyda:

Kungliga Svenska Vetenskaps-
Akademien

har vid sitt sammanträde den 9 november 1922 i enlighet med föreskrifterna i det av

Alfred Nobel

den 27 November 1895 upprättade testamentet beslutat att, oberoende av det värde som, efter eventuell bekräftelse må

tillerkännas relativitets- och gravitationsteorien, överlämna det pris, som för 1921 bortgives åt den som inom fysikens område har gjort den viktigaste upptäckt eller uppfinning till

Albert Einstein

för hans förtjänster om den teoretiska fysiken, särskilt hans upptäckt av lagen för den fotoelektriska effekten.

Akademiens reservation ovan citeras i allmänhet inte. Einstein anses vanligen ha fått priset för att ha förklarat den fotoelektriska effekten. Beaktande den betydelse ljusets inverkan på materien fått, kan vi kanske konstatera att Akademien, trots allt, gjorde exakt den rätta bedömningen.

I motsats till vad de flesta av dagens kursböcker anger, förklarade Einstein inte den fotoelektriska effekten. Det fanns nämligen år 1905 inga data att förklara. P. Lenard hade observerat (1902), att då en metall utsätts för ljus lösgörs elektroner. Det föreföll klart att ljusets energi gick åt till att frigöra elektronen från dess bindning i metallen, men några precisa mätningar hade inte utförts. Sådana resultat erhöles år 1912 av A. L. Hughes samt O. W. Richardson och K. T. Compton.

Den slutgiltiga verifikationen av Einsteins förutsägelse presenterades av R. A. Millikan, som bestämde Plancks konstant år 1914 och det linjära frekvensberoendet år 1916. Dessa resultat beaktades av Vetenskapsakademien då Millikan tilldelades 1923 års pris med motiveringen:

För bestämmandet av elektronens laddning och den fotoelektriska effekten.

Själva benämningen "foton" brukades inte av Einstein. Den infördes av kemisten Gilbert Lewis 1926 [1]. Hans fotonbegrepp skilde sig emellertid sentligt från det vi brukar i dag:

Det skulle verka lämpligt att tala om dessa hypotetiska varelser som ljuspartiklar, en klump av ljus, ett ljuskvantum, om vi kan anta att de tillbringar blott en minimal del av sin existens som bärare av strålningens energi, medan resten av tiden förblir den ett

*Denna artikel publicerades ursprungligen i ARKHIMEDES 6/2005 sid 18

viktigt element i atomens inre struktur ... Därför tar jag mig friheten att för denna nya hypotetiska atom, som inte är ljus men som spelar en viktig roll i varje strålningsprocess, föreslå namnet foton.

Lewis fotonbegrepp ligger således långt från den bild vi har i dag, men termen var myntad och lever kvar.

2 Plancks lag – en empirisk framgång

Upptäckten av spektroskopins möjligheter kan inte överskattas. Den gav upphov till mycken aktuell teknik men öppnade också porten till hela den moderna fysiken. År 1912 skrev den finländske kemisten och journalisten Gus Mattson.

Spektroskopet är det enda instrumentet vi fått ur Guds verkstad.

Mattson tänkte på spektroskopins förmåga att ge upplysning om de element som finns i avlägsna stjärnor. Samtidigt hade emellertid spektroskopin förorsakat ett dilemma som kom att revolutionera hela vår uppfattning om verkligheten. Då en het kropps spektrum uppmättes visade det sig att resultaten inte kunde förklaras av någon existerande teori, trots att det fanns två förslag:

Detta så kallade "svartkroppsproblem" var irriterande. Strålningens källa benämndes svart emedan den skulle absorbera all inkommande strålning, för att garantera att dess spektralfördelning beror endast av strålningens källans tillstånd som t.ex. dess temperatur. Den bästa realisationen av en sådan källa utgör den strålning som läcker ut ur en isolerad sluten kavititet i termisk jämvikt med kaviteten vägg, så kallad "Hohlraumstrahlung". Strålningen i en sådan kavititet kunde man behandla teoretiskt, och resultatet var att energin kan fördelas över ett antal svängningsmoder med olika energier. Rent termodynamiskt kunde man visa att energin för frekvensen f kan skrivas som

$$\frac{E_f}{V} = f^3 \Phi \left(\frac{f}{T} \right), \quad (1)$$

där Φ är en okänd funktion och V är kaviteten volym. Om termodynamikens ekvipartitionsprincip tillämpas på strålningen bör varje mod ha en energi proportionell mot temperaturen varför (1) ger

$$E_f \sim f^2 T. \quad (2)$$

Denna Rayleigh lag är klart irrationell; eftersom antalet moder är oändligt kommer kaviteten att ha en oändlig totalenergi oberoende av proportionalitets-

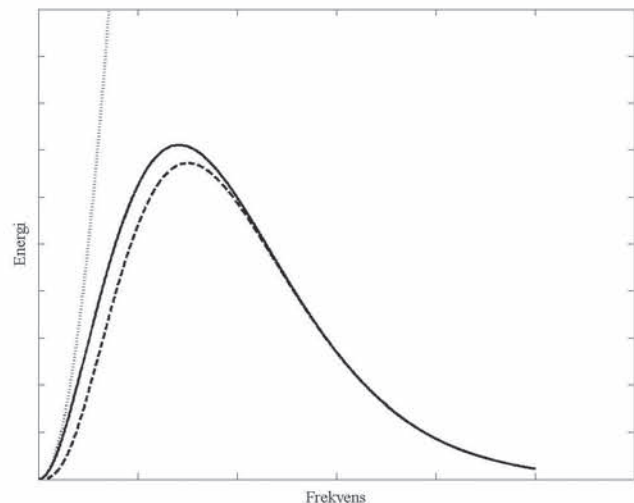
konstanten i (2). Den andra teorin, som går under Wiens namn, generaliserar Boltzmanns exponentiella temperaturberoende till att sätta

$$E_f \sim f^3 \exp \left(-A \frac{f}{T} \right), \quad (3)$$

där A är en konstant. Denna relation är möjlig, men ger för litet långvågig strålning för att beskriva experimenten.

Planck, som var den tidens ledande expert på termodynamik, utnyttjade dess entropikoncept till att modifiera teorin så att en ny formel erhöles [2]. Han fann uttrycket

$$E_f = \left(\frac{8\pi h}{c^3} f^3 \right) \frac{V}{\left[\exp \left(\frac{hf}{kT} \right) - 1 \right]}. \quad (4)$$



Figur 1. Jämförelse mellan Rayleigh, Planck och Wien fördelningsfunktioner.

Denna ekvation är tydligt av formen (1), men den innehåller en tidigare okänd parameter h . Vid höga temperaturer $kT \gg hf$, erhåller vi Rayleighs lag, och vid låga temperaturer $kT \ll hf$ ger den Wiens resultat. Dessutom passade den de uppmätta resultaten perfekt. De tre uttrycken kan jämföras i Fig. 1.

Plancks härledning var helt fenomenologisk och *ad hoc*. Trots ekvationens framgång att förklara observationsresultaten kände han att en mer fysikalisk argumentation behövdes. Därför vände han sig till Boltzmanns kombinatoriska metod, men för att använda denna måste han anta att energiutbytet mellan strålningen och kaviteten väggar skedde i form av diskreta energienheter

$$\Delta E_f = hf. \quad (5)$$

Efter "några få veckor av sitt livs mest ansträngande arbete" kunde Planck redan efter ett par månader i december 1900 [3] presentera en kombinatorisk härledning av (4). Han hade hoppats att proportionalitetskonstanten h skulle kunna gå mot noll, men ➔

detta leder som ovan till den oacceptabla Rayleighs lag. Alltså fann Planck den nya naturkonstanten $h = 2\pi\hbar$.

Plancks arbete inspirerades av den svarta kroppens strålningsspektrum, men det utgör ett enastående exempel på hur experimenten kan leda till helt oanade konsekvenser. Planck införde den nya naturkonstanten som bär hans namn och erhöll dess talvärde inom 1% av det nu gällande. Hans anpassning gav emellertid även andra resultat. Hans värde på konstanten k , Boltzmanns konstant, gav ett värde inom 2,5% av det korrekta. Konstanten var känd men det nya värdet var ackurat och gav ytterligare stöd för teorin. Det medgav dessutom ytterligare en räkning som vid seklets början var oerhört viktig.

Den ideala gasens lag var välkänd

$$pV = mRT, \quad (6)$$

där m är antalet mol i gasen. Gaskonstanten R var välkänd. Men den beror av Boltzmanns konstant enligt

$$R = N_0 k. \quad (7)$$

Följaktligen kunde Planck bestämma Avogadros tal N_0 med ett fel på omkring 6%, vilket gav ett mått på den enskilda atomens storlek. Detta var ett ytterst viktigt resultat emedan man, även sedan atomhypotesen allmänt antagits, inte helt lätt kunde bestämma den enskilda atomens storlek. Ytterligare ett fysikaliskt fenomen kunde inlemmas med Plancks resultat. Vid elektrolys visste man hur mycket laddning som kunde överföras av en mol elektroner, detta är Faradays konstant F . Den fås från

$$F = eN_0, \quad (8)$$

varför Planck även kunde bestämma den enskilda elektronens laddning e med ett fel på 2,5%.

Vi har sett hur Planck ur strålningslagen kunde erhålla en mängd fysikaliskt relevanta data. Detta utgör ett utomordentligt exempel på hur den teoretiska behandlingen av experimentella data kan bli till nytta långt utanför originaldatas begreppsområde. Den slutgiltiga framgången hos en fysikalisk teori är dess experimentella verifikation och förmåga att utsträcka sin giltighet utom dess ursprungliga ramar.

3 Einsteins *annus mirabilis*

Man kan med fog hävda att den moderna fysiken föddes år 1905. Einsteins insats under det avgörande året fyller en med häpnad inte bara genom dess betydelse för fysiken utan likaså genom den rena omfattningen av arbetet. Verksamheten på patentbyrån i Bern måste ha varit obetydlig det året eller också negligerade Einstein skamligt sina arbetsuppgifter.

I mars fullbordade han sitt arbete "Om en heuristisk synpunkt på skapandet och omvandlingen av ljus" [4]. Redan i maj sände han in arbetet "Om teorin för den Brownska rörelsen" [5], för att i juni vara klar med "Rörliga kroppars elektrodynamik" [6]. Dessa tre papper grundade tre av den moderna fysikens främsta forskningsinriktningar. I september var han färdig med frågan "Beror en kropps tröghet av dess energiinnehåll?" [7] där han slutar med att spekulera "Det är inte omöjligt att kroppar vars energiinnehåll varierar i hög grad (t.ex. radium salt) kan nyttjas till att framgångsrikt testa teorin." Kärnvapnet gav ett oemotsägligt svar på denna förmodan.

I denna artikel skall vi speciellt betrakta innehållet i Einsteins publikation [4]. Han ger sig där in på en tolkning av Plancks lag (4). Han åtar sig att betrakta strålningsenergin som uppbyggd av ett antal diskreta energipaket i motsats till den etablerade teorin som byggde på ljusets som en vågrörelse. Einstein var väl medveten om det motsägelsefulla i syntesen:

Vågteorin som opererar med kontinuerliga funktioner i rummet har blivit verifierad utomordentligt vid representationen av rent optiska fenomen och kommer sannolikt aldrig att bli ersatt med en annan teori.

... då en ljusstråle propagerar från en punkt, är dess energi inte kontinuerligt fördelad i rummet över en alltmer växande volym, utan den består av ett ändligt antal energikvanta lokaliserade i rummet, vilka rör sig utan att dela sig och vilka kan bli absorberade eller emitterade endast som hela.

I synnerhet nyttjar Einstein Plancks uttryck för låga temperaturer $kT \ll hf$

$$E_f = V A f^3 \exp\left(-\frac{hf}{kT}\right), \quad (9)$$

där A är en konstant. Genom att utnyttja den termodynamiska relationen mellan entropi S och temperatur

$$\frac{dS}{dE} = \frac{1}{T} = -\frac{k}{hf} \log\left(\frac{E}{V A f^3}\right) \quad (10)$$

härleder Einstein uttrycket

$$\begin{aligned} S(E) &= \left(-\frac{k}{hf}\right) E \left[\log\left(\frac{E}{V A f^3}\right) - V A f^3\right] \\ &= k \left(\frac{E}{hf}\right) \log\left(\frac{V}{\Delta V}\right) + \text{konstant}. \end{aligned} \quad (11)$$

Denna relation tolkar nu Einstein enligt ett mönster från statistisk fysik:

Tag N icke-växelverkande partiklar inplacerade i en låda med volymen V . Denna indelas i delvolym

ΔV . Vid en helt slumpartad inplacering kommer den statistiska vikten för varje partikel att bli $(V/\Delta V)$. För N okorrelerade partiklar blir antalet sätt att inplacera dem

$$W = \left(\frac{V}{\Delta V} \right)^N, \quad (12)$$

vilket enligt Boltzmann ger entropin

$$S = k \log W = kN [\log V - \log \Delta V]. \quad (13)$$

Valet av delvolymen ΔV påverkar inte de fysikaliska resultaten vilket bekräftas av den termofysikaliska relationen

$$p = -\frac{\partial}{\partial V} (\overline{E} - TS) = \frac{kN}{V} T, \quad (14)$$

emedan systemets inre energi $\overline{E}$ är noll. Detta är kanske den enklaste möjliga härledningen av idealgasens ekvation.

Då vi jämför (11) med (13) finner vi direkt

$$E = N hf, \quad (15)$$

vilket är Plancks resultat, men nu så att det är själva strålningen som består av energipaket även då den inte växelverkar med sin omgivning. Fotonen hade upptäckts.

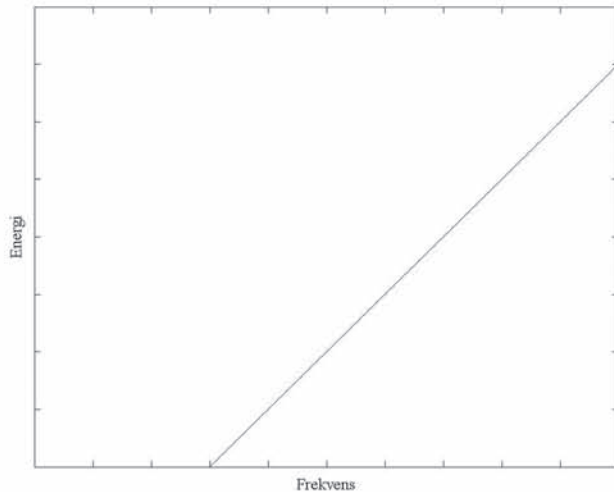
Einstein antar att energiutbyte mellan materia och strålning sker i form av hela energikvanta. Han tillämpar detta synsätt på några av samtidens observerbara fenomen:

- Ett är Stokes regel som säger att då ljus sprids kommer den utgående strålningen att ha lägre frekvens än den inkommande. Fotonutbytet lämnar kvar en del av energin i spridningskällan.
- Vid jonisation medelst ljus iakttas ett typiskt tröskelvärde för frekvensberoendet. Det behövs fotoner med en viss energi för att lösgöra en elektron.
- Även vid elektronemission från metallytor krävs en energi för att kompensera bindningen i metallen. Detta kallades produktion av katodstrålar och utgör vad vi nu kallar den fotoelektriska effekten.

Ovan såg vi att den fotoelektriska effekten verifierades först i senare mätningar. Men den kom att få en oerhörd betydelse för den del av fysiken som rör optiska fenomen.

Einstein sätter elektronens bindningsenergi i metallen till Φ_0 och antar att den del av fotonens energi som överskrider detta värde ger till den emitterade elektronen dess rörelseenergi. Som funktion av frekvensen blir då elektronenergin

$$E_{kin} = hf - \Phi_0. \quad (16)$$



Figur 2. Den emitterade elektronens kinetiska energi som funktion av ljusets frekvens.

Einstein konstaterar [4]:

Om den härledda ekvationen är korrekt, måste energin vara en rät linje som funktion av frekvensen, vars vinkelkoefficient är oberoende av den substans som undersökes. Elektrondistributionen kommer att vara oberoende av det infallande ljusets intensitet; antalet elektroner som lämnar kroppen skall vara proportionellt mot det infallande ljusets intensitet.

Beroendet som visas i Fig.2 beskriver Einsteins uttryck för den fotoelektriska effekten.

Vi har ovan angett hur denna lag småningom blev verifierad experimentellt och citeras vid Nobelpriset såväl till Einstein som Millikan. Men Einsteins synsätt kom att få en mer omfattande betydelse. I dag grundar sig all fotodetektion på denna princip: en foton ger upphov till en och endast en fotoelektron; vi kan inte bruka två fotoner till att emittera en elektron eller emittera två elektroner med en foton. Trots att vi inte kan gripa en enskild foton och räkna in den, kan vi räkna de laddade fotoelektronerna, vilket ger oss tillgång till den kvantstatistiska fördelningen i fotonströmmen. All detektion av ljus bygger i princip på Einsteins insikt år 1905.

4 Senare bidrag

Einstein avslutade emellertid inte sina betraktelser över kvantiseringens verkningar efter 1905. År 1906 tillämpade han nämligen kvantprincipen på en fast kropps vibrationsstruktur [8]. Han införde en modell av kristallen som en samling kvantiserade oscillatorer. Då dessa befinner sig i termisk jämvikt exciteras deras vibrationer med en energi proportionell mot temperaturen. Då denna sjunker, kom-

mer emellertid den tillgängliga termiska energin att bli så liten att den inte lyckas tillföra ett enda kvantum av vibrationsenergi. Då upphör oscillatorns förmåga att uppta energi, och dess bidrag till den specifika värmen fryses ut. Detta fenomen var experimentellt välkänt men hade utgjort ett problem för den klassiska fysiken. Motsvarande fenomen inom molekylfysiken hade fått självaste Gibbs att betvivla allmängiltigheten av sin teori för termofysiken. Kvantfysiken löste dilemmat och detta utgör den tidigaste verifikationen av kvanthypotesen utanför det optiska forskningsområdet. Einsteins vibrationsmodell var orealistisk, den korrigerades senare av Debye, men den tjänade sitt ändamål att visa upp en ny observerbar manifestation av energikvantisering.

Einstein återvände till betraktelsen av energiutbytet mellan fotoner och materia år 1917 [9]. I denna artikel betraktar han ett antal fenomen förknippade med absorption och emission av ljus. Som tidigare kommer Einsteins resultat att vara av fundamental betydelse för fysikens kommande utveckling.

I sitt arbete [9] inför Einstein begreppen spontan och inducerad emission. Den spontana emissionen ansågs vara känd och Einstein fogar till denna ett bidrag inducerat av i fältet befintliga fotoner. Denna del är väsentligen bestämd av klassisk strålningsteori, men Einsteins utgångspunkt i kvantteorin gjorde att den kom att synas som ny. Från denna utgångspunkt kunde han igen erhålla Plancks lag.

Einstein skriver också ned den universella relationen mellan en fotons energi och materiaens energiförändring

$$\mathcal{E}_{\text{initial}} - \mathcal{E}_{\text{final}} = hf. \quad (17)$$

Då Niels Bohr år 1912 framlade sin teori för väteatomen, byggde hans beskrivning av ljusemission på detta resultat.

Einstein beaktar också strålningen rekyleffekt; den rörelsemängd som bärs av strålningen måste också delta i de dynamiska växelverkningsprocesserna. Även rörelsemängden måste bevaras. Då fotonerna är i termisk jämvikt, kommer de att påföra partiklarna en slump rörelse liknande den Brownska som Einstein förklarat 1905. Han visar nu att även rörelsemängden blir bevarad vid foton-partikel växelverkan om fotonernas energifördelning beskrivs av Plancks uttryck. Arbetet är den första kvantmekaniska betraktelsen av fotonernas mekaniska effekt. Området har senare, tack vare laserfysikens utveckling, lett till såväl laserkylning av atomer som optiska partikelfällor, men detta är en separat historia rörande den moderna fysikens senare utveckling.

Som vanligt är Einstein klart medveten om betydelsen av sina resultat. I [9] säger han:

Det visar sig att vi erhåller en konsekvent teori blott om vi antar att varje elementär process är helt riktad.

... Det finns ingen emission i sfäriska vågor. Molekylen påförs i en spontan elementär process en rekyl av magnituden hf/c vars riktning i teorins nuvarande form endast är bestämd av "slumpen".

I dag vet vi mera om ljusets kvantteori, men Einsteins konstateranden ger dock ännu en relevant beskrivning av fenomenen.

Einstein förutser också behovet av en mer utvecklad teori för ljusets kvantnatur. Han skriver:

Dessa egenskaper hos de elementära processerna gör att det förefaller praktiskt taget oundvikligt att man måste bygga upp en genuin kvantmekanisk teori för strålning. Svagheten hos nuvarande teori ligger, å ena sidan, i det faktum att den inte för oss närmare en anknytning till vågteorin, och å andra sidan i det faktum att det överlämnar tidpunkten och riktningen hos de elementära processerna åt "slumpen"; likväl är jag helt förvissad om tillförlitligheten hos den metod jag använt här.

Utvecklingen skulle komma att bekräfta vikten av Einsteins bidrag utan att dock kunna eliminera den senare av de svagheter han erfor. Den slumpartade karaktären hos kvantprocesserna har vi inte kommit undan, och denna aspekt kom senare att utgöra Einsteins viktigaste invändning mot den nya kvantteorin.

5 Kvantelektrodynamikens gryning

År 1925 föddes den moderna kvantfysiken. Heisenberg och hans medarbetare inledde utvecklingen, men teorin fick överraskande snabbt sin slutgiltiga form genom bedrag även av Schrödinger och Dirac. Men teorin gav också ett sätt att förverkliga Einsteins vision om en kvantteori för strålningen. Ursprungligen föreföll vägen klar; de elektromagnetiska fälten ger just ett exempel på ett enkelt oscillatoriskt fenomen av den typ vars kvantisering var välbekant.

Maxwells equationer för det elektromagnetiska fältet beskriver detta med hjälp av två vektorer, en elektrisk E och en magnetisk H . Dessas rörelseekvationer är av formen

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dt} &\sim H \\ \frac{dH}{dt} &\sim -E; \end{aligned} \quad (18)$$



Kom på Sveriges största vernissage!

Den 30/10 är du och alla dina kollegor i Sverige inbjudna till vernissage av Libers samtliga nyheter inför Gymnasiereformen. Kom i tid. Plocka hem smakprov och beskrivningar. Öppet hela hösten och hela våren. Plats: www.liber.se/gy07



Liber

en del av Wolters Kluwer

Vill du veta mer? Kontakta vår kundservice.

Liber AB, 162 89 Stockholm. Tel 08-690 93 30, fax 08-690 93 01/02
e-post kundservice.liber@liber.se eller direkt på www.liber.se



ALLT
FÖR GYMNASIE-
REFORMEN!



resten är geometri relaterad till fältens rumsberoende. Den väsentliga faktorn är skillnaden i förtecken för derivatorna. Ingen förändring i beteckningar kan eliminera detta. Just detta minustecken ger upphov till de elektromagnetiska vibrationer som Maxwell identifierade med ljuset.

På samma sätt kan vi avbilda kvantfälten på den kvantiserade harmoniska oscillatoren, varför vi omedelbart kan utnyttja kända resultat. Dirac genomförde denna räkning redan 1927 [10]. Med sin vanliga skicklighet att till synes mödölöst erhålla viktiga resultat lyckades Dirac härleda uttrycket för den spontana emissionen, en effekt som inte skulle existera utan fältkvantisering. Han kunde även visa att hans fotonbild var likvärdig med den elektromagnetiska vågbilden. Han drog slutsatsen:

Vi finner alltså en fullständig harmoni mellan beskrivningen av växelverkan medelst vågor eller ljuskvanta. Vi kommer i själva verket att bygga upp teorin utgående från ljuskvanta och visa att Hamiltonianen naturligt kan transformeras till en form som liknar vågbildens.

Teorin utvecklades vidare av P. Jordan i samarbete med W. Heisenberg, R. Peierls och L. D. Landau, för att nämna några av de viktigaste aktörerna. Det visade sig dock snart att problemet var mer intrikat än man ursprungligen antagit. Till synes självklara resultat ledde till meningslösa oändliga uttryck, vilka effektivt förhindrade att teorin kunde tillämpas på även de enklaste fenomen.

Ett problem ärvdes från den klassiska elektromagnetiska teorin: Det fält en rörlig elektron släpar med sig gör att dess tröghet divergerar, elektronens massa verkar vara oändlig. Detta är bara den första av den serie av oändligheter som skulle komma att betunga kvantelektrodynamiken. Detta problem löstes först efter andra världskriget, då J. Schwinger, S. Tomonaga och R. P. Feynman inforde *renormeringsmetoden*, vilken senare erbjudit en metod att lösa alla problem av denna typ.

Det har visat sig att kvantelektrodynamiken bara utgör ett första och delvis trivalt exempel på en hel serie av teorier vilka besitter en egen-skap betecknad som *måttfältsinvarians* (gauge invariance). Att beskriva denna ligger bortom den målsättning föreliggande artikel har. Jag hänvisar enbart till det stora antalet kursböcker som detta område nu bjuder på.

Einstein införde ljuskvanta som de energipaket som ligger under den kontinuerliga intensitetsfördelning vågteorin erbjuder. Dittills hade fältet ansetts vara den enda egentliga beskrivningen, men kvantiseringen blir oundviklig då energi absorberas eller emitteras. Den första manifestationen av detta var den

fotoelektriska effekten. Då fysiken utsträckt sina undersökningar till allt högre energier har kvantfälten kommit att spela en alltmer fundamental roll. En faktor härvid utgör de villkor måttfältsinvariansen och kompatibiliteten med relativitetsteorin ställer. Det verkar lättare att inlemma symmetrivillkor i en teori som formuleras med hjälp av fälten. Dessa förefaller således att vara mera fundamentala fysikaliska begrepp, medan de enskilda partiklarna uppträder först då vi beskriver detektionsprocesser, absorption eller sönderfall. På ett förunderligt sätt har vi här sett den av Einstein påbörjade utvecklingen mogna och erövra en central plats inom hela fysiken. Teorin skrivs ned för fält och dessas växelverkan, men då urvalsregler formuleras och partikelbanor observeras måste vi beskriva skeendena med hjälp av de kvantiserade klumpar som partikelteorin bjuder på. Det verkar således som den av Einstein införda fotonen skulle vara den häröld som annonserade hela den moderna kvantfysikens gryning. Sedan har dess belysning av fysiken blivit så bländande att vi inte längre helt kan urskilja teorin som helhet. Den har utvecklats bortom vår intuitiva förmåga att visualisera den bild av verkligheten den erbjuder. ■

References

- [1] G. N. Lewis, *Nature* **118**, 874 (1926).
- [2] M. Planck, *Ver. Dtsch. Phys. Ges. Berlin* **1**, 202 (1900).
- [3] M. Planck, *Ver. Dtsch. Phys. Ges. Berlin* **2**, 237 (1900).
- [4] A. Einstein, *Annalen der Physik* **17**, 132 (1905).
- [5] A. Einstein, *Annalen der Physik* **17**, 549 (1905).
- [6] A. Einstein, *Annalen der Physik* **17**, 891 (1905).
- [7] A. Einstein, *Annalen der Physik* **18**, 639 (1905).
- [8] A. Einstein, *Annalen der Physik* **22**, 180 & 800 (1907).
- [9] A. Einstein, *Physikalische Zeitschrift* **18**, 121 (1917).
- [10] P. A. M. Dirac, *Proc. Roy. Soc. (London)*, A **114** (1927).

EU Contest for Young Scientists

Av Ann-Marie Pendrill

The artonde upplagan av European Union Contest for Young Scientists anordnades i år av Förbundet Unga Forskare, i samarbete med Vetenskapsrådet och Kungliga Vetenskapsakademien. Det är första gången tävlingen äger rum i Sverige. Utställningen, av deltagare i åldern 14–21 år, presenterar projekt med anknytning till matematik naturvetenskap eller teknik. Den samlar pristagare från nationella utställningar av som under några dagar får visa sina projekt för besökare, inklusive skolklasser och deras lärare. Utöver Europeiska länder deltar även gäster från USA; Kina, Japan och Korea.

Kalligrafi kräver mycket övning – och mycket papper. En kinesisk gymnasist hittade ett sätt att använda nanoteknik för att få fram ett papper som gör det möjligt att skriva med vatten och som kan återanvändas hundratals gånger. Gammal konst möter ny teknik i ett av de 79 projekt som presenterades på Tekniska museet under EU Contest for Young Scientists.

Entusiastiska ungdomar, som brinner för sina projekt, berättar glatt om sina undersökningar, som fötts ur praktiska problem, lärares förslag, uppdrag för någon organisation, ideer från forskare eller kanske egen nyfikenhet sedan unga år. Oavsett projektens uppkomst hade utställarna verkligen gjort projekten till sina egna, genomfört undersökningar under lång tid, provat många olika datorprogram eller elektronikkonstruktioner.

Att tvinga avbryta fiske på grund av mörkrets inbrott kan inspirera till ett nattflöte med inbyggd lysdiod, som kan skicka en annorlunda signal när det nappat. Ett matematiskt Pentomino-problem kan med datorns hjälp utvecklas till flera olika versioner av brädspelet. En insikt om svårigheten med energiförsörjning på landsbygden i Kina kan leda till utvecklades till en förbättrad solfångare.

Någon anhörigs sjukdom kan leda till undersökningar av ämnesomsättningen i levern hos olika organismer eller studier av cancerceller. Ett uppdrag från Österrikes Röda Kors om ett instruktionsmaterial till defibrillator fick leda fram till utvecklingen av en förenklad EKG-utrustning, med tejp-elektroder som fästs på fingrarna för att väldigt snabbt kunna få en ljudsignal som representerar pulsen. Ett samarbete med forskare på Karolinska ledde till en metod att syntetisera ett par olika laktam.

Bland utställningarna fanns många olika slag av posters, från några som liknade informationsfattiga annonspelare till andra textfyllda utan bilder. De flesta var dock mycket inbjudande, ofta med andra hjälpmedel på bordet intill. Att under några timmar hinna se alla projekt är omöjligt. Som alla forskare vet kräver Poster-sessioner sin alldeles egna form av etikett. Ibland glömde ungdomarna i sin entusiasm att alla besökare kanske inte kunde riktigt lika mycket om deras ämne, kanske inte ens var biologer eller kemister. Våltreperade, engagerade 10-minuterspresentationen lät sig ibland svårligen avbrytas – och ibland smittade entusiasmen av sig för något man tidigare inte visste något om.

Lärardagar

Gymnasiets projektarbete ställer stora krav på lärares engagemang. Som stöd och inspiration bjöd Förbundet Unga Forskare på lärardagar i anslutning till utställningen. Ett 50-tal lärare besökte i mindre grupper ett antal projekt, reflekterade över vilka projekt som väckte speciellt intresse, och vilka kvaliteter som visades i projektet, och vilka faktorer som bidrog till ett gott intryck vid presentationen. En viktig diskussionspunkt var naturligtvis också om gymnasisterna på den egna skolan skulle kunna arbeta med

något liknande, kanske på en enklare nivå – Självklart kan inte alla gymnasieprojekt förväntas nå upp till nivån i dessa projekt som representerade pristagare i nationella utställningar, men utställningen visar ändå vad ungdomar kan göra.

I pauserna fanns tillfällen för lärare att prova olika experiment i Unga Forskares monter i entren. Deltagarna bjöds på exotisk lunch och fika i närbelägna Etnografiska museets restaurang.

Från redovisning till berättelse

Som avslutning på dagen talade Patric Hadenius, från Forskning och Framsteg, om hur elevernas roll under projektarbetet kan liknas vid journalistens. Lärarens roll blir då redaktionschefens: Att hjälpa och stödja under arbetet, kontrollera källor innan de används och att läsa texter under deras tillblivelse. När texten är färdig är det för sent. Han tog upp fyra viktiga delar av arbetet med att göra en populärvetenskaplig presentation: Välj, stryk, vänd och lägg till. I valet av det som skall presenteras ingår också att välja bort det som inte ska presenteras och att formulera en huvudtes för presentationen i form av en rubrik. För att skapa rubriker som snabbt fångar läsarens intress kan man gärna studera kvällspressens metoder, även om naturligtvis inte alla lämpar sig för projekt. Viktigt är också att inse att inte bara en redovisning utan även en berättelse måste vara relevant, korrekt, trovärdig och begriplig. Skrivande tar tid – denna tid måste finnas i planeringen.

Ytterligare inspiration

På tävlingens hemsida, <http://www.eucontest.se/> finns bl.a. sammanfattningar av alla projekt. Som alltid finns inspiration också att hämta på Förbundet Unga Forskares www-plats, <http://www.fuf.org/>

Ann-Marie.Pendrill@physics.gu.se



65-0695900

10 805:-

E/m PHYWE

För bestämning av e/m för elektroner samt för allmän undersökning av en elektronstråles avlänkning i magnetfält. Används tillsammans med helmholtzspolarna 65-0696000. Kolven innehåller argongas med lågt tryck. När elektroner passerar genom gasen sker en jonisation av atomer varvid ett blåaktigt ljus utsänds. Elektronstrålens väg blir därigenom synlig. I det homogena magnetfältet från Helmholtzspolarna kan strålen avlänkas så att den följer en cirkulär bana. med hjälp av den flouriserande mätskalan som visar avståndet från katoden med 4, 6, 8 och 10 cm.

För att bestämma e/m för elektroner behövs förutom Trådstråleröret följande utrustning:

65-0696000	Helmholtzspolar	8 102:-
65-1367293	Spänningsagg. (0-600V)	7 501:-
65-1350093	Spänningsagg. (universal)	6 215:-
65-0713400	Multimetrar (2 st)	483:-

65-1130188

4 253:-

Phywes Lutande plan med vals

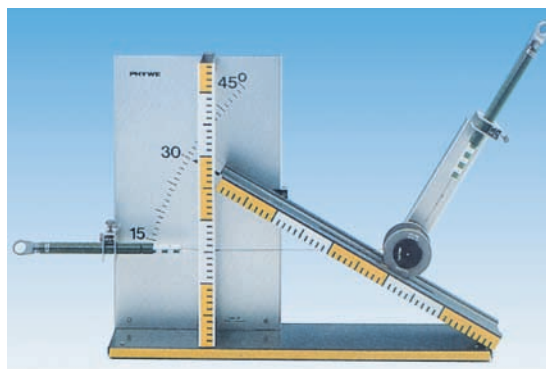
För att visa hur man håller en kropp i jämvikt på ett lutande plan. Två demonstrationslinjaler som är justerbara mellan 15-45° på vinkelskalan. Valsen är kraftobjektet dvs. krafterna som påverkar möts i tyngdpunktscentrum, inga moment. Tre dynamometrar kan infästas parallellt, vinkelrätt eller horisontellt mot det lutande planet.

Tillbehör:

65-0306002

Dynamometer, 2,5N

436:-



65-0905899

56 487:-

Röntgenutrustning PHYWE

Röntgenskåpet har ett stort utrymme för experimentuppställningar, ett genomskinligt acryl-fönster med blypartiklar. Säkerhetsbrytare är kopplad till dörren. Röntgenutrustningen är på 35 V med tre olika insater: Cu, Mo och Fe. Utrustningen kan användas från den enklaste genomlysning till mer kvalificerade försök såsom Braggdiffraktion och Compton spridning.

Passar utmärkt till Phywes COBRA mätsystem.

Tillbehör:

65-0905850	CU-insats	14 358:-
65-0905860	MO-insats	17 438:-
65-0905870	FE-insats	16 332:-
65-0905810	Goniometer	13 853:-

