

Aerosoler · Jakten på mörk materia · James Webb

Fysikaktuellt

SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET

NR 4 • DEC 2021



NOBELPRISET 2021

Ordning i kaos

ISSN 0283-9148

Svenska Fysikersamfundet

Fysikaktuellt ges ut av Svenska Fysikersamfundet som har till uppgift att främja undervisning och forskning inom fysiken och dess tillämpningar, att föra fysikens talan i kontakter med myndigheter och utbildningsansvariga instanser, att vara kontaktorgan mellan fysiker å ena sidan och näringsliv, massmedia och samhälle å andra sidan, samt att främja internationell samverkan inom fysiken.

Ordförande: Jonathan Weidow, jonathan.weidow@chalmers.se

Sekreterare: Joakim Cederkäll, joakim.cederkall@nuclear.lu.se

Skattmästare: Lage Hedin, lage.hedin@physics.uu.se

Adress: Svenska Fysikersamfundet, Institutionen för fysik och astronomi, Uppsala universitet, Box 516, 751 20 Uppsala

Bankgiro: 5402-5499

E-post: styrelsen@fysikersamfundet.se

För medlemsfrågor, kontakta Lage Hedin, 076-231 01 37 eller medlemsregistret@fysikersamfundet.se

Sektioner

Inom Fysikersamfundet finns ett antal sektioner som bland annat ordnar möten och konferenser, se www.fysikersamfundet.se för mer information.

Kosmos

Fysikersamfundet ger ut årsskriften Kosmos. Redaktör är Anders Kastberg.

Fysikaktuellt

Vår medlemstidning utkommer med fyra nummer per år, och distribueras även till alla gymnasieskolor med naturvetenskapligt eller tekniskt program.

Redaktion: Christina Kjellstrand, Måns Henningson, Johan Mauritsson, Anne-Sofie Mårtensson, Asta Pellinen Wannberg och Elisabeth Rachlew.

Ansvarig utgivare: Jonathan Weidow.

Kontakta redaktionen via: fysikaktuellt@fysikersamfundet.se

För insänt, ej beställt material ansvaras inte.

Manusstopp för Fysikaktuellt 1/2022 är 10 januari.

Medlemskap

Svenska Fysikersamfundet har ca 1 000 individuella medlemmar, stödjande medlemmar (företag och organisationer) och stödjande institutioner. Årsavgiften är 400 kr, dock 250 kr för pensionärer och forskarstuderande, samt 100 kr för grundutbildningsstudenter. Stödjande medlemskap debiteras 4 000 kr per år.

Bli medlem genom ansökan på: www.fysikersamfundet.se/bli-medlem/ eller med qr-koden.



Medlemsförmåner

- Fysikaktuellt 4 nummer/år
- KOSMOS
- 10 % rabatt på böcker hos Fri Tanke förlag. Ange koden "fysikersamfundet" i kassan på fritanke.se.
- Förmånsprenumeration på Forskning & Framsteg. Erbjudandet gäller 10 nr (20% rabatt). Länk till beställningssida: http://fof.prenservice.se/KodLandning/Index/?Internetkod=057-0571329

Layout: Christina Kjellstrand

Tryck: Trydells, Laholm 2021



OMSLAGSBILDEN: Ett åskmoln drar in. Komplexa system, som väder, är svåra att förutse lokalt – men med hjälp av de modeller årets nobelpristagare tagit fram kan vi beskriva dem på makronivå och därmed förstå hur till exempel vårt klimat förändras. Läs mer på sidan 6.

Foto: Pixabay

Stödjande medlemmar

- Glerups Utbildning AB www.glerups.se
- Scanditronix Magnet AB www.scanditronix-magnet.se
- Myfab, www.myfab.se

Stödjande institutioner

- Chalmers tekniska högskola – Institutionen för fysik
- Chalmers tekniska högskola – Institutionen för rymd och geovetenskap
- Chalmers tekniska högskola – Institutionen för mikroteknologi och nanovetenskap – MC2
- Göteborgs universitet – Institutionen för fysik
- Högskolan i Halmstad – IDE-sektionen
- Institutet för rymdfysik, Kiruna
- Karlstads universitet – Institutionen för ingenjörsvetenskap och fysik
- Kungliga tekniska högskolan – Institutionen för fysik
- Kungliga tekniska högskolan – Institutionen för tillämpad fysik
- Linköpings universitet – Institutionen för fysik, kemi och biologi (IFM)
- Linköpings universitet – Institutionen för naturvetenskap och teknik (ITN)
- Linnéuniversitetet – Institutionen för fysik och elektroteknik
- Luleå tekniska universitet – Institutionen för teknikvetenskap och matematik
- Lunds universitet – Fysiska institutionen
- Lunds universitet – Institutionen för astronomi och teoretisk fysik
- Nordita, Nordic Institute of Theoretical Physics
- Stockholms universitet – Fysikum
- Uppsala universitet – Institutionen för fysik och astronomi
- Umeå Universitet – Institutionen för fysik

Glöm inte att anmäla adressändring till medlemsregistret@fysikersamfundet.se

Innehåll

- 3 SIGNERAT Henning Zettergren
- 4 AKTUELLT
- 6 NOBELPRISET 2021 Komplexa system
- 10 RÖK SOM KYLER KLIMATET
- 12 KONST OCH FYSIK Speglar
- 14 AVHANDLINGEN Vanessa Zema letar efter mörk materia
- 16 INTERVJU Vanessa Zema
- 17 SÅ FUNKAR KALENDRAR
- 18 NÄR FEBRUARI HADE 30 DAGAR
- 20 JAMES WEBB Äntligen på väg mot rymden
- 24 SJUKHUSFYSIKER Ett yrke med lysande utsikter
- 27 RECENSIONER Brädspe
- 28 QUIZ Bubblande fysik i juletid
- 30 VARDAGENS FYSIK Höga och låga tryck



FOTO: PAOLO GORLA

Teoretiska förutsägelser av mängden materia i univesum stämmer inte med våra observationer. Det saknas helt enkelt massa. Vanessa Zema är en av de som letar efter den mörka materian. sidan 14

Tänkvärt från Fysikdagarna

Nordiska fysikdagarna gick av stapeln i somras och bjöd på ett mycket intressant och högkvalitativt program med en imponerande spännvidd av ämnen. Jag vill här passa på att påminna deltagarna om att de kan se, eller se om, föredragen i efterhand via mötets hemsida¹. Ett av dessa utmärkta föredrag hölls av Gina Rippon som är professor i kognitiv neurovetenskap vid Aston University (UK) och författare av boken "The gendered brain". I föredraget sammanfattar Rippon de senaste årtiondenas vetenskapliga rön från neurovetenskapliga studier av människors hjärnor². Dessa slår hål på föreställningen att det skulle finnas könsbaserade skillnader i hjärnstrukturer och funktioner, som ibland används som förklaring till varför det är så få kvinnor som väljer karriärer inom exempelvis teknik och naturvetenskap. Hjärnan är formbar och det är snarare så att det är omgivningens attityder och förväntningar som påverkar framtida yrkesval. Det är därför viktigt att skapa en kultur där alla ges möjlighet att identifiera sig med en viss yrkesroll.

Sverige är ett av de mest jämställda länderna sett till ekonomiska, politiska och sociala förutsättningar. Man skulle därför kunna tro att vi har en större andel kvinnor som väljer en karriär inom de naturvetenskapliga disciplinerna än man har i de länder som är betydligt lägre på jämställdhetsrankingen. Rippon uppmärksammar i sitt föredrag att det paradoxalt nog är tvärtom, kvinnor är mer underrepresenterade i de länder som rankas högst. Detta tillsammans med den mycket långsamma förändringen mot jämställdhet inom framförallt vår disciplin visar att det finns mycket kvar att göra. Om man exempelvis använder andelen kvinnor som är författare av vetenskapliga artiklar inom



"Omgivningens attityder och förväntningar påverkar framtida yrkesval."

fysik som ett mått på andelen kvinnor i fältet så kommer det i nuvarande takt ta 150 år innan vi har lika många kvinnor som män inom fysiken.

Så vad kan vi göra för att skynda på utvecklingen? Jag kan inte svara på den frågan, men har på senare tid försökt bilda mig en bättre uppfattning om hur jag kan bidra genom att följa seminarier och föredrag med experter i ämnet. Det har varit en ögonöppnare och något jag varmt kan rekommendera.

Henning Zettergren

HENNING ZETTERGREN
Ordförande för atom-, molekyl och optisk fysik-sektionen

1 De inspelade föredragen från Nordiska fysikdagarna 2021 finns tillgängliga på den virtuella mötesplattformen (www.nordic-physicsdays2021.se) för de som var anmälda som deltagare i konferensen.

2 Föreläsningar av Gina Rippon finns tillgängliga som TED-talk (www.ted.com) och på Youtube (sök på "Gina Rippon").

Ny föreståndare för Institutet för rymdfysik

Regeringen har utsett Olle Norberg till ny föreståndare för Institutet för rymdfysik (IRF) från och med 1 september 2021. IRF är en statlig myndighet under utbildningsdepartementet och arbetar med grundforskning och högre utbildning. Man har utfört rymdobservationer i den övre atmosfären och rymden genom mätningar från marken och med satelliter sedan grundandet 1957. Just nu studerar IRF:s mätinstrument jorden, solen, Mars, och månen. IRF har instrument på väg till Merkurius och snart även till Jupiter och tre av dess isiga månar.

Den nya chefen Olle är ett barn av rymdåldern. Han fick en astronautdräkt lik Neil Armstrongs till julklapp som 6-åring efter de första månlandningarna. Efter den naturvetenskapliga linjen i Kiruna studerade han Teknisk fysik på KTH.

Olle utförde sina doktorandstudier på IRF om partikelflöden från Mars, med examination vid Umeå universitet. Efter det har han varit projektledare för olika rymdprojekt, chef för Esrange Space Center, generaldirektör för Rymdstyrelsen och vice rektor för rymd vid Luleå tekniska universitet.

Grattis Olle till föreståndarskapet! Du har varit ute i världen och kommer nu hem till Kiruna med mycket rymderfarenhet i bagaget. IRF är internationellt sett ett mycket framgångsrikt forskningsinstitut. Hur tänker du vidareutveckla verksamheten?



FOTO: VIVEKA ÖSTERMAN



FOTO: PRIVAT

Då och nu. Olle Norberg, ny föreståndare för Institutet för rymdfysik (IRF), har länge varit fascinerad av rymden.

– IRF har stora möjligheter att samarbeta med både svenska och internationella rymdforskare, så det ser jag som en stor potential för framtiden. Det handlar om mycket intressant forskning om till exempel Jupiter, månen, kometer och andra objekt i solsystemet och hur de växelverkar med solvinden. Men vi kommer också att fortsätta vår forskning om vår egen planets atmosfär, jonosfär och till exempel rymdväder, bland annat med data från EISCAT. Så jag är verkligen glad över att ha fått förtroende att leda IRF framöver, det är jättekul att få återkomma till den verksamhet där jag började mitt arbetsliv och se att den utvecklats så bra. Jag anser att IRF har mycket goda möjligheter att fortsätta att vara ett världsledande rymdforskningsinstitut.

ASTA PELLINEN WANNBERG
Fysikaktuellt

Nominera till Oseenmedaljen 2022

Samfundets stödjande institutioner inbjuds härmed att nominera en avhandling som framlades under 2021. Förslagen skall vara inkomna senast den 31 januari.

Vinnare tilldelas Oseenmedaljen, ett diplom och en prissumma på 100 000 kr (prispengarna är från Stiftelsen Marcus och



Amalia Wallenbergs minnesfond). Avhandlingen och pristagaren presenteras dessutom i *Fysikaktuellt*.

Nomineringar skickas till:
Oseenmedaljen@fysikersamfundet.se.

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

Rätt fotograf

I förra numret av *Fysikaktuellt* (3/2021) angav vi fel fotograf till bilderna på sidorna 11 och 12. Fotona från Nordiska fysikdagarna och invigningen av den nya EPS Historical Site är tagna av Camilla Thulin vid Uppsala universitet, ingen annan.

Tema relativitet

Fysikersamfundets årsbok *Kosmos 2021* finns ute. Om du inte fått den med det här numret av *Fysikaktuellt* hittar du den på fysikersamfundet.se.

I år är det 100 år sedan Einstein tilldelades Nobelpriset och det är också 100 år sedan första numret av *Kosmos* kom ut. Detta firar vi genom att ha relativitetsteori som tema. Vi har denna gång försökt att betona de pedagogiska aspekterna.

I flera av de sex ingående artiklarna förklarar vi vad relativitetsteorin innebär, och vad det egentligen var Einstein och hans efterföljare sa. Vi har med en artikel som funderar över fenomenet att många fortfarande ifrågasätter relativitetsteorin, och ett par artiklar som med en viss historisk vinkling betraktar närmare Ivar Wailers och Roger Penroses bidrag till teorin.

Trevlig läsning!

ANDERS KASTBERG
redaktör för *Kosmos 2021*

Webbtipset

Norrskén på nätet

Med vintermörkret kommer också norrskenssäsongen. Prognoser för norrsken finns på flera ställen, bland annat www.aurora-service.eu/aurora-forecast som presenterar en tredagarsprognos baserad på data från NASA:s Advanced Composition Explorer, och www.swpc.noaa.gov/products/aurora-30-minute-forecast som har en karta med prognos.

Bor du långt söderut finns möjligheten att följa den norrländska natthimlen live, bland annat på www.youtube.com/c/AuroraBorealisLIVE/live (live från finska Lappland) och se.jokkmokk.jp/live från Jokkmokk.



FOTO: PIXABAY



WALLENBERGS FYSIKPRIS 2022

KVALIFICERINGSTÄVLING

27 januari på din skola

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

1:a pris 3 × 3 000 kr	4:e pris 3 × 1 500 kr
2:a pris 3 × 2 500 kr	5:e – 10:e pris 3 × 1 000 kr
3:e pris 3 × 2 000 kr	

Anmäl dig till din fysiklärare!

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

FYSIKVECKA, FINALTÄVLING & EuPhO

De 18 bästa i kvalificeringstävlingen får komma till en fysikvecka med föreläsningar, studiebesök och del av experimentell final 14–18 mars 2022 på Chalmers och Göteborgs universitet.

Som en del av finaltävlingen deltar finalisterna också i Nordic-Baltic Physics Olympiad i Tallinn 21–24 april 2022.

De fem bästa i kvalificeringstävlingen erbjuds delta i Europeiska fysikolympiaden (EuPhO) som arrangeras i Ljubljana 20–24 maj.

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

INTERNATIONELLA FYSIKOLYMPIADEN

Sommaren 2022

De fem bästa i finaltävlingen får göra en oförglömlig resa och representera Sverige vid den internationella fysikolympiaden.

Nästan 400 ungdomar från ungefär åttio länder tävlar i fysik under två dagar. Resten av veckan är fylld med utflykter, föredrag och möten med fysikintresserade från hela världen.

Kanske blir det du som får åka!



De hittade mönster i komplexa fenomen

Komplexa system kännetecknas av slump och oordning och är svåra att förstå. **Årets Nobelpris i fysik** handlar om nya metoder för att beskriva dem och kunna förutsäga deras långsiktiga beteende.

Ett komplext system av stor betydelse för mänskligheten är jordens klimat. Syukuro Manabe visade hur ökad koldioxidhalt i atmosfären ger upphov till högre temperatur på jordytan. Under 1960-talet ledde han utvecklingen av fysikaliska modeller för jordens klimat och var först med att utforska samspelet mellan strålningsbalansen och den vertikala transporten av luftmassor. På så sätt lade han grunden för utvecklingen av dagens klimatmodeller.

Ett tiotal år senare skapade Klaus Hasselmann en modell där han kopplade samman väder och klimat, och därmed besvarade frågan om varför klimatmodeller kan vara pålitliga trots att vädret är omväxlande och kaotiskt. Han utvecklade även metoder för att identifiera specifika signaler, fingeravtryck, som både

naturliga fenomen och mänskliga aktiviteter lämnar på klimatet. Hans metoder har använts för att påvisa att temperaturökningen i atmosfären beror på mänskliga utsläpp av koldioxid.

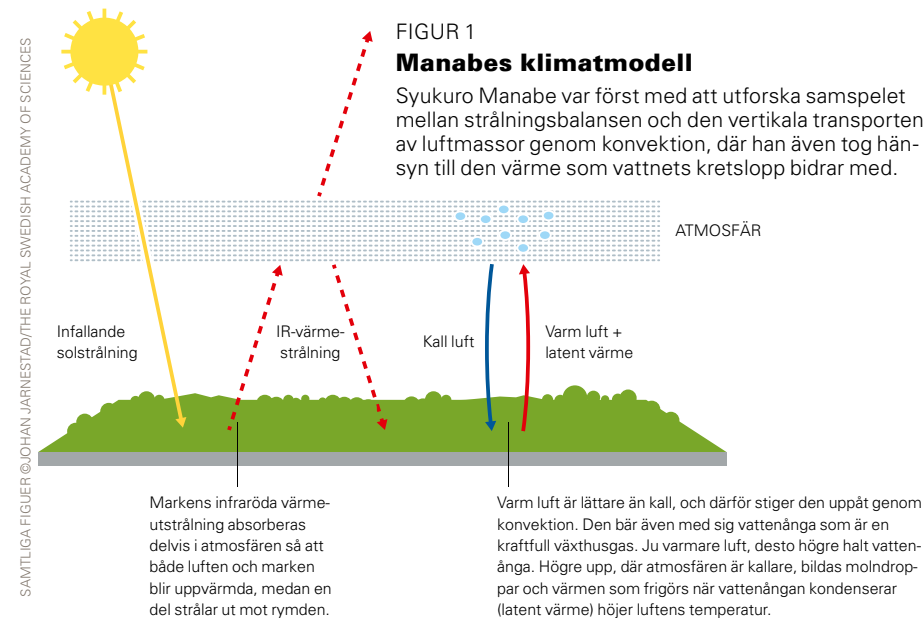
Omkring 1980 upptäckte Giorgio Parisi dolda mönster i oordnade komplexa material. Hans upptäckter hör till de viktigaste bidragen inom teorin för komplexa system. De gör det möjligt att på ett matematiskt precist sätt förstå och beskriva många olika och till synes helt slumpmässiga material och fenomen, inte bara inom fysiken utan också inom andra vitt skilda områden, som matematik, biologi, neurovetenskap och maskininlärning.

Atmosfären värms upp

För 200 år sedan studerade den franske fysikern Joseph Fourier energibalansen

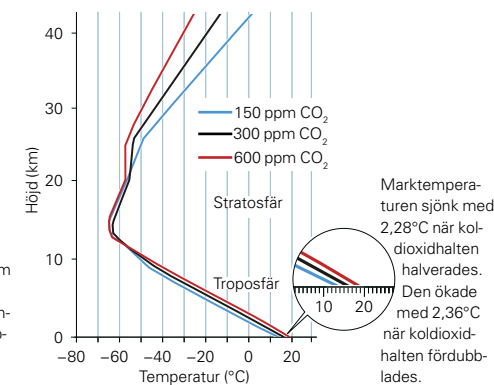
mellan solens strålar mot marken och markens utstrålning. Han förstod atmosfärens roll för denna balans då den infallande solstrålningen vid marken omvandlas till utgående strålning som absorberas i atmosfären och värmer upp den. Denna atmosfärens skyddande roll kallas i dag växthuseffekten. Namnet härrör från liknelsen med växthusets glasfönster som släpper igenom solens strålar men stänger värmen inne. Strålningsprocesserna i atmosfären är dock långt mer invecklade än så.

Dagens klimatmodeller är de mest kraftfulla verktygen för att förstå inte bara klimatet utan även den globala uppvärmning som vi människor står bakom. Klimatmodellerna utgår från vädrets beräknade statistiska egenskaper, som medelvärden, standardavvikelser eller



FIGUR 2
Koldioxid bakom uppvärmningen

Ökad koldioxidhalt ger högre temperatur i lägre atmosfären samtidigt som övre atmosfären blir kallare. På så sätt bekräftade Manabe att temperaturvariationen beror på ökad koldioxidhalt; hade den orsakats av ökad solstrålning borde hela atmosfären värmts upp.



högsta och lägsta uppmätta värden. De kan alltså inte tala om för oss exakt vad det blir för väder i Stockholm den 10 december nästa år, men vi kan få en uppfattning om vilken temperatur eller hur mycket regn vi i medeltal kan förvänta oss i december i Stockholm.

Koldioxidens roll fastställd

Växthuseffekten är en förutsättning för livet på jorden. Den styr temperaturen hos oss genom att växthusgaserna i atmosfären – koldioxid, metan, vattenånga och andra – först absorberar jordens infraröda utstrålning för att sedan frigöra den absorberade energin och värma upp luften runtomkring och marken under.

I själva verket utgör växthusgaserna en väldigt liten andel av jordens torra atmosfär som till allra största delen, 99 procent av volymen, består av kväve och syre. Koldioxiden upptar bara 0,04 procent. Hur mycket vattenånga, som är den kraftfullaste växthusgasen, atmosfären innehåller är starkt beroende av temperaturen, vilket leder till en återkopplingsmekanism. Med mer koldioxid blir luften varmare och kan innehålla mer vattenånga, vilket ökar växthuseffekten och atmosfären blir ännu varmare. Om koldioxidhalten minskar, kondenserar en del av vattenångan och temperaturen sjunker igen.

En viktig första pusselbit till förstå-

elsen för hur koldioxiden påverkar oss kom från den svenske forskaren och Nobelpristagaren Svante Arrhenius. Fysiken bakom växthuseffekten hade Arrhenius klar för sig redan i slutet av 1800-talet – den utsända strålningen är proportionell mot den strålade kroppens absoluta temperatur (T) upphöjd till fyra (T^4). Ju hetare strålningskällan är desto kortare är strålarnas våglängd. Solen, med en yttemperatur på 6000 grader Celsius, sänder ut mest strålar inom de synliga våglängderna. Jorden, med sina ynka 15 grader på ytan, återutsänder infraröd strålning som är osynlig för ögat. Om inte atmosfären fängade in denna värmestrålning skulle marktemperaturen knappast nå över -18 grader Celsius.

Modell för vertikal transport

Medan Arrhenius hade fokuserat på strålningsbalansen ledde Manabe under 1960-talet arbetet med att utveckla fysikaliska modeller som för första gången någonsin skulle ta hänsyn till den vertikala transporten av luftmassor i atmosfären genom konvektion, och även av vattenångans latent värme (fig. 1).

För att göra beräkningarna hanterbara valde han att reducera modellen till en dimension – en vertikal pelare 40 kilometer upp i atmosfären. Det tog ändå hundratals dyrbara datortimmar att testa modellen genom att variera halten gaser

i atmosfären. Syre och kväve hade försumbar inverkan på temperaturen, däremot gav koldioxiden tydliga avtryck: när koldioxidhalten fördubblades ökade den globala medeltemperaturen med drygt 2 grader Celsius (fig. 2).

Vädret är kaotiskt

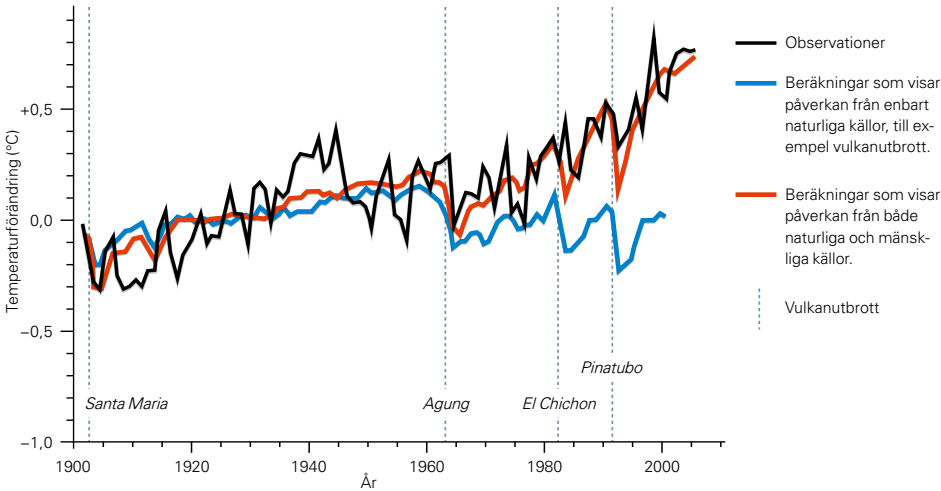
Drygt tio år efter Manabe lyckades Klaus Hasselmann koppla ihop väder och klimat genom att hitta ett sätt att överlista de förberäkningar så besvärliga kaotiska och snabba väderväxlingarna.

Att vi har så starkt skiftande väder på vårt klot beror på att solinstrålningen är ojämnt fördelad, både geografiskt och över tid. Jorden är rund, så färre solstrålar når de höga breddgraderna än de låga, runtom ekvatorn. Dessutom lutar jordaxeln vilket leder till att instrålningen varierar med årstiderna. Skillnader i densitet mellan den varmare och kallare luften ligger bakom de kolossala värmetransporterna mellan olika breddgrader, mellan hav och land, mellan lägre och högre luftmassor, som driver vädret på vår planet.

Som bekant är det svårt att göra pålitliga förutsägelser om väder för mer än tio dagar fram i tiden. För tvåhundra år sedan hävdade den franske vetenskapsgiganten Pierre-Simon de Laplace att om man bara kände till positionen och hastigheten hos alla partiklar i universum så skulle det vara möjligt att både räkna ut vad som har

FIGUR 3
Identifierar fingeravtryck

Klaus Hasselmann utvecklade metoder att skilja mellan naturliga och mänskliga orsaker (fingeravtryck) till uppvärmningen av atmosfären. Jämförelse mellan globala förändringar i medeltemperatur i förhållande till genomsnittet 1901–1950 (°C).



► hänt och vad som kommer att hända i vår värld. I princip borde det stämma – de tre sekler gamla Newtons rörelselagar som också beskriver lufttransporten i atmosfären är helt deterministiska, de styrs inte av slumpen.

Inget kan dock vara felaktigare när det gäller vädret. Det beror dels på att det i praktiken är omöjligt att tillräckligt exakt och i varje punkt i atmosfären ange luftens temperatur, tryck, fuktighet eller vindförhållanden. Dels är ekvationerna ickelinjära – små avvikelser i begynnelsevärden kan få vädersystemet att utvecklas åt helt olika håll. Med frågan – kan en fjärils vingslag i Brasilien orsaka en orkan i Texas? – döptes fenomenet till fjärilseffekten. Det innebär att det i praktiken är omöjligt att göra långsiktiga väderprognoser – vädret är kaotiskt.

Att få ordning på brusiga data

Att få fram en klimatmodell ur brusiga väderdata kan illustreras med en hundpromenad: hunden springer lös, kors och tvärs, fram och tillbaka runt dina ben. Hur ska man utifrån hundens spår se om du står stilla eller går? Och går du långsamt eller snabbt?

Hundens spår – det är vädersvängningarna, din promenad är det beräknade klimatet. Kan man då sluta sig till

klimatets långsiktiga utveckling från det kaotiska väderbruset? Hasselmann skapade en stokastisk klimatmodell, vilket innebär att slumpen finns inbyggd i modellen. Inspirationen hämtade han från Albert Einsteins teori för brownsk rörelse, också kallad slumpvandring. Med hjälp av teorin visade Hasselmann att den snabbt varierande atmosfären faktiskt kan orsaka långsamma variationer i haven.

Urskiljer spår av människan

När modellen för naturliga klimatvariationer var klar utvecklade Hasselmann metoder för att identifiera människans avtryck i klimatsystemet. Han fann att modellerna, tillsammans med observationer och teoretiska övervägningar, innehåller tillräcklig information om egenskaper hos både brus och signaler. Till exempel lämnar förändringar i solinstrålningen, vulkaniska partiklar eller halten växthusgaser unika signaler, fingeravtryck, som kan urskiljas. Metoden att identifiera fingeravtrycken kan även tillämpas på mänskliga avtryck (fig. 3). På så sätt stakade Hasselman ut vägen för vidare studier av klimatförändringar som påvisade spår av människans påverkan på klimatet i en stor mängd oberoende observationer och modeller.

Klimatmodellerna har blivit alltmer

förfinade i takt med att de olika processer som ingår i klimatets komplicerade samspel blir noggrannare kartlagda, inte minst genom mätningar och väderobservationer med satelliter. Modellerna visar tydligt på en skenande växthuseffekt. Sedan mitten av 1800-talet har halten koldioxid i luften ökat med 40 procent. Så mycket koldioxid har det inte funnits i jordatmosfären på hundratusentals år. Följaktligen visar temperaturmätningarna att världen har blivit 1 grad varmare på 150 år.

Syukuro Manabe och Klaus Hasselmann har bidragit till mänsklighetens största nytta, i Alfred Nobels anda, genom att sätta våra kunskaper om jordens klimat på fast fysikalisk grund. Vi kommer aldrig mer att kunna säga att vi inget visste – klimatmodellerna lämnar klara besked. Håller jorden på att värmas upp? Ja. Är det ökad mängd växthusgaser i atmosfären som är orsaken? Ja. Kan detta förklaras med bara naturliga faktorer? Nej. Är det människans utsläpp som är anledningen till den allt högre temperaturen? Ja.

Metoder för oordnade system

Runt 1980 presenterade Giorgio Parisi sina upptäckter av hur till synes slumpmässiga fenomen styrs av dolda regler. Dessa arbeten anses i dag vara några av de viktigaste bidragen till teorin om komplexa system.

Parisis arbete rörde en speciell typ av metallegeringar kallad spinnglas, där till exempel järnatomer är slumpmässigt inblandade i ett gitter av kopparatomer (du kan läsa mer om spinnglas i *Fysikaktuellt* nr 1/2021). Fastän järnatomerna är få ändrar de materialets magnetiska egenskaper på ett radikalt och mycket förbryllande sätt. Varje järnatom beter sig som en liten magnet, eller ett spinn, som påverkas av de andra järnatomerna i dess närhet. I en vanlig magnet pekar alla spinnen i samma riktning, men i ett spinnglas är de frustrerade: vissa par av spinn vill peka åt samma håll och andra åt motsatt håll (fig. 4). Så hur hittar då spinnen en optimal riktning?

Att studera spinnglasen är som att bevittna de mänskliga tragedierna i

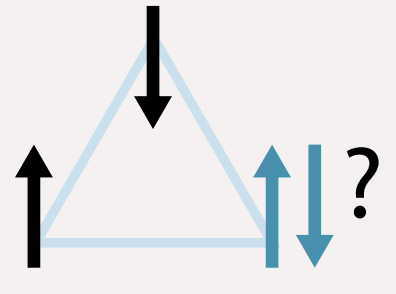
Shakespeares dramer, skriver Parisi i inledningen till sin bok om spinnglas. Om du vill bli vän med två personer samtidigt, medan de hatar varandra, kan det bli frustrerande. Än svårare blir det i en klassisk tragedi, med starka känslor då många vänner och fiender möts på scenen samtidigt. Hur kan då spänningen i rummet minimeras?

Många fysiker, inklusive flera Nobelpristagare, sökte på 1970-talet efter ett sätt att beskriva de gåtfulla spinnglasen. En metod som användes, den så kallade replikatekniken, var ett matematiskt trick där många kopior, replikor, av systemet behandlas på samma gång. Men de ursprungliga beräkningarna gav fysikaliskt orimliga resultat.

År 1979 visade Parisi hur replikatekniken på ett intrikat sätt kunde användas för att lösa ett spinnglasproblem. Han upptäckte en dold struktur hos replikorna, och fann ett sätt att beskriva den matematiskt. Det tog åtskilliga år innan Parisis lösning till slut kunde visas vara matematiskt kor-

FIGUR 4
Frustration

När ett spinn riktas uppåt och det andra neråt, kan inte det tredje tillfredsställa båda samtidigt, eftersom närliggande spinn vill peka åt olika håll.



rekt. Hans metod har sedan använts på en rad oordnade system och blivit en hörnsten inom teorin för komplexa system.

Frukterna av frustration är vitt spridda

Parisi har också studerat många andra fenomen där slumpmässiga processer spelar

en avgörande roll och behandlat frågor som: Varför har vi periodiskt återkommande istider? Finns det en mer allmän matematisk beskrivning av kaotiska och turbulenta system? Eller – hur uppkommer mönstren i en flock av tusentals starrar i flykt?

Frågan kan tyckas väldigt långt ifrån spinnglas. Men, har Parisi sagt, det mesta i min forskning har handlat om hur enkla beteenden ger upphov till komplexa kollektiva beteenden och detta gäller såväl spinnglas som starrar.

JOANNA ROSE
vetenskapsjournalist och författare
Texten är en bearbetad version
© Kungl. Vetenskapsakademien

Läs mer

För mer detaljer och referenser, se den vetenskapliga bakgrunden för årets pris på www.nobelprize.org/prizes/physics/2021/advanced-information.

Läs mer om hur vulkanutbrott och bränder påverkar klimatmodellerna på nästa sida.



HAR DU ELEVER SOM VILL LÄSA FYSIK 3?

Göteborgs universitet erbjuder gymnasiekursen varje vårtermin. Kursen går både på plats i Göteborg och på distans, med några tillfällen laborationer på campus Johanneberg i Göteborg. Detta upplägg gör det möjligt för många elever i Sverige att läsa kursen. Välkommen med en anmälan!

INSTITUTIONEN FÖR FYSIK

Läs mer och anmäl här:



<https://direc.to/hVKQ>

Rök som kyler klimatet

Skogsbränder och vulkanutbrott kan bilda enorma moln som likt gigantiska skorstenar pumpar **partiklar och partikelbildande gaser** till stratosfären, där partiklarna kan stanna kvar i årtal. Men medan bränderna antas bli fler och större med ökande temperaturer på jorden, kan brandrök i stratosfären ha en kylande effekt – något som gör klimatmodellernas prognoser osäkrare.

Skogsbrand i USA 2017.

FOTO: FOREST SERVICE, USDA

luften finns mikroskopiskt små luftburna partiklar – så kallade aerosolpartiklar. Deras sammansättning och storlek varierar kraftigt beroende på deras källor. Aerosolpartiklar kan bildas från gaser eller släppas ut direkt som flytande eller fasta partiklar.

Aerosolpartiklar påverkar klimatet på flera sätt. Deras klimatpåverkan brukar delas in i direkta effekter, som spridning och absorption av solljus, och indirekta effekter från påverkan på molnighet och molns förmåga att reflektera solstrålning. Aerosolpartiklar utgör en av de största osäkerheterna i klimatmodellernas prognoser över framtidens klimat.

Stratosfären och klimatkylning

Stratosfären är den del av atmosfären som sträcker sig från cirka 10 till 50 km höjd. Denna luftmassa karaktäriseras av väldigt begränsad vertikal transport, vilket leder till att små partiklar eller gaser som hamnar där stannar kvar under lång tid.

I stratosfären kan små partiklar stanna kvar i luften under månader eller år, medan partiklar längre ner i atmosfären bara finns kvar under någon dag eller



1991 exploderade vulkanen Mount Pinatubo på Filippinerna.

FOTO: DAVID HARLOW/USGS

vecka. Eftersom stratosfärspartiklarna finns kvar i atmosfären längre hinner de sprida och absorbera mer solljus än partiklar längre ner i atmosfären. Detta leder till en mer långvarig minskning av solinstrålningen till jordytan och en klimatkylning.

Junge-lagret

Under 1960-talet hittade Christian Junge ett lager av partiklar i stratosfären, som ofta kallas Junge-lagret. Partiklarna visade sig bestå av främst svavelsyra och vatten, och härstamma från svavelhaltiga gaser. Trots att stora mängder svaveldioxid släpps ut vid förbränning av kol

och olja tyder både mätningar och modellberäkningar på att människan har ett försumbart bidrag till mängden partiklar i stratosfären. Nederbörd tvättar nämligen bort både svaveldioxid och partiklar från luften, och de har därför svårt att överleva transporten från jordytan till stratosfären.

Vulkanism

Det har länge varit känt att vulkaniska partiklar i stratosfären kan ge en kraftig temperatursänkning på jordytan. Benjamin Franklin föreslog detta redan på 1780-talet då han kopplade samman ovanligt kalla år och väldigt röda solnedgångar med ljusspridande partiklar från den isländska vulkanen Laki.

Det senaste riktigt stora utbrottet skedde 1991 då vulkanen Mount Pinatubo exploderade. Vulkanen bildade ett enormt moln som pumpade askpartiklar och svaveldioxid till stratosfären, upp till 25–30 km höjd. Avkylningen från partiklarna sänkte jordens medeltemperatur med mer än en halv grad Celsius under kommande år. Efter Pinatubos utbrott har det skett ett tiotal mindre utbrott som tillsammans bedöms ha bidragit med

tillräcklig mängd partiklar för att ge betydande klimatkylning.

Partiklar, klimat, och klimatmodellering

Projektioner av framtidens klimat kompliceras av naturlig klimatvariation. Under början av 2000-talet ökade temperaturen långsammare än vad modellerna förutspått. Växthusgaskoncentrationerna ökade under denna period och av vissa tolkades den "långsamma" temperaturökningen som ett tecken på att klimatet var mindre känsligt för koldioxid-emissioner än vad forskningen pekat på. Skälet var emellertid att naturliga klimatvariationer fördröjde uppvärmningen. En av dessa var en ökning av mängden vulkaniska partiklar i stratosfären, en faktor som ännu inte var inkluderad i klimatmodellerna.

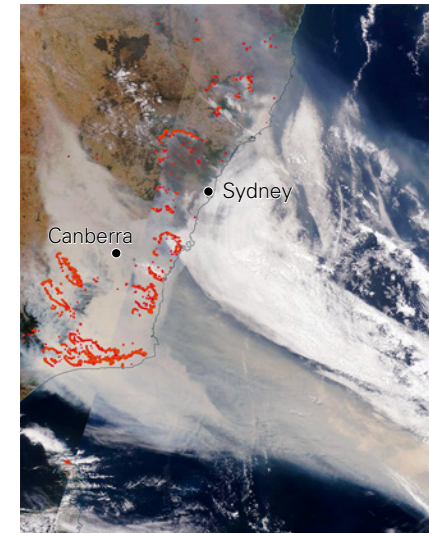
Under 2005–2011 skedde en rad vulkanutbrott som nådde stratosfären. De bildade sulfatpartiklarna blockerade en del av solljuset från att nå jordytan och kylde klimatet. Idag finns stratosfärens aerosolpartiklar representerade i klimatmodellerna som ligger till grund för rapporter från FNs klimatpanel IPCC.

Senaste årens bränder

Klimatförändringarna kan bidra till att skogsbränder blir vanligare och mer intensiva. Data över de senaste 2000 åren tyder på att skogsbränder blir vanligare under varmare och torrare perioder, och de två största tillfällena med stratosfärspåverkan från brandrök har skett under de senaste fyra åren.

I augusti 2017 skapade skogsbränder i västra USA enorma moln som pumpade brandrök till stratosfären. De täta rökmolnen värmdes genom absorbering av solljus, steg upp till 23 km höjd och spreds snabbt runt norra halvklotet. Röken beräknas utgöra en klimatkylning i paritet med några av de senaste 25 årens större vulkanutbrott. Denna brands påverkan på stratosfären var exceptionell, en magnitud större än tidigare dokumenterade bränders, men bleknar ändå i jämförelse med de bränder som snart skulle starta på södra halvklotet.

Under 2019 hade Australien en ovanligt torr och varm vår och sommar (sep-



Satellitfoto över östra Australien, 1 januari 2020. De röda prickarna visar bränder. Röken har spridits ut över havet.

FOTO: NASA/EOSD/MIAP/DVIEW

tember–december). Den 29:e december bildades minst 38 enorma molntorn i östra Australien. Satellitmätningar med LIDAR visade täta rökmoln i stratosfären, som sträckte sig upp till 17 km höjd. Delar av röken steg till mer än 30 km höjd under de kommande månaderna och spreds horisontellt över hela södra halvklotet. Studier indikerar att miljoner ton rökpartiklar transporterades in i stratosfären.

Under ett års tid observerades en tydlig höjning av mängden partiklar i stratosfären, partiklar som minskade solinstrålningen och kylde jordens klimat. Under våren 2020, ett drygt halvår efter den australiensiska branden, uppmättes dessutom ett ovanligt stort ozonhål över Antarktis, vilket tyder på att brandröken påverkat stratosfärens ozonlager.

Bränder, ozon, och klimat

Brandrökspartiklar består av sot och organiska föreningar och skiljer sig därför kemiskt från de vulkaniska (svavelsyra och vatten). Rökpartiklar kan därför ha annorlunda påverkan på stratosfärens kemi och strålningsbalans (klimatkylning).

Organiska aerosolpartiklar bryts ner genom oxidation och evaporation. Ozon utgör ett oxidationsmedel och oxidation av organiska partiklar kan därför leda till minskning av stratosfärens ozonkoncentration. Ytterligare ozonnedbryt-

ning sker om rökpartiklar samverkar vid bildning av så kallade pärlemormoln i de kalla polarområdena (vid under -87°C). Molnen spelar en avgörande roll för ozonnedbrytning via freoner och andra ozonnedbrytande ämnen som vi människor släppt ut i luften. Ämnena måste nämligen aktiveras kemiskt för att kunna bli reaktiva och bryta ner ozon, vilket sker på partiklars ytor, såsom molnpartiklar i pärlemormoln, vulkaniska partiklar eller brandrökspartiklar. Brandrök kan alltså förstöra ozon på flera sätt.

Trots att det är drygt 60 år sedan Junge-lagret upptäcktes vet vi inte med säkerhet hur stor påverkan stratosfärspartiklar från bränder och vulkaner har på klimatet och ozonlagret. Det råder fortfarande osäkerhet kring hur mycket partikulärt material som finns i stratosfären. Störst är osäkerheten i stratosfärens lägsta del (under cirka 15 km höjd). Detta leder i sin tur till osäkerhet i våra prognoser av framtidens klimat. Forskare inom stratosfärsaerosol samarbetar för att skapa bättre och mer realistiska dataset och modellsimuleringar. Fokus har fram tills nyligen legat på vulkanism.

När jag i juli 2021 skriver dessa rader är Nordamerikanska västkusten och delar av Sibirien hårt drabbat av massiva skogsbränder och i satellitdata ser jag återigen rökmoln i stratosfären. De senaste årens stora bränder tyder på att klimatförändringar kommer att leda till att brandrök blir en vanligare komponent i stratosfären. Kanske kommer rökpartiklarna att leda till ökad osäkerhet i klimatmodellerna och betydande ozonnedbrytning.

JOHAN FRIBERG

Fysiska institutionen, Lunds universitet



Rökmoln stiger upp från bränder utanför australiensiska Yanderra i december 2019.

Detta är den tredje av fyra artiklar med vinjetten **konst och fysik**. I den här artikeln fokuserar vi på speglar och speglingar i konsten.



Élisabeth Louise Vigée Le Brun (1755–1842), *Looking in a Mirror*. Metropolitan Museum of Art, New York.



Édouarde Manet (1832–1883), *A Bar at the Folies-Bergère*. Courtauld Gallery, London.

Konsten att spegla fysik

*Nu se vi ju på ett dunkelt sätt,
såsom i en spegel,
men då skola vi se ansikte mot ansikte.*

Bibeln (1917 års översättning),
1 Korinthierbrevet 13:12.

Venuseffekten

Speglarna på Bibels tid kunde vara polerade metallskivor av silver eller brons, men bildskärpan var ofta ”dunkel”. I början av 1500-talet kom de första moderna speglarna täckta av amalgam, bestående av bly och kvicksilver. Den metoden dominerade fram till 1800-talet och det är sådana speglar som avbildas i många konstverk.

Särskilt populärt var det att från sidan visa en person som betraktar sig själv i en spegel. Men den personen ser inte sitt eget ansikte utan ser konstnären – tvärt emot vad många tror. Om en tänkt ljusstråle kan gå från motivets öga via spegeln till

betraktarens öga kan den också gå motsatt väg. Man talar om ”Venuseffekten”, eftersom motivet mycket ofta var just Venus. I en målning av den franska konstnären Élisabeth Louise Vigée Le Brun, som visar dottern Julie, är effekten mycket suggestiv.

Är perspektivet rätt?

En av konstvärldens mest förbryllande och diskuterade målningar med speglar är *A Bar at the Folies-Bergère* från 1882, av den franske konstnären Édouarde Manet. Den visar en bardisk framför en spegel, med en stor salong fylld med åskådare bakom betraktarens rygg. Man har menat att spegelbilden av till exempel flaskorna nere till vänster och av servitrisens rygg omöjligt kan vara fysikaliskt riktiga.

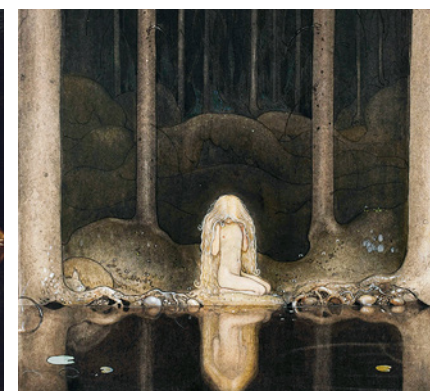
Tavlan, som är Manets sista stora verk, färdigställdes i hans ateljé där han lät bygga upp en bardisk som på bilden. Att tavlan återger det sanna förhållandet blev

inte helt klarlagt förrän 2001 i en doktorsavhandling från Australien. Man utgår vanligen från att betraktaren står mitt framför bardisken och mitt emot servitrisen. I själva verket återger tavlan det man ser från en punkt framför och till höger om bardisken. Tänk dig att du står där. Då blir bilden av flaskor och servitris naturliga.

Speglingar i vatten

På 1500-talet och flera århundraden framåt hämtade konstnärerna ofta sina motiv från antikens mytologi och gudavärld. Narkissos var en yngling som blev så förälskad i sin egen spegelbild i en vattenkälla att han förtvinade och dog. På platsen växte sedan upp en pingstlilja – *Narcissus poeticus*. Michelangelo Merisi da Caravaggio är en av flera som har återgett motivet.

För att man skall få en tydlig spegelbild



TILL VÄNSTER: Michelangelo Merisi da Caravaggio (1571–1610). *Narciso*, Galleria Nazionale d'Arte Antica, Rom. **MITTEN:** John Bauer (1882–1918), *Ännu sitter Tuvstarr kvar och ser ner i vattnet*. Malmö konstmuseum. **TILL HÖGER:** Jan van der Heyden (1637–1712), *View of the Westerkerk* (utsnitt). National Gallery, London.

när man tittar rakt ner mot vattnet måste botten vara mörk, annars dräcks spegelbilden i vattenytan av ljuset från botten. Vid snett infall, som i John Bauers akvarell, växer reflexionsförmågan kraftigt.

Mer om perspektiv

När man betraktar en tavla med något som speglar sig i vatten är det intressant att fundera på om speglingarna är korrekt återgivna. Här ovan ser du ett utsnitt från en tavla av den holländske konstnären Jan van der Heyden.

Man kan ibland se motivet såväl speglat som direkt (A i bilden). I andra fall kan man bara se motivet direkt, medan den tänkta spegelbilden är blockerad av något (B i bilden). Eller så kan man se en spegelbild av något som är blockerat för den direkta blicken (C i bilden). I det senare fallet kan man tänka på vad man skulle se från den plats på vattenytan där detaljen speglas. Titta också på personerna mitt i bilden. De verkar stå för långt in från kanalkanten för att kunna speglas. Men varför ser man inte huvudet på mannen till höger, speglat som en svart prick mot den vita porten? Kanske är detta att ställa för höga detaljkrav. Dessutom rörde sig personerna i tavlan och de kan ha tillkommit i en ateljé långt senare.

Vänster blir höger

En vanlig fråga i samband med hallspeglar är varför vänster blir höger när man speglar sig, men upp blir inte ner. Svaret är naturligtvis att begreppen vänster och höger kräver att man preciserar en riktning. Det är inte vänster och höger som kastas om utan

framåt (framför) och bakåt (bakom). Ibland är det naturligt vad som räknas som framåt, till exempel för en människa, ett fordon eller en skruv. För en dörr i ett rum beror det på om man är på väg ut eller in.

Många konstnärer målar självporträtt. Enda sättet för dem att göra en realistisk bild är att de betraktar sig i en spegel. Då måste de ta hänsyn till att ansiktet kanske inte är fullständigt symmetriskt. Om de avbildar sig med målarpenslar i handen får de inte göra högerhänthet till vänsterhänthet.

I samband med vänster och höger kan man knappast låta bli att nämna Leonardo da Vinci, som skrev spegelvänt. Det är inte alldeles enkelt att läsa vad som står här nedan. Men läs texten i en spegel, så blir den mycket tydlig.

Leonardo da Vinci
skrev spegelvänt

Speglar i krökta ytor

Redan på 1500-talet kunde man göra konvexa spegelytor. De blev populära och konstnärer visade sin skicklighet att måla realistiska bilder på dem. I ett speglande klot (till exempel julgranskula) kan man se nästan 180 grader av omgivningen, som i ovanstående litografi från 1935 av holländaren M. C. Escher.

Krökta ytor ger också förvrängda bilder, välkänt från skrattspeglar på nöjes-



Johannes Gump (1626–?), *Självporträtt*, Uffizi, Florens.



M. C. Escher (1898–1972), *Självporträtt i sfärisk spegel*.

fält och vetenskapsmuseer.

En sådan spegel i jätteformat finns i Chicago; sök på Internet på Anish Kapoor (1954–), *Cloud Gate* (”The bean”). Ett liknande, men mycket mindre, verk står i en rondell i Tibro:

Claes Hake (1945–), *Clouds and Flower. ”Äpplet” (Geniezeit)* framför fysikinstitutionens byggnad Origo på Chalmers campus är ytterligare ett exempel, se foto i *Fysikaktuellt* nr 2 2021.

Slutord

Speglar och speglingar har sedan 1500-talet ofta ingått i konstverk – antingen som ett huvudinslag i sig eller som en liten men inte oviktig detalj. Varje gång jag ser tavlor med speglar eller med reflektioner i en vattenyta kan jag inte låta bli att tänka på om de är helt realistiska. Påfallande ofta är så inte fallet, men de flesta betraktare lägger nog inte märke till det. Och konstnärer har alltid frihet att tolka vad de ser på sitt eget sätt.

GÖRAN GRIMVALL
professor emeritus i teoretisk fysik, KTH

Läs mer

Malcolm Park, *Ambiguity, and the Engagement of Spatial Illusion Within the Surface of Manet's Paintings*, doktorsavhandling, University of New South Wales, 2001.

AVHANDLINGEN

Allt ljus på mörk materia

Om du när du tittar på himlen frågar dig själv vad som döljer sig där, och känner en djup önskan att ta reda på mer om det, då vet du redan vad som driver tusentals forskare världen över att leta efter mörk materia. En av dem är **Vanessa Zema**.

Det finns många mekanismer i universum som vi ännu inte förstår. Problemet med den *saknade massan* i universum är en av de mest utmanande frågorna i modern fysik. Det uppkom för nästan ett sekel sedan, som en avvikelse mellan teoretiska förutsägelser och observationer av mängden materia i galaxer och galaxhopar. Data visade att förutom materia som avger elektromagnetisk strålning, alltså lysande materia, finns det i galaktiska system en stor andel graviterande mörk materia.

Intresset för denna avvikelse ökade under årens lopp, framför allt efter att kosmologiska observationer hade bekräftat att sådan osynlig materia inte bara behövs för att förklara de strukturer som vi ser i universum idag, utan även att denna materia är *icke-baryonisk*, vilket betyder att dess natur är okänd och olik de former av materia som vi känner till. Man har funnit att den mörka materien är mer än fem gånger så vanlig som den lysande materien. Den utgör ungefär 26 % av universums innehåll, medan återstoden består av 4 % baryonisk materia och resterande 70 % betecknas som "mörk energi" – ytterligare en okänd komponent i universum. Den mörka materien kan utgöras av det som kallas *MAcroscopic Compact Halo Objects* (MACHOs) eller partiklar. Den kan också vara en ledtråd för en ny teori för gravitation, vilket skulle förklara de anomalier i gravitationen som vi har hänfört till mörk materia.

Odetekterade partiklar

Under min forskarutbildning undersökte jag hypotesen att den mörka materien består av hittills odetekterade partiklar, som alltså inte ingår bland de redan kända

Genom att kombinera teoretiska och experimentella undersökningar fokuserade jag på fenomenologin för spridning av mörk materia mot atomkärnor. Anledningen till att jag valde det området är att det under de senaste decennierna har gjorts enorma ansträngningar för att utveckla ny teknik inom direkt detektering av mörk materia. Detta har möjliggjort utforskandet av en större del av parameterrummet för modeller för mörk materia, och de nya teknikerna har kunnat tjäna som kontroll av resultat som har erhållits med andra metoder. Men en stor del av parameterrummet relaterat till lätta partiklar av mörk materia är fortfarande utforskat, eftersom det kräver ännu känsligare detektorer.

Det finns även en olöst motsättning mellan resultaten från direktdetektionsexperimentet DAMA/LIBRA och alla andra experiment. DAMA/LIBRA har observerat en årlig modulering av frekvensen av detekterade händelser som överensstämmer med egenskaperna för en signal från mörk materia, men inget av de andra experimenten rapporterar något tecken på en signal från mörk materia över den förväntade bakgrunden. De här två intressanta, öppna frågorna motiverade min forskning.

Effektiv fältteori

Som ett första projekt studerade jag egenskaperna för den förväntade årliga modulerade signalen, och dess beroende på typen av växelverkan mellan mörk materia och atomkärnan. Metoden, som kallas för *effektiv fältteori* och allmänt används inom partikelfysik, tillämpades för cirka tio år sedan på fenomenologin för direkt detektering av mörk materia för att undersöka alla tänkbara typer av växelverkan mellan mörk materia och atomkärnor. Den öppnade vägen för att skilja mellan olika växelverkningar genom att jämföra förväntade energispektra med experimentella data.

Vi utvidgade användningen av metoden till studier av den årliga moduleringen av händelsefrekvensen för att fastslå hur parametrarna för den årliga moduleringen beror

Del av CRESST-kryostaten, bestående av en kopparhållare med detektormoduler.



netisk dipol har den årliga moduleringen samma egenskaper för alla olika strålmål.

Det första projektet övergick naturligt i ett andra, en fenomenologisk studie av sökandet efter den årliga moduleringen i CRESST-experimentet. Under de senaste åren har CRESST, precis som många andra experiment med låg detektionströskel, detekterat ett överskott av händelser vid låga energier. Tolkningen av dessa överskottshändelser som signaler från mörk materia är högst osannolik och de har därför hänförs till en oidentifierad bakgrundskälla. De senaste tre årens detektorutveckling och datainsamling har ägnats åt att identifiera denna bakgrund, som begränsar sökandet efter mörk materia.

För detta andra projekt använde vi Monte Carlo-simuleringar för att fastslå om en tidsberoende analys skulle vara av värde om överskottet av händelser inte kan förkastas. Vi simulerade en signal från mörk materia och en bakgrunds nivå som liknade den från CRESST. Med statistisk analys skilde vi sedan signalen från bakgrunden, en statistisk fråga som brukar kallas för "problemet att upptäcka en signal".

Vi fann att under de gjorda antagandena skulle en tidsberoende analys inte förbättra möjligheten att skilja signalen från bakgrunden. Vi använde sedan liknande metoder för att besvara frågan om en tidsberoende signal skulle förbättra möjligheten att välja mellan olika modeller, om man antog att en signal från mörk materia skulle upptäckas. Vi betraktade två teoretiska modeller: den vanliga med koherent spridning med spinberoende växelverkan, och kopplingen baserad på mörk materia med en magnetisk dipol. Vi fann att en tidsberoende analys skulle besvara frågan "Vilken är den mest sannolika mörka materiemodellen?" snabbare än en analys som bara bygger på energispektrumet.

Varför olika resultat?

Som nämnts tidigare motiveras sökandet efter en årlig modulation även av resultatet från DAMA/LIBRA, som hittills inte har bekräftats men inte heller definitivt vederlagts av något annat experiment. Att reproducera de resultaten är drivkraften bakom många nya experiment, som utvecklar tekniker för att använda samma

strålmålsmaterial som DAMA/LIBRA, alltså natriumjodid-kristaller.

Ett av dessa experiment är COSINUS. Det bygger på samma teknik som CRESST, med en kryogen scintillerande kalorimeter vars signal avläses med hjälp av "Transition Edge Sensors". Men COSINUS är baserat på användning av kristaller av natriumjodid (NaI), som för första gången har använts vid millikelvin-temperatur.

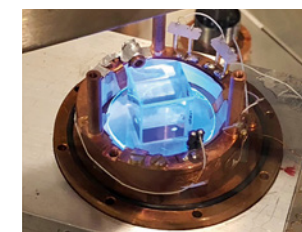
Fördelen med att använda CRESST-teknologi är att genom registrering av både ljus och värme som skapas vid varje händelse, så kan identifieringen av typen av partikel som studsar tillbaka eller sänds ut göras händelse för händelse. Mängden energi som sänds ut som ljus beror på typen av partikel, men det gör inte värmen, så ljuset identifierar partikeln medan värmen ger händelsens energi.

Utveckling av detektorer

De andra NaI-experimenten är, precis som DAMA/LIBRA, scintillatorer vid rumstemperatur som bara detekterar ljus och därför inte kan skilja mellan olika partiklar. Att bidra till utvecklingen av COSINUS-detektorer var fokus för den tredje och sista delen av min forskarutbildning. Under den tiden utvecklade vi en teoretisk modell som förklarade skillnaderna mellan typiska signaler för CRESST och COSINUS, och klargjorde hur detektorns design bör ändras för att förbättra överföringen av signalen från NaI-kristallerna till avläsningselektroniken. Vi började även att simulera hur signalerna skapas i NaI-kristallerna med hjälp av simuleringsverktyg som brukar användas inom teoretisk fasta tillståndets fysik. Dessa senare studier pågår fortfarande.

VANESSA ZEMA

Max Planck-institutet för fysik, München
översättning: Måns Henningson



Prototyp för COSINUS-detektor: NaI-kristall i hållare av koppar.

FOTO: KAROLINE SCHÄFFNER/COSINUS

Från Italien till Göteborg

Vanessa Zema satsade på en dubbel doktorsexamen, dels på Gran Sasso Science Institute i L'Aquila i Italien, dels på Chalmers i Göteborg.

Vanessa Zema verkar glatt överraskad när jag frågar henne om hon är intresserad av att vara med i *Fysikaktuellt*, och en dryg vecka senare kopplar vi upp oss på Zoom. Hon sitter på sitt kontor på Max Planck-institutet för fysik i München i Tyskland, där hon är postdoktor sedan hösten 2020.

Men hennes historia börjar längre söderut, närmare bestämt i staden Reggio di Calabria vid Messinasundet i "tån" på den italienska stöveln. Där föddes Vanessa för 30 år sedan, och där bor föräldrarna och de två storasysrarna kvar. Ett syskonbarn har det blivit, och ett till är på väg. Familjen är mycket viktig för Vanessa, och hjärtat finns efter elva år hemifrån kvar i Kalabrien. Pappa är pensionär nu, men arbetade med stadsplaneringen i hemstaden. Mamma har varit hemmafru. Vanessa beskriver henne som en extremt nyfiken person som läser mycket inom olika områden. Äldsta systemen gick i pappans fotspår och studerade arkitektur, men jobbar nu med foto. Mellansystemen arbetar i polisväsendet *Carabinieri*.

VANESSA ÄR NYFIKEN OCH älskar att studera och tänka, så det är inte så konstigt att det gick bra för henne i skolan. Överlag tyckte hon att hon hade mycket bra lärare. Matematik och fysik var favoritämnen, och där deltog hon i olympiader på lokal och regional nivå. Men hon gillade också andra ämnen, som filosofi och litteratur. Hennes specialarbete handlade om filosofi med anknytning till fysik, bland annat strängteori.

När det blev dags för universitetsstudier föll valet på högt ansedda La Sapienza i Rom. Vanessas huvudintresse var egentligen redan då astrofysik, men för att få en bredare utbildning blev det först en kandidatexamen inom kvantoptik. Hon tyckte mycket om programmet, men när



FOTO: PRIVAT

Vanessa Zema

Kommer från: Kalabrien i södra Italien.

Fritidsintressen: Träffa familj och vänner, spela gitarr, kitesurfing.

Bor: München, Tyskland.

det var dags att fortsätta mot en masterexamen blev ämnet mörk materia.

Vanessas examensarbete handledes av Antonio Capone och Francesco Vissani. Francesco var tidigare studierektor för forskarskolan i astrofysik på Gran Sasso Science Institute i L'Aquila i mitten av Italien. Han föreslog att Vanessa skulle komma dit på besök. Hon gillade miljön, sökte och antogs som doktorand där. Hennes avhandlingsarbete kom att handla om att söka efter mörk materia med låg massa, och hon knöts som fenomenolog till de båda kollaborationerna Cryogenic Rare Event Search with Superconducting Thermometers (CRESST) och Cryogenic Observatory for Signals seen in Next-generation Underground Searches (COSINUS).

MEN HUR HAMNADE HON i Sverige? Jo, Vanessas gruppchef inom CRESST, Federica Petricca, hade kontakt med docent Riccardo Catena på Chalmers. De fick idén att Vanessa skulle bli dubbeldoktorand mellan Gran Sasso Science Institute och Chalmers, och i september 2017 kom hon till Göteborg för första gången. Hon bävade lite inför detta, men kände att hon var i goda händer, och efter tre års resande fram och tillbaka kunde

Vanessa lägga fram sin avhandling på båda lärosätena i september 2020.

Vanessa gillade Göteborg. Vintermörkret kändes förstås svårt, men å andra sidan uppskattade hon den mysiga kontrasten mellan mörkret utanför och ljuset inne i byggnaderna. Och de korta nätterna under våren var fantastiska. Tyvärr har det inte blivit någon resa ännu längre norrut i Sverige (än), och somrarna tillbringas naturligtvis i Kalabrien! Någon svenska har hon inte hunnit lära sig, men hon tycker att hennes engelska har förbättrats under tiden i Sverige och att det är lätt att ta sig fram med den.

Vanessa tycker om att vara utomhus och hon gillar att röra på sig. Samtidigt som hon studerade fysik på La Sapienza följde hon en professionell danskurs i Rom, men så småningom blev det för mycket med båda och då valde hon fysiken. Ett nytt intresse är att spela gitarr, och så har hon börjat med kitesurfing. Men väldigt mycket tid tillbringar hon med att prata med folk, och hon håller kontakten med många som hon har träffat tidigare. Det har varit positivt att träffa andra i liknande situationer när hon har bott på olika ställen.

NU ÄR VANESSA SOM sagt postdoktor i München, dit hon rekryterats av sin gruppchef i COSINUS, Karoline Schäffner. Två eller tre år kommer det förmodligen att bli där, men vad som händer sedan är oklart. "Att få studera och lära sig mer fysik är så roligt, så det är fantastiskt att man dessutom får betalt för det", säger den entusiastiska Vanessa. En nackdel är att det kan vara svårt att sluta tänka på jobbet när man är ledig. Samtidigt lockar det mycket att återvända till Kalabrien, men det lokala universitetet där har ingen fysikinstitution. Så någon gång kommer Vanessa kanske att behöva göra ett val.

"Då måste man välja det som känns rätt för en själv", säger hon.

Det låter klokt, och jag tänker att det kommer att bli bra, även om jag förstår att nyfiken på hur det kommer att bli. Lycka till önskar *Fysikaktuellt* i vilket fall!

MÅNS HENNINGSON
Göteborgs universitet



OM KALENDRAR

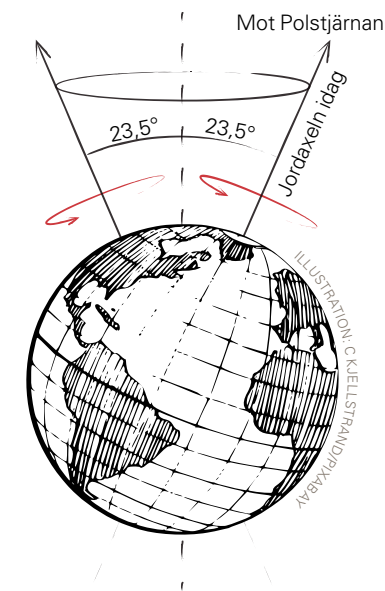
Var sak har sin tid

En kalender är en anordning för att **mäta och organisera tid**. Den är en viktig del av mänskliga samhällen, har ofta varit nära knuten till religion och har från tidigaste tider använts för att reglera aktiviteter inom jordbruk och ekonomi. Men hur gör man bäst för att konstruera en kalender?

För att mäta tiden har man oftast utgått från cykliska förlopp i naturen. Den fundamentala enheten är dagen, ofta specificerad som tiden från soluppgång till soluppgång. De tidiga nomad- och jägarkulturerna använde månen som tidmätare. Tiden mellan två nymånar, den synodiska månaden, är ungefär 29,5 dagar och medför naturliga månader på 29 eller 30 dagar. Den muslimska kalendern är ett exempel på en sådan månkalendar, där varje månad startar med den afton då man först kan observera nymånens skära och ett år består av 12 synodiska "månånader".

När människor blev bofasta odlare blev man mer beroende av årstiderna. Solen blev viktig som tidgivare, eftersom samma odlingsbetingelser upprepar sig efter ett solår med en längd av ungefär 365 dagar. Eftersom ett månår på 12 månånader blir cirka 354 dagar långt uppstår ett problem. Månåret är ungefär 11 dagar kortare än solåret och efter tre år uppgår skillnaden till något mer än en månånad. I de lunisolära kalendrarna, som kombinerar månåret med solåret, löste man detta genom att då och då infoga en extra månånad, man gjorde en så kallad interkalation. En av de tidigaste sådana kalendrarna var den babyloniska.

Ett annat problem var att bestämma när solåret skulle starta. Ett vanligt sätt



Jordaxeln precesserar, rör sig i en konisk rörelse, ungefär ett varv på 26 000 år.

var att använda tiden då en viss stjärna eller stjärnbild på våren första gången blev synlig på aftonen, den så kallade heliakiska uppgången. Man kunde då låta året börja med den månånad som började närmast detta tillfälle. I Egypten använde man den ljusstarka stjärnan Sirius/Sothis, i många kulturer i Asien stjärnbilden Plejaderna.

Två sorters solår

En ytterligare komplikation är att det

finns två sorters solår. Jorden i sin bana kring solen rör sig i ett plan, ekliptikaplanet. Samtidigt snurrar jorden kring en axel som lutar relativt ekliptikaplanet, så att ett plan vinkelrätt mot jordaxeln – ekvatorialplanet – bildar en vinkel på ungefär 23,5° med ekliptikaplanet. Detta är anledningen till att vi har årstider. På sommaren på norra halvklotet kommer solen, sett från jorden, att befinna sig över ekvatorsplanet, på vintern under.

På grund av sin rotation kring axeln har jorden ett rörelsemängdsmoment i axelns riktning och blir något avplattad vid polerna och uttänjd runt ekvatorn. Gravitationen från solen drar i utbuktningarna på ekvatorn och alstrar ett vridande moment på jordaxeln som medför att jordaxeln kommer att precessera, axeln kommer alltså att röra sig i en konisk rörelse, precis som en lutande snurra på ett bord (se bild). Jordaxeln precesserar ett varv på omkring 26 000 år. Sett från jorden kommer hela stjärnhimlen att sakta rotera och ekvatorsplanet kommer att sakta vrida sig runt ekliptikaplanet. Inverkan från månen och de andra planeterna ger små extra tillskott till i precessionen, den så kallade nutationen.

Vår- och höstdagjämning

Sett från jorden kommer solen att på sin väg norrut passera ekvatorsplanet vid en ►



ILLUSTRATION: ALBRECH DÜREN

► viss väldefinierad tidpunkt, vårdagjämningen, och på sin väg söderut vid höstdagjämningen. Tiden mellan två vårdagjämningar kallas ett tropiskt år och är i medeltal 365,24219 dagar. Men på grund av precessionen kommer tiden mellan två tillfällen då solen är på samma plats relativt stjärnhimlen bli något annorlunda. Den tidsrymden utgör den andra sortens solår, det sideriska året, som i medeltal är 365,25636 dagar. En kalender som använder en stjärna eller en stjärnbild för att bestämma starten på året kommer automatiskt att använda ett sideriskt år. Alla de lunisolära kalendrarna i Indien och Sydostasien använder ett sådant år, medan den västerländska kalendern försöker approximerar det tropiska året.

Metons cykel
Man upptäckte tidigt att 19 solår (av någondera slaget) ganska precis motsvarar 235 synodiska månader på i medeltal 29,53059 dagar:
235 synodiska månader:
 $29,53059 \cdot 235 = 6939,689$ dagar
19 sideriska år:
 $365,25636 \cdot 19 = 6939,871$ dagar
19 tropiska år:
 $365,24219 \cdot 19 = 6969,602$ dagar
235 kan skivas som $19 \cdot 12 + 7$. Det innebär att om man under 19 år interkalerar 7 extra månader får man en ganska bra lunisolär kalender.

Den 19-åriga cykeln kallas Metons cykel efter en grekisk astronom som levde på femte århundradet före vår tideräkning, men cykeln var känd långt tidigare av babyloniska och kinesiska astronomer. Den Metonska interkalationen används idag i något modifierat skick i den judiska kalendern och i kalendrarna i Sydostasien. Den används även i den kristna kalendern för att beräkna påskfullmånen.

När börjar året?
Det är vanligt i de lunisolära kalendrarna att man startar solåret i anslutning till vårdagjämningen, i den kinesiska kalendern börjar det dock vanligen på andra nymånen efter vintersolståndet. Den tidiga romerska kalendern var en lunisolär kalender och startade året med mars som första månad, vilket är

anledningen till att vi idag har månadsnamnen september, oktober, november och december – som från början var månaderna sju, åtta, nio och tio. Juli hette ursprungligen quintilis och augusti sextilis men döptes om efter Julius Caesar och kejsar Augustus.

År 45 f.v.t. införde Julius Ceasar den julianska kalendern som släppte kopplingen till månkalendern. Med den fick man en ren solkalender som, med 365 dagar vanliga år och 366 dagar vid skottåren vart fjärde år, approximerade ett tropiskt solår med 365,25 dagar. Den lilla avvikelsen på 0,0078 dagar ledde emellertid till att man mot slutet av 1500-talet låg 11 dagar fel relativt det tropiska året. Insättningen av skottdagarna modifierades med den gregorianska kalenderreformen, varvid jämna århundraden som inte var delbara med fyra, såsom 1700, 1800 och 1900, inte fick någon skottdag. Detta ger ett solår som i medeltal är 365,2425 dagar, en ganska god approximation till det tropiska året, felet är bara 26 sekunder per år. Övergången från juliansk till gregoriansk kalender var dock inte helt friktionsfri, vilket du kan läsa mer om här bredvid.

Bort från naturliga cykler
I våra dagar, speciellt i Sverige, har man återigen avlägsnat sig från cyklerna i naturen genom att låta ”kalender” betyda veckokalender: ”Vi ses på onsdagen i vecka 25”. Även en del kalendrar i andra kulturer är rent cykliska och fristående från fenomen i naturen.

Ett exempel är den mayanska tzolkinkalendern på 260 dagar, baserad på en kombination av en 13-dagars och en 20-dagars cykel. Ett annat exempel är Pawukonkalendern på Java. Den har en cykel på 210 dagar. Eftersom 210 innehåller divisorerna 1, 2, 3, 5, 6, 7 och 10 ger detta möjlighet till ett stort antal cykelkombinationer med utrymme för speciella festdagar. Dessutom har man på ett fiffigt sätt inkluderat även cyklerna 4, 8 och 9 – man har alltså hela tio olika veckocykler.

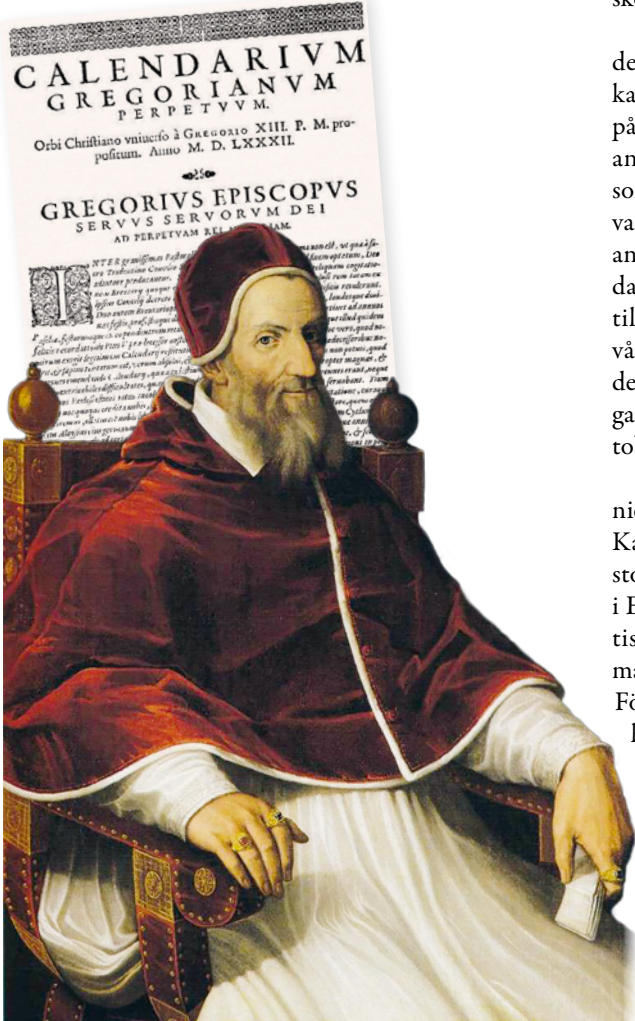
LARS GISLÉN
Fil. Dr., Teoretisk fysik, Lund

30 dagar har november, april, juni och ... februari

På 1500-talet genomfördes noggranna beräkningar för att justera den julianska kalendern så att den stämde bättre med det tropiska solåret. Men när påven utfärdade en bulla för att implementera den gregorianska kalendern blev det politik av matematiken.

I den julianska kalendern har ett normalt år 365 dagar medan skottåren, som infaller vart fjärde år, har 366 dagar. Den julianska kalendern inrättades av Julius Caesar år 45 f.v.t. efter förslag från grekiska matematiker och astronomer. Anledningen var att den romerska kalendern, en månkalender med skottmånader, fullständigt hade kollapsat.

Besluten om när skottmånaderna skulle sättas in hade blivit politiska och utnyttjades för att förlänga egna och förkorta politiska motståndares mandat.



perioder. Till en början räknades skottåren ”vart fjärde år” inklusivt – skottår (ett), två tre, skottår (fyra) – det blev alltså i praktiken skottår vart tredje år. Kejsar Augustus korrigerade runt tiden för vår tideräknings början detta, till det vi idag kallar den julianska kalendern, med en medellängd på 365,25 dagar per år.

Vårdagjämningen backade
Eftersom det tropiska solåret har en medellängd av 365,242199 dagar gör denna skillnad att vårdagjämningen gradvis kom att infalla tidigare och tidigare på året. I mitten av 1500-talet hade den verkliga vårdagjämningen backat omkring tio dagar i kalendern. År 325 hade kyrkomötet i Nicea bestämt att vårdagjämningen inföll den 21 mars, och utifrån detta datum bestämdes sedan datum för när påsken och övriga av påsken bestämda kyrkliga helger inföll. När den verkliga vårdagjämningen inföll allt tidigare försköts därmed hela det kyrkliga året.

Efter ett omsorgsfullt förarbete på flera decennier realiserades den gregorianska kalenderreformen 1582 genom en bulla av påve Gregorius XIII. Den innehöll bland annat regeln att jämna århundradeärtal som inte var delbara med fyra inte skulle vara skottår. Detta medför att det gregorianska medelåret får en längd av 365,2425 dagar, en betydligt bättre approximation till det tropiska året än tidigare. För att vårdagjämningen åter skulle hamna på den 21 mars uteslöts enligt bullan tio dagar i kalendern år 1582: på torsdagen 4 oktober följde fredagen 15 oktober.

Det katolska Europa och deras kolonier genomförde omgående denna reform. Kalenderreformen sågs dock med mycket stor skepsis av de protestantiska länderna i Europa. Den uppfattades som en papistisk komplott mot reformationen och man höll därför fast vid den ”gamla stilen”. Först efter 30 år, 1612, gick det preussiska hertigdömet som första protestantiska

Påve Gregorius XIII och första sidan från den påveliga bullan som år 1582 realiserade den gregorianska kalenderreformen.

stat över till den ”nya stilen”. Övriga protestantiska stater gick efter hand över under 1700-talet.

När England 1752, då diskrepansen mellan kalendrarna hade ökat till elva dagar, omsider genomförde reformen orsakade den viss oro bland människor som upplevde att man stal elva dagar från deras liv. Även bokföringsmässigt ställde övergången till en del oreda för till exempel skatteindrivning, löneutbetalningar och hyror.

I Östeuropa och det Osmanska riket skedde, på grund av inflytande från den grekisk-ortodoxa kyrkan, inte övergången av den civila kalendern förrän i början på 1900-talet, i Grekland först 1923. I Ryssland firar man fortfarande en andra jul i början av januari, då den enligt den julianska kalendern skulle infalla.

Alaska, som USA köpte av Ryssland 1867, bytte kalender detta år genom att lördagen 7 oktober blev fredagen 18 oktober vid middagstid på dagen. Den internationella datumlinjen, som tidigare gått längs Alaskas östra gräns, flyttades samtidigt ut i Berings sund så att Alaska bytte sida, och därmed fick man en dag ”gratis”.

Gradvis övergång
I Sverige genomfördes reformen på ett originellt sätt. Karl XII, som var matematiskt lagd och personligen intresserad, bestämde att övergången skulle ske gradvis på så sätt att med början år 1700 skulle elva skottdagar i följd uteslutas. Därmed skulle man från 1740 vara i fas med den gregorianska kalendern.
År 1700 togs alltså skottdagen bort. Dock kom kungens aktiva deltagande i stora det nordiska kriget 1700–1721 emellan, och man glömde i den allmänna villervallan bort att ta bort skottdagarna åren 1704 och 1708.

I januari 1711 bestämde Karl XII att



Den svenska kalendern för februari år 1712.

man skulle återgå till den julianska kalendern genom att stoppa tillbaka den år 1700 borttagna skottdagen. Detta gjordes genom att februari år 1712 fick 30 dagar (se bild ovan). Inte förrän 1753 övergick man sedan till den gregorianska kalendern genom att, som andra länder, utesluta elva dagar i kalendern och att låta fredagen 1 mars följa på torsdagen 17 februari.

Computus eller Kepler?
Men så var det det där med när påsken infaller. I den gregorianska kalendern beräknas datum för påsken enligt cykliska regler för påskfullmånen i den så kallade *Computus*. Grundregeln är där att påskdagen infaller på den första söndagen efter första kyrkliga (det vill säga cykliskt beräknade) fullmånen på eller efter 21 mars.

I Sverige, och fram till 1774 i de protestantiska delarna av Tyskland, beräknades däremot påsken astronomiskt i den ”förbättrade kalendern” genom att man använde Keplers Rudolphinska tabeller för att beräkna datum för vårdagjämningen och påskfullmånen. Detta innebar att Sverige 1802, 1805 och 1818 firade påsk en vecka senare än hela den övriga kristenheten. Inte förrän 1844 övergick man helhjärtat till det gregorianska beräknings sättet. Inte bara i coronatider har Sverige gått sina egna vägar.

LARS GISLÉN
Fil. Dr., Teoretisk fysik, Lund

JAMES WEBB

På väg mot rymden

Nu är det äntligen dags! Rymdteleskopet **James Webb Space Telescope** (JWST) ska efter många och långa förseningar skickas upp från den Europeiska rymdbasen Kourou i Franska Guyana. Det innebär att en ny era inom astronomi med nya fantastiska möjligheter till detaljerade och ljuskänsliga observationer i det infraröda våglängdsområdet tar sin början.

Ar 1990 skickades Hubbleteleskopet (Hubble Space Telescope, HST) upp med rymdskyteln Discovery. Det besannade en dröm om att kunna ta skarpa bilder som inte suddas ut av turbulensen i jordens atmosfär, och medgav också observationer vid ultraviolettera (UV) våglängder. Initialt blev det en besvikelse då huvudspegeln visade sig vara felslipad, men eftersom HST ligger i en låg jordbana var det möjligt att med hjälp av rymdskyteln utföra reparationer. 1993 installerades en korrektionsoptik som medgav att HST kunde ta bilder med en skärpa som bara begränsas av teleskopets diffraktion enligt Rayleighkriteriet, där upplösningen är proportionell mot våglängden dividerad med huvudspegelns diameter (vinkelupplösningen $\theta \approx 1,22\lambda/D$ rad). Med en huvudspegel på 2,4 m medgav det en bildskärpa på 0,05 bågsekunder (motsvarande vinkelstorleken av en pingisboll på 20 mils avstånd) vid 500 nm, en faktor 10 bättre än de bästa jordbaserade teleskoperna.

Hubbleteleskopet har producerat en mängd revolutionerande upptäckter inom astronomin. Som exempel kan vi nämna Hubble Deep Field (HDF). Under 10 dagar i december 1995 togs bilder av en liten, till synes tom, region av himlen i närheten av Karlavagnen med en total exponeringstid på närmare 6 dygn i 4 olika filter. Bildserien avslöjade att regionen inte alls var tom, utan innehöll tusentals små galaxer. De flesta av dessa är mycket avlägsna och utsände det ljus vi nu ser för flera miljarder år sedan. Sedan dess har HST använts för att observera flera ännu djupare fält (till exempel Hubble Ultra Deep Field, HUDF, på södra stjärnhimlen).



JWST, packad och klar för rymdresan.

Hubbleteleskopet är fortfarande i bruk och har vid ett flertal tillfällen besökts av astronauter för reparationer och installation av nya instrument, men sedan det amerikanska skyttelprogrammet avslutades 2011 lever HST på lånad tid. Hubbleteleskopet har sin fantastiska framgång till trots några viktiga begränsningar. Teleskopet befinner sig ganska nära jorden (ca 500 km) och dess optik är inte kyld, vilket gör att teleskopet i sig "lyser" i infraröda (IR) våglängder (längre än ca 2 mikrometer), och är därför inte lämpat för sådana observationer. Inte heller jordbaserade teleskop är speciellt lämpade för observationer i IR, vilket bland annat beror på att jordatmosfären är varm.

VARFÖR ÄR DET DÅ viktigt att observera universum i infrarött ljus? För det första gör universums expansion att ljus från fjärran galaxer blir rödförskjutet, det vill säga förskjuts mot längre våglängder, ju mer desto avlägsnare galaxen är (ju längre tillbaks i tiden vi tittar). Rödförskjutningen (z) definieras som $z = \lambda_{\text{obs}} / \lambda_{\text{em}} - 1$ (där

λ_{obs} = observerad våglängd och λ_{em} = emitterad våglängd). De första galaxerna tros ha bildats när universum var mindre än en halv miljard år gammalt, alltså vid rödförskjutningar $z > 10$. Stjärnor sänder ut det mesta av sitt ljus mellan 91 och 1 500 nm (UV, visuellt, och kortvågigt IR). Det leder till att galaxer vid $z > 8$ blir osynliga för observationer i det visuella området, och därför syns de inte heller i HDF. För att studera sådana galaxer krävs observationer i det infraröda området ($\lambda > 1000$ nm = 1 mikrometer, μm , eller mikron).

För det andra innehåller det interstellära mediet i galaxer stoft som absorberar ljus vid kortare våglängder, varvid stoftet hettas upp och lyser i långvågigt infrarött ljus. Men stoftet är inte bara en olägenhet som försvårar optiska observationer. Det skyddar även den kalla molekylära gas ur vilken stjärnor bildas från att förstöras av UV-strålning. Stoftabsorptionen minskar med ökande våglängd. Därför kan IR-observationer inte bara se igenom stoftet, utan också studera de regioner där stjärnor och planeter bildas.

PLANERNA PÅ ETT "Next Generation Space Telescope" (NGST) optimerat för IR började ta form i mitten av 1990-talet. Visserligen fanns det redan existerande och planerade rymdteleskop för IR-observationer (till exempel IRAS, ISO, SIRTFF/Spitzer och Herschel), men de konstruerades för längre våglängder och kommer inte i närheten av Hubbles bildskärpa. För det krävs, på grund av Rayleighkriteriet, ett teleskop med en diameter på huvudspegeln flera gånger större än HST. Dessutom behövde teleskopet



Bilder av gas- och stoftmoln i Örnnebulosan från HST. Till vänster en bild i visuellt ljus, till höger en bild i nära IR (1,1–1,6 μm). Redan vid 1,6 μm förmår ljus att ta sig igenom mycket av stoftet och mängder av nya stjärnor framträder. Vid de längre våglängder som JWST når kommer man att kunna se in även i de mörkaste partierna.

vara kylt och långt ifrån jorden för att undvika den ljusa bakgrund som jordens atmosfär alstrar.

Lösningen blev att placera teleskopet i Lagrange-punkt 2 (i L2 samverkar solens och jordens gravitation på ett sätt som gör punkten stationär längs den axel som förbinder solen och jorden), ca 1,5 miljoner km från jorden, där IR-bakgrunden är låg. Ursprungligen var planen ett 8 m teleskop med uppskjutning 2007, men det bantades av kostnadsskäl ner till 6,5 m. En så stor huvudspegel fick hur som helst inte plats i den största tillgängliga raket, Ariane 5. Lösningen blev att utforma teleskopet med en huvudspegel som kunde vikas ihop inför uppskjutningen för att sedan fällas ut uppe i rymden. Dessutom skulle teleskopet ha en utfällbar "parasoll" bestående av flera lager reflekterande folie, för att skydda från uppvärmning från solens strålning. År 2002 bytte projektet namn till James Webb Space Telescope (JWST), efter James Webb som var NASAs chef 1961–1968). 2003 allokerade NASA 825 miljoner dollar för JWST med en planerad uppskjutning år 2010, och konstruktionen kunde sätta igång på allvar.

NASA ÄR HUVUDMAN FÖR projektet, men precis som för HST är ESA samarbetspartner, och även den kanadensiska rymdorganisationen. Fyra instrument definierades: en kamera för bildtagning mellan 0,6 och 5 μm (NIRCAM), en spektrograf för samma våglängder (NIRSPEC) som skulle



FOTO: NASA/ESA/HUBBLE

tera att detta är legio för rymdteleskop. Ursprungligen beräknades NGST kosta 0,5 miljarder dollar, men nu har kostnaden stigit till 10 miljarder. Förseningarna har dock inneburit att en del uppgraderingar av instrumenten har kunnat genomföras. När idén om JWST föddes så var de vetenskapliga målsättningarna fokuserade på de första galaxerna, men idag är studier av exoplaneter (planeter som kretsar kring andra stjärnor än vår egen sol) ett väl så stort tema.

LÅT OSS TITTA närmare på JWST och dess instrument:

NIRCAM (Near Infra Red CAMera) är, som namnet antyder, en kamera främst för bildtagning. Den kan även användas för "spaltlös" (*slitless*) spektroskopi, varvid en så kallad "grism" (grating + prism) placeras i strålgången och då ger spektra av alla objekt i fältet. Det är ett effektivt sätt att upptäcka framförallt objekt med starka emissionslinjer och svag kontinuumstrålning (till exempel avlägsna stjärnbildande dvärggalaxer) men eftersom ljuset från alla objekt i fältet sprids kan det leda till att spektra från olika objekt överlappar, vilket försvårar analysen. NIRCAM har även koronografer som blockerar ljuset från en stark källa, vilket till exempel möjliggör avbildning av ljussvagare exoplaneter kring en stjärna. Tack vare den 6,5 meter stora huvudspegeln kommer NIRCAM att kunna leverera samma bildskärpa vid 2 μm (den våglängd vid vilken känsligheten är bäst) som Hubble förmår vid 500 nm.

NIRSPEC (Near InfraRed SPECtrograph) är en spektrograf för observationer mellan 0,6 och 5,3 μm . Den innehåller en ►

DET ÄR MÅNGA SAKER som måste samverka, och eftersom det inte finns någon möjlighet att åtgärda eventuella fel när teleskopet är uppe i rymden krävdes fler tester – vilket ledde till ytterligare förseningar. Men nu ser det alltså äntligen ut som att JWST kan skickas upp. Vid den här tidningens pressläggning var datum preliminärt satt till den 22 december, 2021.

Även om förseningarna har varit avsevärda, och frustrerande för inblandade forskare och finansörer, kan man no-

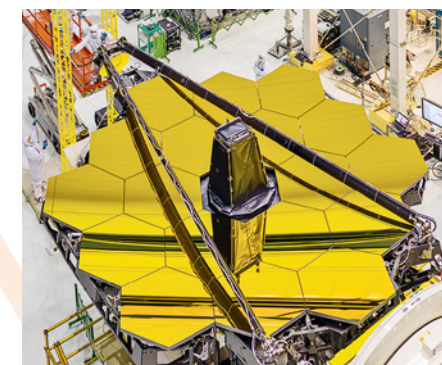


FOTO: NASA/CHRIS GUNN

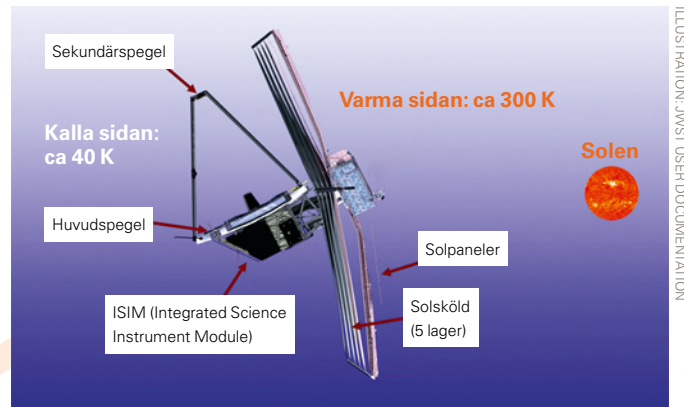
JWST:s huvudspegel. Uppe till vänster syns den nedfällda sekundärspegeln.

► innovativ ”micro shutter array”, en matris av 250 000 små ($0,08 \times 0,18$ mm) slutare som täcker bildfältet. Slutarna kan öppnas och slutas individuellt. Det gör att spektra av över 100 olika objekt i bildfältet kan tas simultant. Denna förmåga kommer att göra JWST till ett oerhört effektivt instrument för att kartlägga inte minst de mest avlägsna galaxerna. En annan intressant innovation är en så kallad Integral Field Unit (IFU), där ett spektrum fås för varje pixel i ett litet (3×3 bågsekunder) fält.

NIRISS (Near Infra Red Imager and Slitless Spectrograph) är en kamera och spektrograf för bland annat spaltlös spektroskopi vid $0,8\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$. Bildfältet är något mindre än för NIRCAM, och NIRISS kan även betraktas som en backup ifall NIRCAM skulle gå sönder.

MIRI (Mid Infra Red Instrument) är en kamera och spektrograf för observationer mellan 5 och $28\text{ }\mu\text{m}$. Bildfältet är mindre (drygt 2 kvadratbågminuter) men instrumentet är unikt då det är det enda som kan observera våglängder större än $5\text{ }\mu\text{m}$. MIRI innehåller också en IFU som möjliggör detaljerad avbildande spektroskopi av enskilda objekt, och dessutom fyra olika koronografer. Tack vare solskölden och placeringen i L2 kommer JWST ha en temperatur på cirka 40 K, men för observationer vid de längre våglängder som MIRI når räcker inte det, och MIRI har därför en egen kylare som tar ner temperaturen på instrumentet till ca 7 K.

SOM KOMPENSATION FÖR ARBETET med att konstruera MIRI får det europeiska konsortiet 450 timmars garanterad observationstid (GTO), och flera ambitiösa observationsprojekt där svenska forskare deltar har definierats. Ett exempel är en djup bild med exponeringstid på närmare 50 timmar som kommer att tas vid $5,6\text{ }\mu\text{m}$ av HUDF. Det kommer möjliggöra studiet av fjärran galaxer vid optiska och nära infraröda vilovåglängder (den våglängd som observeras från ett objekt som inte rör sig i förhållande till oss). För en rödförskjutning på $z=10$ motsvarar $5,6\text{ }\mu\text{m}$ en vilovåglängd om 500 nm. Då stjärnor äldre än ca 500 miljoner år sänder ut det mesta av sitt ljus vid optiska våglängder (till skillnad från väldigt unga stjärnor



Skiss av JWST fullt utvecklad och på plats i L2.

som lyser mest i UV) möjliggör observationer med MIRI att mängden äldre stjärnor och galaxernas åldrar kan bestämmas. HUDF kommer så klart även att observeras med NIRCAM och NIRSPEC.

Det finns flera andra GTO projekt med svensk inblandning. Till exempel kommer ett 50-tal ”protoplanetära” skivor (unga stjärnssystem som omges av gas/stoft-skivor där planetsystem förmodas vara under bildning) att studeras för att undersöka deras kemiska sammansättning och kanske även se tecken på pågående planetbildning. Vidare kommer ett antal kända exoplaneter att observeras för att undersöka deras atmosfärer (se *Fysikaktuellt* nr 3/2020).

Den mesta av tiden på JWST kommer dock att användas för projekt som söks i öppen konkurrens, precis som för HST och de flesta jordbaserade observatorier. Den första rundan av ansökningar har redan utvärderats, och där fick glädjande nog hela tre projekt med svenska huvudsökande tid, och över 20 svenska forskare är dessutom medsökande på flera beviljade projekt.

EFTER UPPSKJUTNING kommer teleskopet färdas till L2, huvudspegeln och solskölden vecklas ut och instrumenten verifieras. Efter 6 månader ska observatoriet vara redo för vetenskapliga observationer. Ungefär ett år efter uppskjutningen blir det möjligt att föreslå nya projekt, och nya möjligheter kommer därefter att annonseras med cirka ett års mellanrum. JWST är konstruerat för att kunna fungera i minst 5 år, men med ett mål på 10 år, beroende på hur länge det bränsle som används för att styra teleskopet räcker.

Vad kan vi då förvänta oss av JWST? Som vi redan nämnt kommer JWST att kunna hitta galaxer som är mer avlägsna än de vi nu känner till. Med en större huvudspiegel och ett teleskop som är optimerat för observationer vid våglängder $\lambda > 1\text{ }\mu\text{m}$ kommer JWST med råge att överträffa HST. NIRCAM kommer snabbt att flytta fram frontlinjen och se galaxer som tidigare aldrig skådats, och NIRSPEC möjliggöra en effektiv bestämning av deras rödförskjutning och egenskaper.

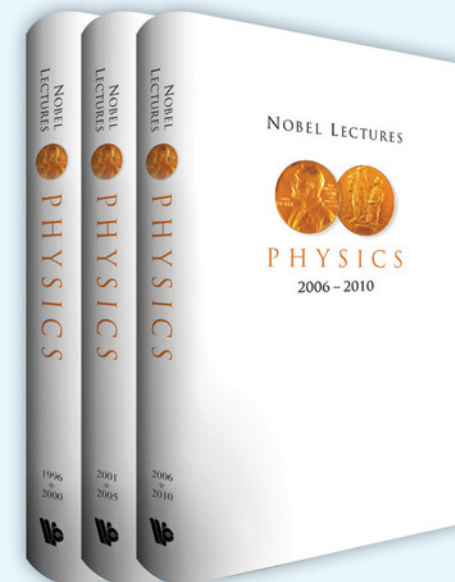
Men kommer JWST verkligen att kunna se de allra första stjärnorna och galaxerna som bildades i universum? Förmodligen inte, bland annat eftersom de första stjärnorna tros ha bildats i protogalaxer som var mycket mindre än de galaxer som kan observeras vid $z=10$ och senare. Däremot kommer JWST att ge oss en bättre bild av denna epok och galaxernas utveckling sedan dess.

Lika viktig är JWSTs, och inte minst MIRIs, förmåga att se igenom stoft, och detaljstudera de processer som bygger upp planeter, stjärnor och galaxer.

De viktigaste resultaten från JWST blir förmodligen de vi inte har väntat oss. Styrkan med ett allmänt observatorium som JWST är att nya upptäckter kan följas upp med nya observationer. Astronomi har sedan lång tid anammat principen om öppen tillgänglighet. Data från JWST kommer att vara fritt tillgängliga inom ett år, och arkivet kommer att vara en viktig resurs för forskare från hela världen.

GÖRAN ÖSTLIN
Astronomi, Stockholms Universitet

World Scientific Physics Books & Journals



Book Series Nobel Lectures in Physics

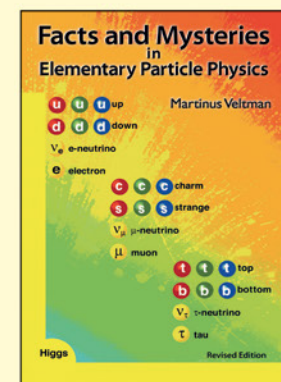
This 11-volume set collects Nobel lectures in physics delivered by the prize winners from 1991 to 2015. Aspiring young scientists as well as more experienced ones, and the interested public will learn a lot from and appreciate the geniuses of these narrations.

Key Features:

- Historical and scientific aspects of the Nobel-winning discoveries as recounted by the respective laureates
- Written in non-technical language for a broad readership
- Accompanied by the biographies of the laureates and the presentation speeches by Nobel Committee

Buy the series at **20% OFF** | Code: **WSNobel20**
Recommend to your school's library today!

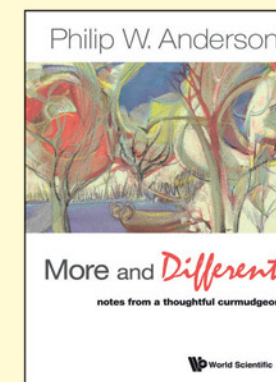
More Books by Nobel Laureates



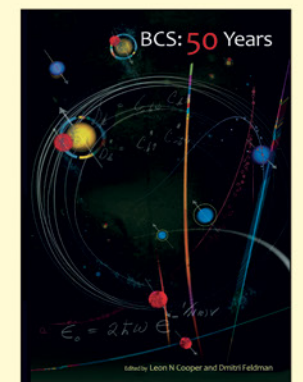
Facts and Mysteries in Elementary Particle Physics
by Martinus Veltman



Fantastic Realities
by Frank Wilczek



More and Different
by Philip W. Anderson



BCS: 50 Years
edited by Leon N. Cooper & Dmitri Feldman

Find out more at tinyurl.com/PHYNobel



The Physics Educator

The Physics Educator is an international peer-reviewed journal published quarterly by World Scientific and the Institute of Physics Singapore. The focus of the journal is the teaching and learning of physics and related topics at the secondary school, high school, junior college and the introductory undergraduate level.

2020 Most Accessed Articles:



An Overview of the CERN Beamline for Schools Competition
Sarah Aretz, Cristóvão Beirão da Cruz e Silva, Markus Joos et al.



A Highschooler's Guide to GeV-Range Electromagnetism
Satchit Chatterji, Aayush Desai, Aditya Dwarkesh et al.

Read at worldscientific.com/tpc

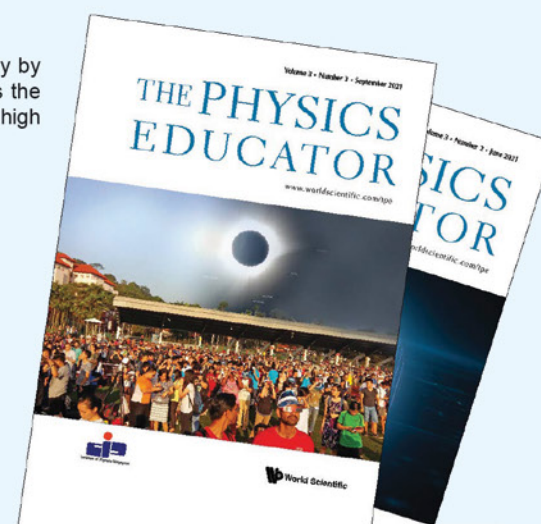




FOTO: ULRICA OLSSON/PARASOLL

SJUKHUSFYSIKER

Ett yrke med lysande utsikter

Medicinsk strålningsfysik har på många sätt bidragit till dagens högspecialiserade sjukvård. När fysik och teknik i allt högre grad används i sjukvården skapas ett ökat behov av **sjukhusfysiker** med såväl högt specialiserade detaljkunskaper inom strålningsfysik som breda kunskaper inom närliggande ämnesområden. Denna situation gör sjukhusfysiken både attraktiv och utmanande.

Ordet ”strålning” förknippas med olika saker av olika personer. Allmänheten tänker nog oftast på negativa och farliga händelser, som kärnvapen eller utsläpp av radioaktivitet i samband med kärnkraftsolyckor. Sådana händelser sker relativt sällan, men får ofta stort utrymme i massmedia. Men strålning ingår i vår vanliga livsmiljö och är något som vi utsätts för hela tiden – och som behövs för att liv skall finnas till. Utöver den strålning som förekommer

TABELL Strålslag som är aktuella inom sjukhusfysik och medicinsk teknik, exempel på deras applikationer och egenskaper. Neutroner och tyngre joner används för närvarande inte i Sverige.

Strålslag	Exempel på applikationer	Egenskap
Partikelstrålning		
Alfapartiklar (heliumkärnor)	Nuklearmedicinsk strålbehandling	Joniserande
Betapartiklar (elektroner)	Extern strålbehandling, nuklearmedicinsk strålbehandling	
Betapartiklar (positroner)	Positronkamera, PET	
Protoner	Extern strålbehandling	
Tyngre laddade kärnor, till exempel koljoner	Extern strålbehandling	
Neutroner	Extern strålbehandling	
Elektromagnetiska fält		
Mycket lågfrekvent	Datateknik, magnetkamera	
Radiovågor	Magnetkamera, NMR	
Infrarött ljus	Termisk avbildning	
Synligt ljus	Mikroskopi, ljusbehandling	
Ultraviolett strålning	Ljusbehandling	
Röntgenstrålning	Radioaktivt sönderfall, röntgenavbildning, extern strålbehandling	Joniserande
Gammastrålning	Radioaktivt sönderfall, nuklearmedicinsk avbildning (gamma-kamera, positronkamera), extern strålbehandling	

naturligt producerar vi människor strålning, bland annat genom modern teknik, som till exempel radio, TV, telefoni och IT.

Strålning har också, direkt eller indirekt, på avgörande sätt bidragit till att förbättra vår hälsa genom bättre sjukvård. Med metoder som utnyttjar strålning och radioaktivitet har vi i den biomedicinska forskningen fått ökad kunskap om molekylers och cellers uppbyggnad och funktioner, och hur kroppens vävnader och organ ser ut och fungerar. Utöver att bidra till utvecklingen av många av dessa metoder har den medicinska strålningsfysiken även tagit fram och förfinat olika behandlingsmetoder.

Strålning i många olika former

Strålning kan delas in i partikelstrålning och elektromagnetisk strålning (se tabell). Partikelstrålning består av par-

tiklar med massa och ibland laddning. Elektromagnetisk strålning utgörs av fotoner, som ibland uppför sig som en vågrörelse och ibland som en partikel utan massa och laddning. Vid radioaktivt sönderfall av instabila atomkärnor avges både partiklar och fotoner, men båda typerna kan också produceras på konstgjord väg.

Inom sjukhusfysiken delar man dessutom in strålningen i joniserande och icke-joniserande strålning. Den förra typen har tillräckligt hög energi för att kunna jonisera en atom, och kan därmed påverka molekyler och celler i kroppen och orsaka skador. Den icke-joniserande strålningen har däremot lägre energi, men den kan överföra energi till vävnaden. Hittills har man inte kunnat visa att icke-joniserande strålning ger långsiktiga negativa effekter på kroppen.

Distinktionen mellan strålning och

radioaktivitet är viktig. *Strålning* betecknar elektromagnetiska fält och olika typer av partiklar, och genereras i rymden, av viss teknisk utrustning, eller utsänds vid radioaktivt sönderfall. *Radioaktivitet* anger däremot endast hur snabbt instabila atomkärnor med överskottsenergi sönderfaller, och beror av antalet kärnor.

Sjukhusfysik är ett mångfacetterat ämnesområde

Som sjukhusfysiker är man i huvudsak sjukvårdens och övriga samhällets expert när det gäller strålning och man behöver ha en både djup och bred kunskap om dess egenskaper och effekter. Grundläggande strålningsfysik innefattar grundläggande kunskap om kärnfysik och strålkällor i form av naturlig och artificiell strålning och radionuklider, och hur olika typer av strålning växelverkar med olika material. Till exempel är utveckling och ►

Till vänster:
Snittbild av skallen
insamlad med
magnetkamera.
Bilderna visar resul-
tat från automatisk
segmentering.

Till höger:
Röntgenavbildning
av ett överarms-
benbrott.

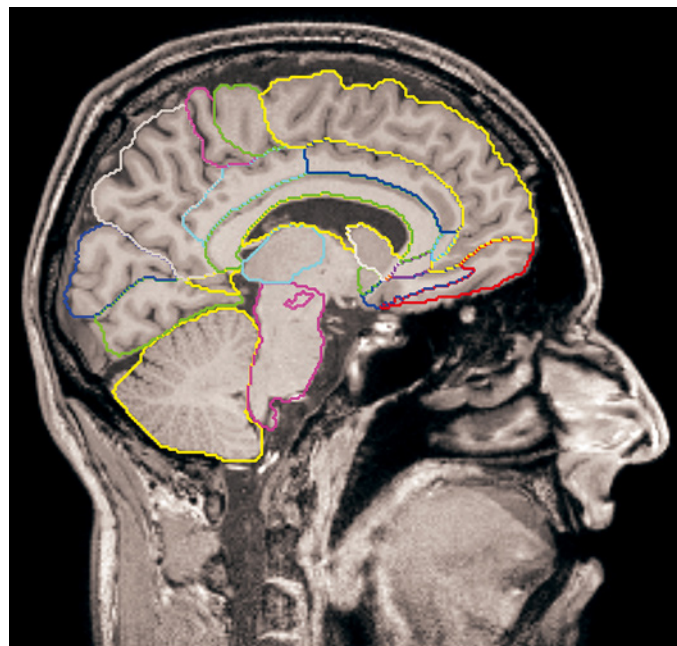


FOTO: MED TILSTÄND FRÅN ROLF HECKEMANN

► användning av noggranna detektorer och mätmetoder för strålning och radioaktivitet viktig för många tillämpningar.

Ett av nyckelområdena är strålningsdosimetri, som handlar om metoder för att bestämma vilken stråldos som avlämnas till vävnader i kroppen i samband med bestrålning.

För att förstå vilka effekter strålning har på kroppens organ, vävnader, celler och molekyler krävs god kunskap om strålningsbiologi. Redan en kort tid efter att strålning upptäcktes för ungefär 125 år sedan förstod man att den både kan användas praktiskt och att den kan skada kroppen på olika sätt. Utvecklingen inom genetik och molekylärbiologi har sedan dess bidragit till bättre kunskap om strålningens biologiska effekter.

Ett annat nyckelområde är strålskydd, som handlar om metoder för att skydda människor och miljö från oönskade, skadliga effekter av strålning. Dessa metoder tillämpas inte bara i sjukvården utan inom kärnteknisk industri och annan verksamhet där strålning används. Då handlar det inte bara om att skydda personal, och patienter och deras anhöriga, utan också om att skydda vår miljö.

Förutom detta behöver en sjukhusfysiker ha grundläggande kunskaper inom medicin, som till exempel medicinsk terminologi, biokemi, anatomi, fysiologi

och viss sjukdomslära. Detta underlättar också kommunikationen med andra yrkeskategorier i sjukvården.

Specifika tillämpningar

När det gäller den mer specifika tillämpningen inom sjukvården ingår strålning vid många typer av metoder för att få fram bilder av kroppen och dess funktioner. Röntgen- och datortomografiundersökningar utförs med hjälp av strålning som genereras från röntgenapparatur och som passerar kroppen för att detekteras på andra sidan. De nuklearmedicinska metoderna baseras på sönderfall från radioaktiva läkemedel som tillförs till kroppen, där fotoner sedan registreras med hjälp av en gammakamera eller positronkamera. De kortlivade radionukliderna produceras på plats med cyklotron, medan mer långlivade radionuklider köps kommersiellt.

Magnetkameran använder sig av kärnmagnetisk resonans (NMR) och består av en stark supraledande magnet, spolar för finjustering av magnetfältet i tre dimensioner och sändare och mottagare för radiovågor. Joniserande strålning används alltså inte, och den populära termen ”magnetrontgen” är direkt missvisande.

Sjukhusfysikern arbetar med utveckling av denna typ av metoder, både när det gäller bättre bildgenerering och bildkvalitet, och när det gäller bildbehandling och

bildanalys. För närvarande är ett aktuellt forskningsfält att utveckla de bildgivande metoderna med hjälp av artificiell intelligens och maskininläring.

När man pratar om strålning och sjukvård tänker nog många på strålbehandling – en av de viktigaste behandlingsformerna av cancer. Här behövs sjukhusfysiker för att säkerställa och optimera såväl extern strålbehandling med accelerators eller starka strålkällor (fotoner, elektroner, protoner och tyngre joner och neutroner), som intern nuklearmedicinsk strålbehandling med radioaktiva läkemedel (elektroner och alfa-partiklar).

Viktig expertkunskap

Sjukhusfysiker behövs också i många sammanhang utöver rutinmässig sjukvård, bland annat som experter i samband med olyckor med radioaktiva ämnen eller strålning. Efter kärnkraftsolyckorna i Tjernobyl och Fukushima bidrog många sjukhusfysiker med aktuell kunskap om strålningens akuta och långsiktiga effekter och risker till såväl myndigheter som massmedia.

EVA FORSELL-ARONSSON

Professor i medicinsk strålningsfysik, avdelningen för Medicinsk strålningsvetenskap, Göteborgs universitet, Medicinsk fysik och teknik, Sahlgrenska universitetssjukhuset, Göteborg

Sätt fysiken på spel!

Behöver du idéer till de sista klapparna, eller något mysigt att göra i vintermörkret? Vi tipsar om fyra fysikrelaterade brädspel.

■ Under de senaste decennierna har utgivningen och försäljningen av brädspel ökat kontinuerligt. Covidpandemins

hemisolering i kombination med att många har arbetat mycket framför sina datorer, och därmed haft en önskan om att göra något analogt, har gett brädspelsbranschen ytterligare en rejäl knuff framåt. Majoriteten av de spel som släpps nuförtiden inkluderar både intressanta mekaniker och en spännande tematik.

Fysikaktuellt har valt att fokusera på brädspel som på ett eller annat sätt har ett tema som tangerar fysik. Kanske kan något av dessa till och med bli ett julklappsinköp?

JONATHAN WEIDOW

Fysikaktuellt

Exit: The Game – Det hemliga laboratoriet

Antal spelare: 1–4

Tid: 45–150 minuter

Ca-pris: 180 kr

Ålder: 12+

Passar för: Den som gillar att lösa pussel.



I de flesta större städer, både i Sverige och internationellt, finns det möjlighet att utforska så kallade ”Escape rooms”. Deltagarna ska där under tidspress hjälpas åt att hitta gömda objekt och lösa allehanda pussel och gåtor, för att slutligen kunna ta sig ut ur ett låst rum. *Exit: The Game – Det hemliga laboratoriet* gör precis samma sak, men i brädspelsformat.

Bakgrundshistorien är att deltagarna besöker ett laboratorium, en plats som visar sig vara en fälla. Giftgas får deltagarna att svimma och när de väl vaknar upp är dörren till laboratoriet låst och det enda de ser som skulle kunna vara till hjälp är en anteckningsbok och en underlig snurrskiva. Under så kort tid som möjligt ska spelarna med hjälp av denna utrustning och ett antal kort försöka lösa olika mysterier för att kunna fly laboratoriet.

Anteckningsboken är fylld av välkända fysikformler och kunskap i fysik förstärker spelupplevelsen. Men det går naturligtvis att klara spelet även för den som inte har studerat fysik. Har man en gång spelat igenom spelet är det inte så meningsfullt att göra det på nytt. Tyvärr klipper man i, viker eller på annat sätt modifierar spelkomponenterna fysiskt, vilket gör att det inte går att lämna vidare spelet

till någon annan. Spelet är ett av drygt tio-talet i Exit-serien vilka alla har samma mekanik. För den som uppskattar konceptet men inte vill förstöra någonting permanent finns även den närbesläktade spelserien *Unlock!* där man utöver en kortlek också använder sig av en surfplatta.

Newton

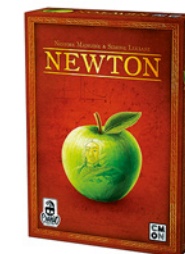
Antal spelare: 1–4

Tid: 90 minuter

Ca-pris: 500 kr

Ålder: 12+

Passar för: Den erfarna spelaren.



Du antar rollen som ung vetenskapsman som strävar efter att kunna sälla sig till skaran av 1600- och 1700-talets stora vetenskapsmän. Detta genom att resa runt mellan olika städer och universitet i Europa, studera, följa föreläsningar, arbeta samt utveckla olika teknologier.

Spelet pågår under sex rundor och spelaren nyttjar under dessa olika kort från handen för att kunna utföra de olika sysslorna på bästa möjliga sätt. Lyckas man väl så kan man uppfylla kriterierna för så kallade mästarkort, vilka ger ytterligare fördelar i spelet. Dessa mästarkort utgörs förutom av Isaac Newton, som spelet har hämtat sitt

namn från, bland andra Galileo Galilei, Blaise Pascal och Christiaan Huygens.

Spelet är klurigt och det gäller att planera väl och försöka hitta synergieffekter. För den oinvidde kan det te sig något torrt, medan en spelkonässör lätt attraheras av de finurliga mekanikerna. Det finns också en möjlighet att spela solo där ens poäng avgör var på skalan mellan alfabet och vetenskapslegend man hamnar.

The Crew: The Quest for Planet Nine

Antal spelare: 2–5

Tid: 20 minuter

Ca-pris: 180 kr

Ålder: 10+

Passar för: Den som gillar traditionella kortspel.



Efter att internationella astronomiska unionen 24 augusti 2006 drog tillbaka Plutos planetstatus återstod åtta planeter i vårt solsystem. Data från Voyager 2 och New Horizons har emellertid gett upphov till spekulationer om en hittills oupptäckt planet i ytterkant av vårt solsystem. I *The Crew* har en Dr. Markow initierat projektet ”Nautilus”, som avser att påvisa existensen av en sådan planet. ►



FOTO: JONATHAN WEIDOW

Newton är klurigt, med finurlig spelmekanik.



FOTO: PRESSBILD

I *The Crew* utför du uppdrag genom att ta kortstick.

► Spelarna antar rollen av astronauter och utför 50 olika uppdrag i sin jakt på den nionde planeten. Uppdragen är stickspel, inte helt olika hjärter, whist eller plump som man kan spela med en traditionell kortlek. En stor skillnad mot dessa är att spelarna i *The Crew* samarbetar och att reglerna blir mer och mer utmanande ju fler uppdrag man har klarat av.

Uppdragen kan handla om hur många, vilka och ordningen på sticken de olika spelarna ska ta eller hur spelarna får kommunicera. Medan de första uppdragen är otroligt lätta blir det snabbt svårare och man vill gärna försöka om och om igen där man misslyckas eller gå vidare med nästa uppdrag, och därmed föra handlingen vidare, då man lyckas.

Terraforming Mars

Antal spelare: 1–4

Ca-pris: 430 kr

Ålder: 12+

Passar för:

Den traditionella spelaren som letar efter något nytt.



Omkring år 2400 börjar människan att terraforma Mars. Du driver ett av de gigantiska bolag som ska försöka göra detta på bästa möjliga sätt. För att göra Mars beboeligt behöver temperaturen och syrenivån höjas och vatten tillföras. De olika spelarna bidrar gemensamt till den utvecklingen genom att spela olika kort och utföra olika handlingar. Samtidigt försöker de olika spelarna också kolonisera den röda planeten och skaffa sig andra fördelar. Spelet pågår tills en viss tröskelnivå har uppnåtts vad gäller temperatur, syrenivå och vattenmängd – varvid man gör en sista poängräkning och utser en vinnare.

Detta spel är designat av svenske Jacob Fryxelius med stöd av flera familjemedlemmar. Jacob själv är disputerad kemist och hela det naturvetenskapliga spektrumet finns inkluderat i spelet. Spelet blev snabbt oerhört populärt och ligger på plats fyra på topplistan över mest populära spel på det största brädspelsforumet, Board Game Geek.

GOD FYSIK · QUIZ

Bubblande fysik i juletid

Kolsyrade drycker hör säsongen till: öl och mumma på julbordet, utländska gäster som förfäras över hur Coca Cola smakar i Sverige (julmust) och en kyld champagne som poppas på nyårsafton (men gärna också andra dagar). I det här **quizet** följer vi bubblornas väg och funderar över vilken fysik vi kan lära oss av dem.

TEXT OCH FOTO: JOHAN MAURITSSON

1 Det är dags att börja med julstöket och du kommer hem med flera överfyllda kassar till det stundande julbordet. Tyvärr trillar en av flaskorna med julmust ur din överfulla kasse och dunsar i golvet med en smäll. Du vet att det inte är en bra idé att öppna flaskan just nu, eftersom erfarenheten säger dig att en stor del av innehållet i så fall kommer att spruta ut. Händelsen får dig att börja fundera på hur trycket i flaskan påverkas av att den har omskakats. Vad tror du?

- a) Trycket ökar.
- b) Trycket minskar
- c) Trycket ändras inte.

2 Om man istället arbetar med en flaska champagne och tycker att det är kul att skjuta korken så långt som möjligt kan det vara bra att värma upp flaskan ordentligt för att på så sätt öka trycket, men ska man också skaka flaskan? Ur vilken flaska flyger korken längst, den skakade eller den oskakade (alla andra variabler är lika och flaskorna hålls i 45° vinkel)?

- a) Det spelar ingen roll.
- b) Den oskakade.
- c) Den skakade.

3 Det var ju lite onödigt att värma upp den fina champagnen (och synd på lampan som du träffade) och du funderar på hur du bäst ska kyla ner den igen medan det fortfarande finns några bubblor kvar. Vilken metod kyler snabbast din(a) flaskor?

- a) In med flaskan i frysen.
- b) En våt handduk virad runt flaskan.
- c) Flaskan nedtryckt i en bunke med is, vatten och salt.



Hur påverkas trycket i julmust-flaskan av att du skakar den?



Osaltat vatten till vänster, saltat till höger. Vilken isbit smälter först?

4 Under tiden som du väntar på att flaskorna ska kylas ner funderar du på ett annat, relaterat experiment som du kan göra som handlar om is och fasövergångar. Om du har två lika stora och lika kalla isbitar och stoppar den ena i ett glas med vatten och den andra i ett glas med saltat vatten, i vilket glas smälter isbiten först?

- a) Ett glas med vanligt vatten.
- b) Ett glas med saltvatten.
- c) Det spelar ingen roll.

5 När champagnen äntligen är kyld och det är dags att hålla upp den plockar du fram dina coupeglas och inser att det går att stapla dem på flera olika sätt. Det går att stapla dem som en pyramid, men ni har inte så många glas, så det blir inte så effektivt. Men eftersom kupan är större än foten går det att bygga ett smalt och ganska högt torn och sedan hålla drycken i det översta glasets och fortsätta hålla så att det rinner över och fyller glasen under ett i taget. Under tiden som du håller i champagne kommer tyngdpunkten att förflytta sig. Ungefär när är byggnaden som vingligast (det vill säga: när är tyngdpunkten som högst)?

- a) När det översta glasets är fullt.
- b) När alla glasen är fyllda.
- c) När ca 40% av glasen är fyllda.

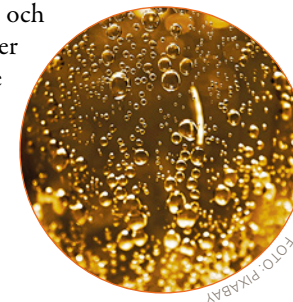
6 När champagnen är upphäld kon-templerar du medan bubblorna stiger mot ytan. Du noterar att bubblorna bara kommer från några få ställen på botten av glasets, där en liten fibertråd från din handduk har fastnat. För att undersöka hur botten av glasets ser ut tar du fram

ett sugrör och stoppar ner det en liten bit i drycken. När du tittar genom sugröret ser du att glasbotten ibland blir förstörd och ibland förminskad (experimentet fungerar ännu bättre med ett glas vatten). Varför ändras förstoringen när man drar sugröret upp och ner?

- a) Vätskeytans form i sugröret ändras när sugröret förflyttas.
- b) Avståndet till botten spelar stor roll för hur förstoringen upplevs.
- c) Synvillan som skapas av att titta genom ett smalt rör beror på avståndet mellan öga och sugrör.

7 Man säger ibland att man kan avgöra vilken kvalitet en champagne har genom att studera bubblorna och skummet som skapas, kan det verkligen stämma? Och är det i så fall samma sak med öl och andra bubbliga drycker? Om det stämmer, så borde man på bubblorna kunna avgöra om glasets innehåller champagne, öl eller kolsyrat vatten. Vilka drycker går att särskilja?

- a) Bubblorna i alla tre dryckerna ser likadana ut.
- b) Bubblorna i öl och champagne ser likadana ut eftersom det finns jästresten med mera i båda dryckerna. Eftersom dessa rester inte finns i kolsyrat vatten sticker denna dryck ut.
- c) Bubblorna i alla tre dryckerna är olika.



Går det att utifrån hur bubblorna ser ut avgöra vilken dryck det är i glasets?

Rätt svar

Alla svar och förklaringar hittar du på www.fysikersamfundet.se/?p=14745



Med coupeglas kan man bygga såväl pyramider som torn. Men när är tornet som instabiltast?



Höga och låga tryck

I de två senaste numren av *Fysikaktuellt* handlade "Vardagens fysik" om att mäta blodtryck och om blodflödet inuti kroppen. Nu är det dags att titta närmare på **inverkan av yttre tryck**.

Homo erectus tänkte nog inte på att det arteriella blodtrycket skulle bli högre i foten och lägre i huvudet, inför beslutet att resa sig upp. Vi är alla lika inför (tyngd)lagen och även på venösa sidan är det uppförsbacke, men där finns venklaffar som hindrar blodet från att rinna nedåt. En normalstor person har cirka 40 mm Hg lägre tryck i huvudet och 100 mm Hg högre tryck i fötterna än vid hjärtat. Står man stilla länge leder det höga blodtrycket i benen till att blod ansamlas i benens vener och vätska pressas ut ur kapillärerna, så kallat ödem. Den effektiva blodvolymen minskar, artärernas blodtryck sjunker, hjärnan får för lite blod och man riskerar att svimma av syrebrist. Likaså kan en person som plötsligt reser sig från sittande eller liggande känna sig yr. Att svimma är klokt, eftersom huvud och ben då hamnar på samma nivå som hjärtat.

Giraffer kan stå stilla länge och svimmar inte ens när de druckit och sedan reser sig upp. Det beror på att medeltrycket i artärerna vid deras hjärta är hela 210–220 mm Hg, vilket är tillräckligt högt för att syresätta hjärnan, trots att hjärtat bara sitter cirka 2 m över marken.

När en giraffböjer sig ner för att dricka ökar trycket i huvudet (figur 1), men venaerna i halsen kan både tryckas ihop och utvidgas. Dessutom hindrar klaffarna i venaerna venöst blod att rinna tillbaka till huvudet. När den sedan reser sig sjunker trycket i huvudet, men giraffen tros klara det genom att snabbt tömma halsvenen samt öka flödet i halsartären.

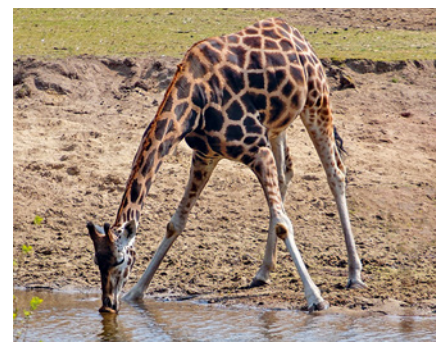
Det totala trycket i fötterna är extremt högt hos giraffen, beroende på dels dess långa ben, dels det höga trycket vid hjärtat. Emellertid är huden på benen seg och verkar fungera som en tryckdräkt. Därmed ansamlas inte venblod och vätska från kapillärerna pressas inte ut.

Yttre tryck vid dykning

Snabba tryckändringar kan orsaka problem i kroppen hos människan. Vid dykning ökar trycket, och andningssgaserna, främst kväve, löser sig efter hand i vävnader och blod. Vid uppstigning sjunker trycket och gaserna bildar bubblor, likt koldioxiden i en nyöppnad flaska champagne. Uppstigning måste därför ske långsamt, vanligen med pauser efter en tabell, så att kvävet hinner vädras ut via lungorna. Annars kan kvävebubblorna hindra cirkulationen, och hamnar de i hudens kapillärer kan det kännas som klåda, så kallade dykarloppor. Allvarigare är ledsmärtor, yrsel och förlamning – hamnar bubblorna i hjärnan finns risk för koma och död. Jämför med när simblåsan hos torsk som dragits upp för fort sväller, varpå inälvorna pressas ut genom munnen och fisken till och med kan spricka. För torsken är det kört, men dykaren kan placeras i en tryckkammare med tryck motsvarande 30 till 50 meters djup, vilket sedan långsamt minskas (figur 2). Behandlingen kan ta lång tid. Man kan också trycksätta till 14–18 meter (240–280 kPa) och använda 100 procent syrgas. Det ger en snabbare utvädring av kväve från blod och vävnader och en ökad syresättning av kroppen.

Hyperbar oxygenbehandling

Personer som av olika skäl har otillräcklig blodförsörjning kan ges så kallad hyperbar (övertryck) oxygenbehandling och placeras då i en tryckkammare. Behandlingen sker vid tryck på 240–280 kPa under 1–2 timmar, en till två gånger dagligen, ibland vid 30–40 tillfällen. Syrets partialtryck ökar i motsvarande grad, och syret diffunderar längre än normalt. Vävnad med kraftigt nedsatt genomblödning kan då syresättas bättre. Den ökade diffusionssträckan får också syret att diffundera in i abscesser (varansamlingar) och biofilm,

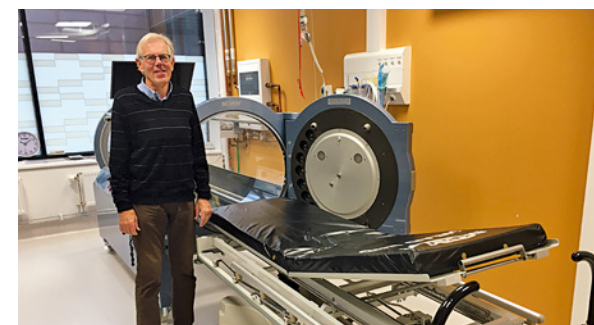


FIGUR 1 Giraff i drickposition på savannen. Huvudet är cirka 2 m under hjärtats nivå när den dricker och lika mycket över när den står upp.

som bakterier bildar som försvar mot syre (bakterier trivs inte i syrerik miljö). Behandlingen är därför även verksam vid infektioner, då såväl kroppens infektionsförsvar som verkningsmekanismen för många antibiotika är syreberoende.

Coronadrabbade patienter som behövt andningshjälp med respirator har ofta inflammation i lungvävnad, och behandling i tryckkammare har visat sig vara gynnsam. I en studie fick patienter på Karolinska sjukhuset med feber och andningsproblem behandling med hyperbar syrgas i kammaren. De flesta mätte snabbt bättre och kunde skrivas ut efter fem behandlingar. Tydligt får "syreboosten" immunförsvaret att lugna sig och inflammationen i lungorna att avta.

I den stora kammaren (figur 2) har patienterna varsin syrgasmask och där kan också personal befinna sig. I den lilla behövs ingen mask, ty trycksättningen görs med 100 procent syrgas. Där får patienten inte ha något annat med sig än bomullskläder, på grund av stor brandrisk i den syrerika miljön. Under pandemin har olyckor inträffat vid okunnigt handhavande av syrgastuber. Däcken på Formel 1-bilar lär vara fyllda med kväve för att inte förvärra situationen om bilen tar eld.



FIGUR 2 Till vänster tryckkammare för en person och till höger en stor, där flera personer kan behandlas samtidigt. Bägge finns vid Karolinska sjukhuset i Solna.

Hypobar miljö

I en hypobar (undertryck) kammare, eller höjdkammare, kan såväl tryck som syrehalt regleras. Den används för allmän höghöjdsträning, pilotträning, och för att studera effekterna av undertryck och syrebrist. En variant är de så kallade höghöjdhusen som idrottare bor i för att stimulera produktionen av röda blodkroppar.

Bergsbestigare måste också vänja sig långsamt. Gällande säkerhetsregler talar om att inte klättra upp mer än 300–500 meter per nattläger över 3 000 meters höjd, och att lägga in en extra natt för var tusende meter. Syrets diffusionshastighet minskar allteftersom lufttrycket sjunker, vilket leder till minskad syresättning av blodet på hög höjd. Därmed ökar andningsfrekvensen, vilket leder till att mängden koldioxid minskar i blodet. Ökning av koldioxid i blodet och därmed sänkt pH, är en viktig signal till hjärnan att det är dags att andas. Om halten är låg trubbas driften att andas av.

Riktigt höga höjder når de flesta av oss bara i flygplan. På en vanlig flyghöjd som 10 000 m undviks höjdsjuka genom att trycket i kabinen hålls på 75 procent av lufttrycket vid marken, motsvarande 2 500 m. Ännu lägre tryck skulle upplevas obehagligt eller till och med vara ohälsosamt. Sannolikheten för hjärtinfarkt lär öka något, speciellt om man nyligen haft en. Ett kabintryck på marknivå kräver kraftigare flygplanskropp, vilket gör planet tyngre, kräver mer bränsle eller färre passagerare. Dessutom expanderar kabinen vid stigning och krymper vid landning och dessa ständiga förändringar mattar ut materialet, desto mer ju större tryckskillnader. På 1950-talet inträffade

fade flera tryckrelaterade olyckor med de Havilland Comet, världens första jetdrivna passagerarflygplan. Efter det infördes bland annat rundade fönster i stället för fyrkantiga, i vars hörn sprickor lättare uppstod.

Vid tryckfall i kabinen ska syrgasmasker falla ner från taket. I lokalerna vid ESO-teleskopet APEX i Chile, som ligger på omkring 5 000 m höjd, finns extra syrgas. På järnvägen mellan Golmud i Kina och Lhasa i Tibet, som passerar lika högt, är syrgashalten i vagnarna förhöjd.

Järnlunga och respirator

Järnlungan, som uppfanns av amerikanen Drinker 1928, var ett hjälpmedel för andning, speciellt för poliodrabbade (figur 3). Den skapar ett undertryck i behållaren som kroppen ligger i, bröstkorgen vidgas och luft dras ner i luftvägarna. När undertrycket försvinner sjunker bröstkorgen ihop och patienten kan åter andas ut. Den har ersatts av respiratorn, som svensken Engström byggde 1950. Den arbetar omvänt och trycker ner luft i lungorna via en slang. När önskat tryck uppnåtts öppnas en ventil och utandning sker. Andelen syrgas i luften kan också regleras, vilket utnyttjas vid behandling av COVID-19.

Behandling av högt blodtryck

Förr återställde man balansen mellan de fyra kroppsvätskorna (blod, gul och svart galla, samt slem) med åderlätning. Man tappade uppemot 50 procent av blodvolymen, varpå patienten ofta dog. Minskning med mindre än 10 procent av blodvolymen märker man knappt. Vid blodgivning tappas därför runt 400 ml av de 5 liter man normalt har. Nutida, mer försiktig



FIGUR 3 En järnlunga från 1950-talet.

åderlätning har visat sig minska höga järnvärden, och därmed sänka blodtrycket.

Dagens läkemedel mot högt blodtryck ökar kärvolymen och/eller minskar blodvolymen.

Som första åtgärd rekommenderas ACE-hämmare, vilka hämmar det angiotensinkonverterande enzymet (ACE), som i sin tur reducerar ett av kroppens kraftigaste kärlsammandragande ämnen, angiotensin II. Kärlen vidgas och blodtrycket sjunker.

Kalciumflödeshämmare stoppar flödet av kalcium in till blodkärlens muskelceller. Det gör att kärlen inte dras samman så mycket. När kärlen vidgas sjunker blodtrycket.

Diuretika driver ut vatten och salter ur kroppen. På så vis minskar blodvolymen och blodtrycket sjunker. Samtidigt vidgas blodkärlen.

Angiotensin II-receptorblockerare sänker blodtrycket genom att blockera angiotensin II. Kärlen vidgas och blodtrycket sjunker.

Betareceptorblockerare minskar stresshormonernas inverkan på hjärtat. Det får arbeta lite lugnare och blodtrycket sjunker.

Man beräknar att minst 1,8 miljoner personer i Sverige har hypertoni, det vill säga blodtryck högre än 140/90 mm Hg. Försäljningen av blodtryckssänkande läkemedel inom ramen för läkemedelsförmånerna uppgick 2020 till 1,4 miljarder kronor. Nyligen sänkte nya riktlinjer i USA gränsen för högt blodtryck från 140/90 till 130/80. I Europa har man i stället infört olika riktlinjer beroende på bland annat ålder.

MAX KESSELBERG
Fysikum, Stockholms universitet



Digilär Fysik för gymnasiet

Digilär Fysik för gymnasiet är ett nytt läromedel som utgår från det centrala innehållet i kursplanen för Fysik 1 och Fysik 2. Läromedlet innehåller begreppslistor, quiz och en stor mängd av uppgifter på flera nivåer med fullständiga lösningsförslag. Genom att varva teori med exempel, bilder och filmer så förstärks innehållet.

Nyhet!



**Prova
i 30 dagar
utan kostnad!
nok.se/digilar**

