

Terahertzområdet · Var är Venus vatten? · Blodtryck

Fysikaktuellt

SVENSKA FYSIKERSAMFUNDET

NR 3 • SEPT 2021



**Fysikaliska
fenomen i konsten**

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 3/2021 är 6 augusti.

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.

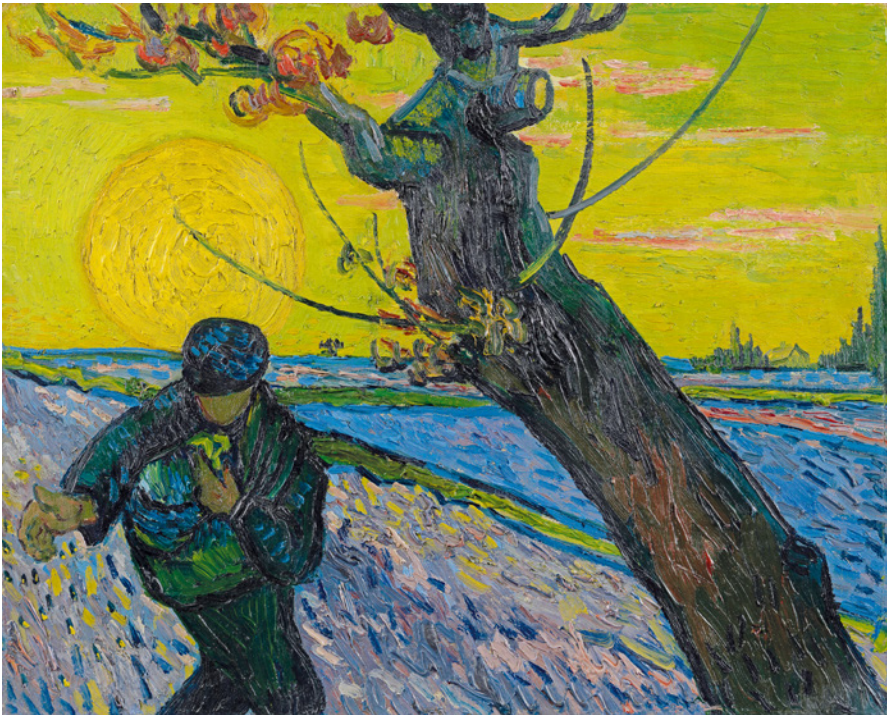


Medlemsförmåner

- 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: Vincent van Goghs Såningsmannen (1888) är ett exempel på fenomenet att solen och månen ser både större och gulare ut när de är nära horisonten. Van Gogh Museum, Amsterdam

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 Eva Lindroth
- 4 AKTUELLT
- 5 VALBEREDNINGENS FÖRSLAG TILL NY STYRELSE
- 6 AVHANDLINGEN Moa Persson undersöker vart Venus vatten tagit vägen
- 10 NORDISKA FYSIKDAGARNA
- 12 NY FYSIKHISTORISK PLATS Ångström hyllas i Uppsala
- 13 TERAHERTZOMRÅDET – nya möjligheter mellan elektronik och fotonik
- 16 VETENSKAPENS HUS
- 18 IPHO Sverige bäst i Norden
- 20 EUPHO
- 22 KONST OCH FYSIK Himmelsk fysik i konsten
- 26 EN DECIMETER HISTORIA
- 28 RECENSION Kaffeologi
- 29 TVÅ ENKLA EXPERIMENT
- 30 VARDAGENS FYSIK Blod – men varken svett eller tårar



För några miljarder år sedan fanns det gott om vatten på Venus. Så varför är vår grannplanets atmosfär så torr nuförtiden? sidan 6

Fysiska fördelar

En vecka innan de nya kurserna startade i mars 2020 kom beskedet att all undervisning måste ske digitalt. Omställningen var snabb och brutal. Min egen dator var lite till åren och kameran funkade inget vidare. Flera av studenterna hade inga kameror alls, en hade till att börja med inte ens en mikrofon att tala i, men den där första tiden gick det ändå ganska bra. Alla insåg att det rädde undantagstillstånd och bjöd till.

Våren 2021 var läget annorlunda. Alla var vana vid digital undervisning och utrustningen var uppgraderad. Vid kursutvärderingen ville åtminstone en student att allt skulle erbjudas digitalt i framtiden "så att alla kan delta var än i världen de befinner sig". Visst finns det positiva aspekter med undervisning via internet, men själv tycker jag nog att fördelarna med verkliga, fysiska möten har blivit allt tydligare ju längre coronaisoleringen pågått. Universitetsutbildning är inte bara att lyssna på föreläsningar. Vål så viktigt är att vara en del i en studentgrupp. Ett av de bästa sätten att ta till sig ny kunskap är att diskutera och lösa problem tillsammans. För dem som redan känner varandra fungerar detta nog hjälpligt digitalt, men att knyta nya kontakter är svårare. Våren 2021 var det tydligt att många vändades ensamma med sina inlämningsuppgifter. Vid fysisk undervisning ställs de lite halvfärdiga frågorna oftast under rasten, eller efter lektionens slut, och även de som förstått minst dröjer sig kvar och lyssnar på svaren. Oftast är det sådan information – som man inte ens visste att man saknade – som betyder mest. Att få till något liknande i de digitala rummen är svårt. Likadant är det vid doktorandhandledning, eller under forskningssamarbete. Det är diskussionen som spontant kommer upp på lunchen, eller den snabba frågan vid mötet i korridoren, som löser upp knuten och gör att projektet kommer vidare.

Den största internationella konferensen i mitt forskningsfält hölls i somras digitalt. Föredragen fungerade



fint, men en konferens är ju så mycket mer. Närmare tusen postrar brukar presenteras och framför dem sker många möten och spännande diskussioner uppstår. Ambitionen var att få till något liknande digitalt: som små avatarer kunde vi traska runt bland de digitala postrarna, läsa, titta och stöta ihop med andra deltagare. Det var bra tänkt, men återigen uppstår problemet att det är lättast att nätverka så med dem man redan känner. På de vanliga fysiska konferenserna brukar hundratals helt nya kontakter knytas, mellan doktorander och unga forskare från världens alla hörn. Det är verkligen svårt att få detsamma att ske digitalt.

Fysiskt eller digitalt? Den frågan ställs nu inför såväl framtida konferenser som vanliga kurser. Det är lätt att att önska sig "både och". Då kan alla lyssna och lära. Samtidigt får de som är på plats del av det verkliga mötetets alla fördelar. Än så länge finns dock få lokaler där alla hörs, syns, hör och ser lika bra när halva gruppen är på plats och den andra halvan är med digitalt. Vi får hoppas på förfinad framtida teknik, men till dess ser jag ändå fram emot att allt fler börjar synas i universitetets lokaler, på nygamla möten i korridoren och trevliga mellansnack med kollegor och studenter i pausen.

Eva Lindroth

EVA LINDROTH
Stockholms Universitet,
Styrelseledamot av Fysikersamfundet

Populärvetenskap för hela Sverige på Kulturnatten i Lund

■ "Kulturnatten" i Lund, den 2 oktober, brukar vara ett lokalt arrangemang med dans, musik och konst, men också vetenskap längs kunskapsstråket. I år kommer Kulturnatten att delvis vara online, så även resten av Sverige har möjlighet att ta del av festligheterna. På Vattenhallen ordnas ett gediget program för alla åldrar, från sjukhuset kommer vi att kunna se en livesändning från en hjärna i en MR-kamera och från Fysikum kommer flera populärvetenskapliga presentationer. Fysikdagen rundas av med en Science Slam där begåvade unga forskare tävlar i vem som bäst kan presentera sin forskning populärvetenskapligt på kort tid. Mer information hittar du på: [kulturnatten.nu](#).



Upplev fysik på Kulturnatten i oktober.

Poddtipset

Why This Universe?

■ Är skönhet ett bra mått på om en teori stämmer? Vad betyder fysikens lagar för den fria viljan, och vad är egentligen antimateria? Teoretiska fysikern Dan Hooper och doktoranden Shalma Wegsman resonear kring de stora frågorna den här podcasten från University of Chicago Podcast Network.



[whythisuniverse.buzzsprout.com](#)



På grund av pandemin skedde prisutdelningen för både 2020 och 2021 samtidigt. Du kan läsa mer om Flore Kiki Kunst och Martin Josefsson i *Fysikaktuellt* nr 2 2020 och nr 2 2021.

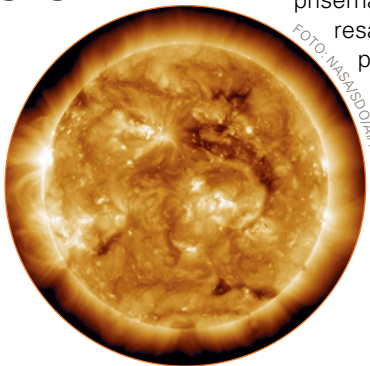
Första pristagarna har fått sina medaljer

■ Äntligen! Nu har de två första Oseen-medaljerna delats ut. Prisceremonin hölls på Nordiska fysikdagarna, och eftersom förra årets fysikdagar sköts upp delades de två första medaljerna ut på samma gång. Flore Kiki Kunst, Stockholms universitet, tilldelades Oseenmedaljen 2020 för sin avhandling "Solvable Topological Boundaries" och 2021 gick medaljen

till Martin Josefsson, Lunds universitet, med avhandlingen "Quantum-Dot Heat Engines". Båda pristagarna presenterade sina arbeten på konferensen, som i år hölls online. Kommande prisutdelningar kommer att hållas i samband med samfundets årsmöte. **Läs mer** om Nordiska fysikdagarna på sidan 10!

Internationell sol-tävling för högstadieelever

■ European Solar Telescope (EST) anordnar en internationell tävling om solfysik. Tävligen är öppen för elever i årskurs 8 och 9, och uppgiften är att utforma en infografik om solen. Tävlings-språket är engelska och



registreringen är öppen till och med den 15 oktober 2021. Lagen måste skicka in sina bidrag senast den 20 december i år. Bland priserna finns bland annat en resa till Teide-observatoriet på Teneriffa. Mer information finns på [est-east.eu/contest](#). Solen är i fokus för tävlingen som EST anordnar i höst.

Val till Svenska fysikersamfundet

■ Mandatperioden för Svenska fysikersamfundets styrelse utgår hösten 2021. En valberedning har tillsatts för att föreslå ordförande, nio styrelseledamöter, revisorer, revisors-suppleanter och valberedning för nästa mandatperiod, 2022–2024. Därutöver utses tre styrelseledamöter av Kungliga vetenskapsakademien, KVA, och en ledamot utses av Ingenjörsvetenskapsakademien. Det åligger valberedningen

att tillse att dess förslag till ledamöter i styrelse och valberedning på bredast möjliga sätt representerar fysikens olika områden. Valberedningen inför valet 2021 har utgjorts av Ann-Marie Pendrill (sammankallande), Kerstin Ahlström, Max Kesselberg, Stephan Pomp och Gabriella Stenberg-Wieser.

Valberedningens förslag

Namn	Position
Jonathan Weidow, Chalmers	Ordförande
Nils Almqvist, Luleå tekniska universitet (omval)	Styrelsemedlem
Kenneth Bodin, Algoryx, Umeå (omval)	Styrelsemedlem
Urban Eriksson, Föreståndare NRCF, Lunds universitet	Styrelsemedlem
Herbert Gunell, UmU	Styrelsemedlem
Simon Holmström, Katedralskolan, Växjö	Styrelsemedlem
Kerstin Jon-And, Stockholms universitet (omval)	Styrelsemedlem
Linda Megner, Stockholms universitet	Styrelsemedlem
Kajsa Uvdal, Linköpings universitet	Styrelseledamot
Katarina Wilhelmsen, Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI)	Styrelseledamot
Sven Huldt, Lund	Revisor
Hans Lundberg, Lund	Revisor
Mats Jonson, Göteborg	Revisorssuppleant
Sten Salomonson, Göteborg	Revisorssuppleant

Enligt stadgarna utser styrelsen "inom sig vice ordförande och inom eller utom sig sekreterare och skattmästare vilka dock båda skall vara medlemmar i Samfundet". **Joakim Cederkäll**, Lunds universitet, och **Lage Hedin**, Uppsala universitet, är beredda att även under perioden 2022–2024 ställa upp som sekreterare respektive skattmästare.

Kompletterande förslag

Samfundets medlemmar kan enligt stadgarna "inkomma med kompletterande förslag". Förslagsställarna skall därvid förvissa sig om att föreslagen kandidat är villig att åta sig uppdraget. Valbara är medlemmar i Samfundet. Alla medlemmar kan till och med den 2 november använda sin stadgeenliga rätt att inkomma med kompletterande förslag till valberedningen. Skicka förslaget till valberedningens ordförande [Ann-Marie.Pendrill@fysik.lu.se](#).

Röstningen

I början av vecka 45, **senast den 8 november**, kommer valblanketter eller inbjudan till elektronisk röstning att skickas

ut till dem som betalt medlemsavgift för 2021 senast den 29 oktober. Röstning kan se fram till 26 november.

Förslag till valberedning inför valet 2024
Valberedning inför nästa val ska utses av årsmötet 2023. Nuvarande valberedning föreslår:

- Svante Jonsell, Stockholms universitet, ordförande
- Marcus Berg, Karlstads Universitet
- Maria Hamrin, Umeå universitet
- Anne-Sofie Mårtensson, Göteborgs universitet
- David Silvermyr, Lunds universitet

Illustration av hur jonerna i Venus jonosfär (gult) påverkas av solvinden (som flödar från vänster till höger i bilden) och leder till flykt från Venus.

AVHANDLINGEN

Vart har Venus vatten tagit vägen?

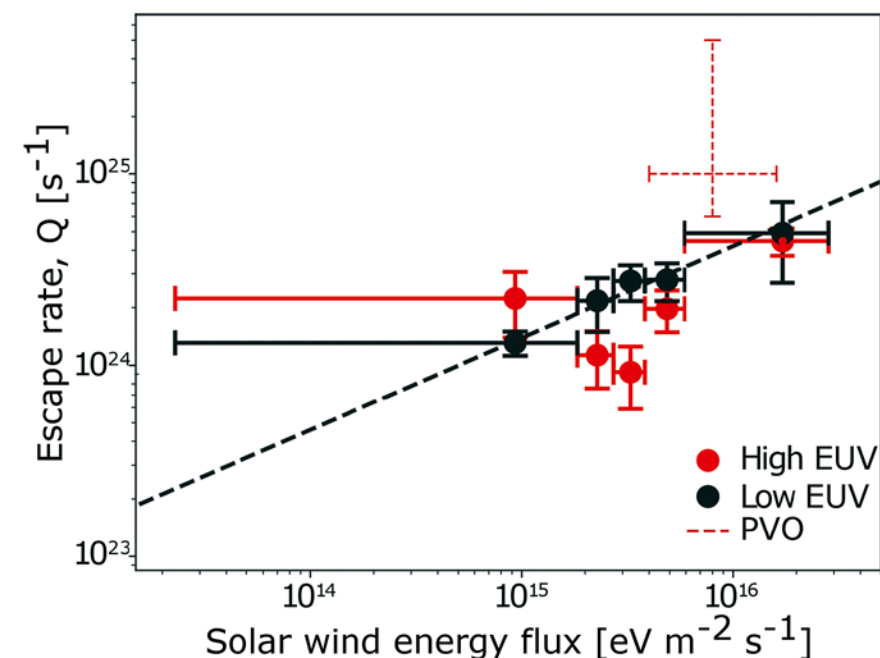
För knappt 4 miljarder år sedan fanns det, så vitt vi vet, gott om vatten på Venus. **Moa Persson** har i sin avhandling försökt ta reda på vart en del av det tagit vägen.

Venus, jordens systerplanet, kan idag närmast jämföras med helvetet. Vid ytan är temperaturen 460°C och atmosfärstrycket 92 bar (ungefär lika högt som 900 meter under havsytan på jorden). Dessutom består atmosfären i huvudsak av koldioxid (ca 97 %) och det är väldigt torrt. Klimatet har dock inte alltid varit så ogästvänligt. Tidigare i Venus historia, för runt 3,9 miljarder år sedan,

tror man att det fanns mycket mer vatten i atmosfären. Om man kunnat sprida det vattnet jämnt över Venus yta skulle det ha bildat ett hav på upp till flera hundra meters djup. Venus atmosfär måste alltså ha genomgått en kraftig förändring under de senaste miljarderna.

Det finns i princip två processer som kan resultera i en sådan kraftig förändring. I det första alternativet har vattnet

lagrats i Venus inre på grund av växelverkan mellan atmosfären och ytan. Det andra alternativet är det jag har fokuserat på i min avhandling: att vattnet har flytt från planeten, ut till rymden (se bilden ovan). Genom att studera båda dessa processer kan vi försöka förstå vad som har påverkat atmosfären och gjort att den skiljer sig så dramatiskt från jordens. Hur har Venus förlorat allt sitt vatten?



Resultat för mätningar av Venus Express som visar förhållandet mellan jonflykt och energiflöde i solvinden. Röda punkter visar förhållandet vid hög EUV-strålning och svarta punkter vid låg EUV-strålning. Det röda streckade korset visar en jämförelse med resultat från en tidigare rymdsond vid Venus: Pioneer Venus Orbiter (PVO). Resultaten visar att EUV-strålning inte har en stark påverkan på jonflykten, däremot ser vi att vid högre energiflöden i solvinden har vi också en högre flykt av joner från Venus, vilket betyder att solvinden spelar en roll i att skapa flykt från Venus.

Vi vet inte idag hur mycket vatten som finns lagrat inuti Venus, och med tanke på svårigheten i att landa på ytan kommer det tyvärr nog att dröja innan vi får svar på den frågan med hjälp av mätningar. Däremot är det möjligt att studera hur många av partiklarna i Venus atmosfär som flyr ut till rymden idag. Från mätningar av dagens flykt kan vi spekulera i hur flykten har förändrats över tid och hur den potentiellt har påverkat vattenmängden i atmosfären.

ETT AV DE SENASTE rymdprojekten för att studera Venus var den Europeiska rymdorganisationens (ESA) satellit Venus Express, som låg i omloppsbana runt Venus 2006–2014. Venus Express tog med sig åtta olika instrument för att studera allt från Venus ytskikt till atmosfären och dess växelverkan med rymden. Ett av dessa var instrumentpaketet ASPERA-4 (Analyser of Space Plasmas and Energetic Atoms 4) som innehöll fyra sensorer för att studera joner, elektroner och energiska neutrala partiklar (så kallade ENAs).

Tre av dessa utvecklades och byggdes vid Institutet för rymdfysik (IRF) i Kiruna.

Den sensor som studerade joner, IMA (Ion Mass Analyser), var en jonspektrometer som mätte joners rörelseriktningar, energi och massa. Under Venus Express 8,5 år långa livstid mätte IMA hur syre- och vätejoner rörde sig runt Venus och hur de påverkades av förändringar i planetens omgivning. Jag har använt dessa mätningar för att undersöka Venus atmosfärsflykt och hur den kan ha påverkat evolutionen av atmosfären.

FÖR ATT KUNNA SVARA på hur flykten av joner har påverkat atmosfären behöver vi förstå både vilka typer av joner som flyr och på vilket sätt de lämnar planeten. Vi vet att det i genomsnitt flyr två vätejoner för varje syrejon, vilket betyder att vatten flyr från Venus idag. Vi vet också att Venus har en stark gravitation som håller kvar den tjocka atmosfären och gör det svårt för partiklar att fly. För att fly från Venus krävs en hastighet på minst 10 km/s. Det finns flera processer som kan tillföra

energi till partiklar i den övre delen av atmosfären, men på Venus är det få processer som tillför tillräckligt med energi för att syret ska nå över flykthastigheten.

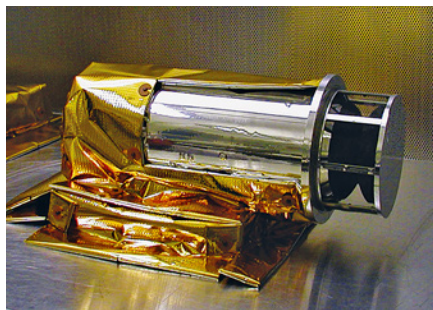
DET ÄR HÄR VÄXELVERKAN mellan solvinden och jonosfären spelar en viktig roll. Genom denna interaktion kan energi överföras till jonerna. Ju mer energi som överförs från solvinden, desto fler joner kan nå över flykthastigheten och fly. Eftersom solvinden varierar i både hastighet och antal partiklar kommer också mängden energi som kan överföras att variera. I min avhandling har jag studerat just den här kopplingen mellan variationerna i solvinden och variationerna i hur många partiklar som flyr från Venus. Vi har visat att det finns en tydlig koppling mellan just energin i solvinden och mängden partiklar som flyr från Venus (se diagrammet till vänster).

En annan viktig parameter som påverkar jonflykten är antalet partiklar i Venus jonosfär. Jonosfären skapas av att den övre delen av atmosfären joniseras av extrem ultraviolett strålning (EUV). Det är lätt att tänka att fler joner kommer att fly om det finns fler joner, men så enkelt är det inte. Vi har visat att flykten inte ökar med ökad EUV-strålning, istället ser det ut som att flykten minskar. Det här beror på ett fenomen som vi kallar returflöden, ►

Escape to space or return to Venus: Ion flows measured by Venus Express

- Författare: Moa Persson
- Institutet för Rymdfysik, Kiruna och Institutionen för fysik, Umeå Universitet
- ISBN: 978-91-7855-378-5 (print); 978-91-7855-379-2 (pdf)
- Länk till avhandlingen: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:umu:diva-176014>
- Handledare: Dr. Yoshifumi Futaana, IRF, Kiruna, biträdande handledare: Dr. Hans Nilsson, IRF, Kiruna och Dr. Maria Hamrin, Umeå universitet
- Opponent: Dr. Dmitrij Titov, ESA/ESTEC, Noordwijk, Nederländerna





Venus Express ASPERA-4/IMA, instrumentet som använts i den här studien för att förstå hur mycket vatten som flyr från Venus idag.

FOTO: BARABASH ET AL. (2007)

”Det är en viktig pusselbit för att förstå Venus atmosfär”

Moa Persson har varit fascinerad av rymden sen hon var barn, men att hennes avhandling kom att handla om just Venus var en ren slump.

Moa Persson

Född: Stockholm.

Uppvuxen: På en liten gård utanför Väsås nära Skövde.

Fritidsintressen: Gaming, se på film och serier, naturen, träna.

Bor/familj: Bor för närvarande i Toulouse, Frankrike. Har min särbo Sofia i Kiruna, föräldrar i Skövde och syster med familj i norra Italien.

Grattis till doktorsexamen Moa! Du disputerade den 13 november 2020, mitt under pandemin, vid Institutet för rymdfysik (IRF) i Kiruna. Hur gick det till i praktiken och hur kändes det?

– Tack så mycket! Jag fick bara ha min familj, min handledare och ordförande för kommittén på plats i rummet, resten medverkade via videokonferens. Det kändes nästan lite som att det var en övning och inte på riktigt när det var så få där. Men det gick mycket bättre än jag förväntade mig!

Hur och när blev du intresserad av rymden? Var studerade du, och vad handlade ditt examensarbete om?

– Som många barn tyckte jag att rymden var spännande. När jag började studera matte och fysik på gymnasiet insåg jag att man kan använda det för att faktiskt jobba med rymden. Det ledde till att jag sökte mig till civilingenjörsprogrammet i Rymdteknik på Luleå tekniska universitet, där man läser halva tiden i Luleå och halva tiden i Kiruna. Väl i Kiruna insåg jag vilken häftig forskarmiljö som finns där. Att det blev just Venus är lite mer av en slump. Jag gjorde mitt examensarbete om Venus neutrala atmosfär på universitetet i Oxford i Storbritannien.

Din avhandling handlar om jonflöden från planeten Venus – ett mycket spännande ämne!

– Ja, det tycker jag med! Även här har slumpen varit inblandad. När jag väl var klar med min ingenjörsexamen kom det upp en doktorandtjänst på IRF i Kiruna om jonflöden vid Venus som jag bestämde mig för att söka. Jag arbetade med data från Venus Express, en satellit som åkte i omloppsbana runt Venus 2006–2014. Jag använde mätningar av väte- och syrejoner för att studera hur de flödar runt Venus. På grund av att de är laddade påverkas de av elektromagnetiska fält inducerade av växelverkan mellan Venus jonosfär och solvinden. Genom att studera hur jonerna flödar kunde vi beräkna hur mycket atmosfär Venus förlorar idag, och under sin historia. Vi visade att Venus inte förlorat så mycket vatten via jonflykt som man tidigare trott. Det är en viktig pusselbit för att förstå hur Venus atmosfär kunnat bli så annorlunda än Jordens.

Hur har det varit att utföra doktorandstudier i Kiruna?

– Det har varit väldigt bra att studera i Kiruna och på IRF. Eftersom det är så litet känner man alla och det blir lite som en familj. Det är en avslappnad stämning. De unga forskarna, doktorander och postdocs, håller ihop och har roligt tillsammans. Bland annat var det viktigt för oss att spela pingis på varje lunchrast.

Det kan jag sakna nu när jag flyttat därifrån.

– Det är ju en speciell upplevelse att bo norr om polcirkeln, när solen försvinner på vintern och sen går över till att aldrig försvinna på sommaren. Gillar man naturen är Kiruna ett paradys, med allt från vandring på sommaren till skidåkning på vintern. Fast mina favoritintressen, gaming och att se på film med min partner, kan ju med fördel utföras oberoende av årstid och plats.

Fysiskt var du på Institutet för rymdfysik i Kiruna för dina doktorandstudier, men du var skriven på och examinerades av Umeå universitet. Hur har det fungerat?

– Det har fungerat bra. Själva arbetet och forskningen är ju bäst lämpade att göra på plats i Kiruna på IRF där rymdinstrumentbaserad forskning utförs. Det var några obligatoriska kurser som jag var tvungen att åka till Umeå för, kanske en gång per år. Jag hade också en av mina biträdande handledare på Umeå universitet. Jag är glad att Umeå universitet är så pass flexibla. Vi kan bland annat genomföra våra egna kurser som är relevanta för just vår forskning i Kiruna, med experter inom de ämnen vi forskar om, och därmed göra vår utbildning bättre anpassad för oss.

Det är knappt ett år sedan du disputerade – vad gör du nu? Handlar det fortfarande om Venus?

– Sen jag disputerade har jag börjat en postdoc i Toulouse i Frankrike, vid Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP). Jag har fortsatt med mina studier om mitt favoritämne: Venus och dess jonflöden. På grund av pandemirestriktionerna har det hittills inte blivit så mycket mer än jobb, mestadels hemifrån, i Toulouse. Jag ser fram emot att samhället öppnas upp mer och mer så man kan få resa runt lite och upptäcka det vackra södra Frankrike. Det är en av de lyxigaste aspekterna av att bli forskare (förutom att få forska på häftiga saker såklart) – möjligheten att få resa, jobba på andra platser i världen och uppleva nya saker.

Hur ser dina framtidsvisioner ut, på kort och lång sikt?

– Jag tycker att det är spännande och



FOTO: SOFIA BERGMAN

Moa Persson på väg till sin postdoc i Toulouse, där hon fortsätter studera Venus plasmaomgivning.

roligt att forska, och vill gärna fortsätta forska inom rymdplasmafysik. På längre sikt hoppas jag på att få en permanent forskningsposition, förhoppningsvis i samma stad som min partner, som också är forskare.

– När jag började doktorera var intresset för Venus inte så stort, det var till exempel mycket mer fokus på Mars. Nu när jag precis disputerat har fyra olika satellitprojekt valts ut att studera just Venus, från både NASA, ESA och

Indiska rymdorganisationen. Ingen av de nya rymdsonderna har fokus på plasmaomgivningen, även om den indiska kommer inkludera plasmainstrument, bland annat från IRF Kiruna. Min stora dröm är att fixa det ”problemet”, att vara med och utveckla en ny mission till Venus med fokus på just plasmaomgivningen.

ASTA PELLINEN WANNBERG

Professor emerita i fysik, Umeå universitet och IRF

MOA PERSSON
Institutet för rymdfysik, Kiruna,
Institutionen för fysik, Umeå universitet

NORDISKA FYSIKDAGARNA 2021

Spännande dagar på distans

Uppsala universitet stod under 4–6 augusti som värd för **Nordiska fysikdagarna**. Arrangemanget, som lockade ca 150 besökare, var synnerligen välordnat och bjöd på ett mycket spännande program. Bland föreläsarna märktes bland andra Michel Mayor och William D. Philips (Nobelpris i fysik 2019 respektive 1997).

Arrangörgruppen, bestående av Carla Puglia (ledare), Barbara Brena, Arnaud Ferrari, Lage Hedin, Jan-Erik Rubensson, Eric Stempels och Staffan Yngve, har gjort en enastående fin insats med att ordna detta arrangemang. Inte minst har covid-19 medfört väldigt mycket extraarbete. Jag vill därför inledningsvis tacka för det arbete de har lagt ner, det gav verkligen resultat!

Den ursprungliga planen var att låta Uppsala arrangera Nordiska fysikdagarna 2020. Detta skulle också innebära ett högtidlighållande av 100-årsjubileet av Svenska Fysikersamfundets grundande 1920. Att Carl Wilhelm Oseen, samfundets grundare, var verksam just vid Uppsala universitet, gjorde valet av Uppsala som arrangörsort särskilt passande (för en längre artikel om Oseen, se FA2 2019). Så kom coronapandemin och Nordiska fysikdagarna behövde därmed skjutas framåt ett år i tiden. Inte nog med att det i sig medförde massor av extra-

"Såväl ljud som bild fungerade perfekt under hela arrangemanget."

arbete för arrangörgruppen, de behövde också arbeta parallellt med planer för ett fysiskt och ett digitalt arrangemang innan de i april slutligen beslutade sig för att hålla det hela digitalt.

DEN DIGITALA LÖSNINGEN för Nordiska fysikdagarna har tagits fram av AppInConf. Det hela var en plattform där deltagarna kunde klicka runt i programmet och välja vilken session de ville följa. Till varje session fanns det både en chatt och en Q&A där deltagarna kunde ställa sina frågor till föredragshållaren. Moderatören för sessionen kunde sedan välja bland dessa och förmedla frågorna muntligt till presentatören. Både moderatören och presentatören var anslutna via Zoom, vilket ju är ett verktyg som många av oss är vana vid nu. Såväl ljud som bild fungerade perfekt under hela arrangemanget och det fanns vid alla gemensamma sessioner administratörer som kunde hjälpa till vid minsta problem. Särskilt klokt var det att det ordnades en testsession dagen före konferensen vilket

Konferensen skulle ha hållits i Uppsala, men blev på grund av coronapandemin ett helt digitalt arrangemang.

gjorde att många talare och moderatörer redan var bekanta med upplägget.

NÅGOT SOM DÄREMOT SAKNADES var möjligheten att mingla runt med kollegor. De spontana mötena är något som generellt har varit svårt under distansarbetet som pandemin har gett upphov till, och konferenser utgör inget undantag. Å andra sidan får det vägas mot den enkelhet det innebär att kunna ansluta till konferenser från var i världen man än må vara. Det sistnämnda argumentet var dock inget som slog igenom här. Medan våra nationella fysikdagarna brukar kunna attrahera uppemot 300 deltagare och de nordiska något mer så var det endast ca 150 anmälda detta år. Och alldeles särskilt var det våra kollegor från grannländerna som inte dök upp. Det är synd med tanke på den höga kvalitet som konferensen höll.

Det vetenskapliga programmet inleddes på onsdagen med en föreläsning av Michael Mayor, en av 2019 års nobelpristagare i fysik. Michael belönades för att, tillsammans med sin student Didier Queloz, 1995 ha varit de första som kunde observera en exoplanet. Michel berättade i sin föreläsning om den instrumentutveckling, för vilken han har haft en central roll, som har möjliggjort detektioner av exoplaneter, hur forskningen fortskrider och förutsättningarna för liv på andra platser i universum.

Efter Michel tog Eckhard Elsen vid som talare. Eckhard är en partikel/högenergifysiker och för de flesta mest känd för att han fram till årsskiftet varit chef för forskning och beräkning vid CERN. Eckhard fokuserade i sin föreläsning på vad LHC (världens största och mest kraftfulla partikelaccelerator) har gett oss för kunskap, såsom upptäckten av Higgsbosonen, och vilka forskningsfrågeställningar den kan användas för i framtiden.

TORSDAGEN INLEDDES MED ATT Anne L'Huillier gav en presentation om hur man skapar extremt korta laserpulser och hur dessa kan användas. Anne efterföljdes av Markku Kulmala som pratade om observationer av partiklar i luften och hur dess förekomst har påverkats av olika direktiv under pandemin. Efter lunchen gav



Den lokala kommittén för konferensen samlade vid den nya minnesstenen för Anders Jonas Ångström (se artikel på nästa sida). Från vänster: Eric Stempels, Jan-Erik Rubensson, Lasse Blom, Barbara Brena, Carla Puglia, Staffan Yngve och Lage Hedin. Arnaud Ferrari saknas.

1997 års nobelpristagare i fysik William D. Philips en presentation om SI-systemet. Han gav både en historisk återblick, motiverade förändringar i definitionerna och spekulerade om möjliga framtida förändringar. Dagen avslutades med en presentation av Paula R. L. Heron som innehöll en analys om varför studenter gör fel på fysikproblem. Här tittade hon bland annat på vilken (felaktig) förståelse studenterna tar med sig in i klassrummen, och hur den förståelsen konkurrerar med den kunskap som läraren försöker förmedla. Paula pekade också på hur studenternas känslor av vad som "borde" vara rätt slår igenom, snarare än stringenta analyser av de problem de ska lösa.

FREDAGEN INLEDDES MED EN presentation av EPS vice ordförande Petra Rudolf om så kallade molekylära motorer. Därefter gav Gina Rippon en neurovetenskaplig synvinkel på det tråkiga faktum att kvinnor är kraftigt underrepresenterade inom vetenskap. För de av oss som deltog på distans avslutades dagen med presentationer av 2020 och 2021 års vinnare av Oseenpriset – Flore Kunst respektive Martin Josefsson. För artiklar om dessa, se FA2 2020 respektive FA2 2021. För de som kunde närvara fysiskt avslutades dagen med invigningen av en EPS-

historisk plats tillägnad Anders Jonas Ångström (se artikel på nästa sida). Under konferensen hade som brukligt flera av samfundets sektioner parallella sessioner och konferensen inkluderade även posterpresentationer. Utöver detta höll vårt samfund sitt årsmöte, vilket bland annat innehöll en verksamhetsberättelse för 2020. Årsmötet var till min glädje mycket välbesökt och det nämdes i anslutning till detta att planen är att nästa årsmöte ska inkludera en presentation av 2022 års vinnare av Oseenmedaljen.

FÖRR I TIDEN VAR det tradition att Nordiska fysikdagarna hölls vartannat år med nationella fysikdagarna däremellan. Efter det att Lund stod som värd 2013 följt av Trondheim 2015 har det dessvärre av olika skäl inte blivit några ytterligare nordiska tillställningar. Upprepade kontaktförsök med våra nordiska systerorganisationer har medfört att den preliminära planen nu är att Finland är arrangör 2024, Danmark 2026 och Norge 2028 innan vi återigen välkomnar nordens fysiker till Sverige 2030. Närmast för oss svenskar är dock fysikdagarna i Lund 2022. Med hopp om att träffas (fysiskt) då!

JONATHAN WEIDOW
ordförande för Svenska Fysikersamfundet



Rasmus Nordin, A. J. Ångströms barnbarnsbarnbarnbarnbarn, och Petra Rudolf, vice ordförande för EPS, avtäckte minnesmärket.

Ny fysikhistorisk plats invigd

I direkt anslutning till Nordiska fysikdagarna 2021, den 6 augusti, invigdes en ny EPS-historisk plats tillägnad Anders Jonas Ångström i Uppsala.

Platsen markeras med en informations-tavla av metall, fäst på en minnessten. En text, på både svenska och engelska, förklarar att Anders Jonas Ångström var en världsledande forskare, och att hans arbete utgör grunden för många av de moderna metoder som fortfarande används i forskningen. I sitt arbete om solens spektrum angav han ljusets våglängd i en enhet som senare kom att kallas Ångström, som motsvarar 10^{-10} m. Ångström byggde också upp undervisningen i fysik och introducerade experimentella laborativa moment.

Själva platsen för denna *EPS historic site* (www.eps.org/page/distinction_sites) är bredvid Philologicum, som är den byggnad där Ångström hade sina laboratorier och där han arbetade, i kvarteret gamla Kemikum vid Engelska parken.

INVIGNINGSCEREMONIN HÖLLS av Eric Stempels (Uppsala Universitet), som introducerade Anders Jonas Ångströms



Minnesstenen med tavlan som berättar om Ångströms gärning.

arbete och dess betydelse för fysiken. Eric är också initiativtagare till att hedra Ångströms arbete med en EPS-historisk plats i Uppsala. Han var med att utforma såväl platsen som texten på tavlan.

Nästa talare var Johan Tysk (vicerektor för vetenskapsområdet för teknik och naturvetenskap vid Uppsala universitet), som illustrerade betydelsen av Ångströms arbete för den aktuella forskning som bedrivs inom vår fakultet. En representant för Uppsala Kommun, Magnus Åkerman, talade om länken mellan Uppsala universitet och staden och uttryckte en önskan om ett fortsatt och förstärkt samarbete.

Karl Grandin, ordförande för kommit-
tén som utser *EPS Historic Sites*, talade

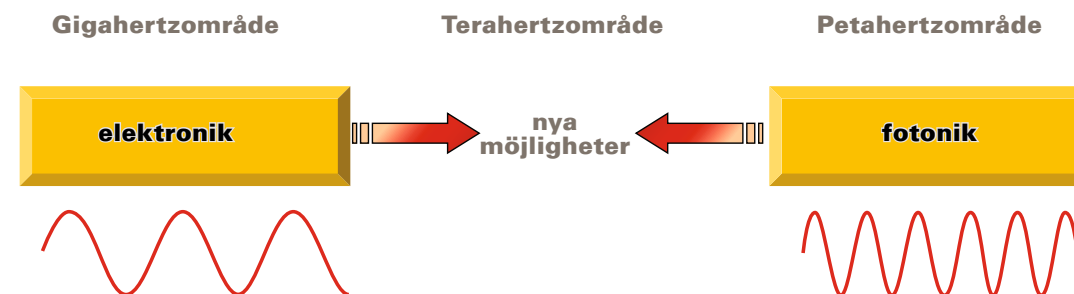
sedan om alla EPS-minnesmärken som uppmärksammar historiska platser där fysiken har utvecklats i Europa.

PLATSEN I UPPSALA ÄR Sveriges tredje EPS-historiska plats. Den invigdes officiellt genom att Petra Rudolf (vice ordförande för EPS) och Rasmus Nordin, ett 12-årigt barnbarnsbarnbarnsbarnbarn* till A. J. Ångström, avtäckte minnesmärket. Vid ceremonin deltog också Rasmus mor och mormor, båda släktingar i rakt nedstigande led till A. J. Ångström. Efter invigningen tog man tillfället i akt att lämna blommor vid Ångströms grav på Uppsala kyrkogård, som passande nog ligger på gångavstånd från den nyinvigda EPS-historiska platsen.

Om du missade invigningsceremonin kan du se den på www.nordic-physicsdays2021.se/inauguration-of-eps-historical-site-dedicated-to-anders-jonas-angstrom.

CARLA PUGLIA
ordförande för den lokala kommittén för
Nordiska Fysikdagarna 2021

* Anders Jonas Ångström är Rasmus Nordins mormors morfars farfar.



Dagens elektronik är beroende av elektroner som rör sig i metaller och halvledare i hastigheter nära nanosekundsområdet, motsvarande frekvenser i gigahertzområdet. Ännu högre frekvenser finns inom fotoniken, där vi länge har lyckats generera laserstrålning med petahertzfrekvenser. Däremellan, i terahertzområdet, finns nya möjligheter till ett snabbare informationsflöde.

Terahertz – mellan elektronik och fotonik

Ju fler människor som kopplar upp sig och ju mer data vi skickar över jorden, desto högre frekvenser och mer bandbredd kommer vi att behöva. En ny metod för att producera **terahertzvågor** är särskilt lovande, eftersom den bygger på helt nya fysikaliska principer.

Dagens elektronik är beroende av hur elektroner rör sig i metaller eller halvledare. En elektrisk spänning eller ett elektriskt fält verkar på elektronernas laddning och driver därmed fram dem i den elektriska komponenten. Eftersom det totala informationsflödet blir allt större, finns det ett stort behov av allt snabbare elektronik. En viktig fråga är, hur snabba dessa transportprocesser kan bli. I dagsläget ligger gränsen för laddningstransport nära nanosekundsområdet ($1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$). Om tidsskalan omvandlas till frekvens motsvarar det en frekvens i gigahertzområdet ($1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ s}^{-1}$). Även om GHz-frekvenser används redan idag återstår frågan om det skulle kunna gå ännu snabbare i framtiden.

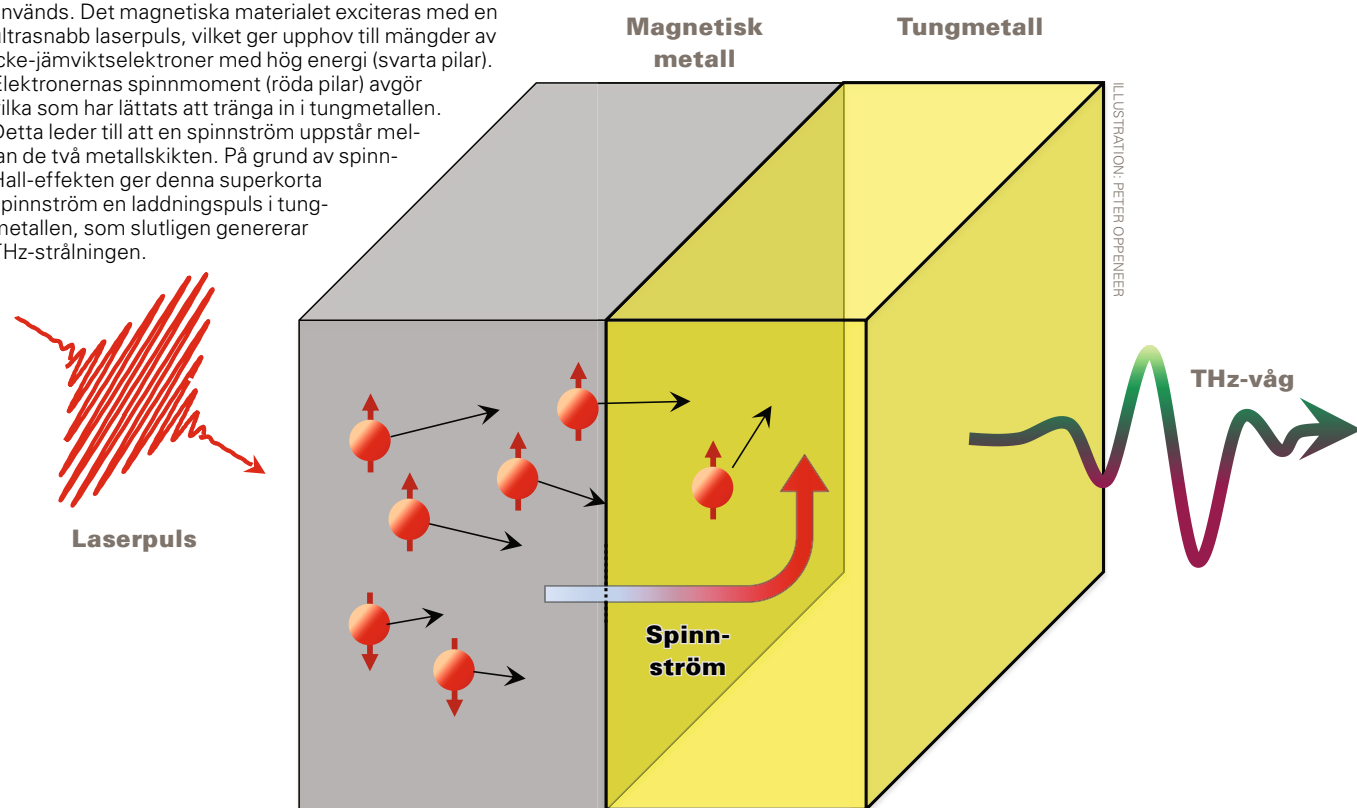
Nästa steg är att inta terahertzområdet ($1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ s}^{-1}$) med en laddningsmobilitet som alltså är tusen gånger större. Det skulle öppna upp för ett mycket snabbare informationsflöde. Det har dock länge varit svårt att generera elektromagnetiska vågor med terahertzfrequenser.

"Inom telekommunikation är terahertz-frekvensområdet särskilt attraktivt eftersom det skulle kunna bli nästa generations trådlösa teknologi."

Ännu högre frekvenser finns inom fotonik-området där människan sedan decennier har lyckats generera laserstrålning med petahertzfrekvenser (10^{15} s^{-1}). Teknologin bakom laserljusgenerationen kan tyvärr inte tillämpas för att producera THz-strålning, men det har visat sig att det är möjligt att använda själva laserljuset för detta ändamål. En metod som utvecklades för några år sedan innebär att man skickar en laserstråle genom en så kallad icke-linjär kristall, vilket leder till emission av THz-strålning. Denna konverteringsprocess fungerar men är inte särskilt effektiv. Därför finns det tydliga behov av utveckling av nya typer av THz-källor som skulle kunna komma till nytta i nuvarande snittgränsen mellan elektronik och fotonik.

INOM TELEKOMMUNIKATION är terahertzfrekvensområdet särskilt attraktivt eftersom det skulle kunna bli nästa generations trådlösa teknologi, det vill säga efter 5G. 5G-teknologin innebär att man

GENERERING AV THz-STRÅLNING. Två tunna metallskikt (3–5 nanometer), ett av magnetisk metall och ett av tungmetall, används. Det magnetiska materialet exciteras med en ultrasnabb laserpuls, vilket ger upphov till mängder av icke-jämvikts elektroner med hög energi (svarta pilar). Elektronernas spinnmoment (röda pilar) avgör vilka som har lättats att tränga in i tungmetallen. Detta leder till att en spinnström uppstår mellan de två metallskikten. På grund av spinn-Hall-effekten ger denna superkorta spinnström en laddningspuls i tungmetallen, som slutligen genererar THz-strålningen.



► använder sig av frekvenser inom det högre GHz-området (6–25 GHz). Teknologin har ännu inte blivit brett implementerad, men eftersom allt fler människor är uppkopplade dygnet runt, och det totala dataflödet ökar allt mer, förväntas det redan nu att även 5G kommer bli otillräckligt vad gäller frekvens och bandbredd. Då blir det nödvändigt att utveckla nästa generation.

UNDER DE SENASTE ÅREN har nya metoder för att producera THz-vågor växt fram. En av dem är särskilt intressant, eftersom den bygger på helt nya fysikaliska principer som ligger bakom ultrasnabb transport och en ovanlig omvandling mellan elektronernas laddning och deras magnetiska spinnmoment. Principen bakom en sådan THz-generering visas i bilden ovan. Materialet som används består av två tunna metallskikt. Det ena är ett skikt av en magnetisk metall, till exempel järn eller kobolt och det andra skiktet är gjort av en tungmetall, till exempel platina.

Varje metallfilm är endast 3–5 nanometer tunn. Det magnetiska materialet exciteras med en ultrasnabb laserpuls på 50 femtosekunder, eller ännu kortare. Detta leder till att laserpulsens skapar mängder av icke-jämvikts elektroner med hög energi i den magnetiska metallen. Dessa energetiska elektroner börjar röra sig snabbt genom metallskiktet med hastigheter på omkring en nanometer per femtosekund. Inom det magnetiska materialet finns två elektron typer: elektroner som har ett spinnmagnetiskt moment som är parallellt med lagrets magnetisering, eller elektroner som har ett antiparallellt spinnmoment. Dessutom har de två elektron typerna olika hastigheter och livslängder. Dessa icke-jämvikts elektroner sprider sig mot andra (jämvikts) elektroner och förlorar på detta sätt sin hastighet och energi. Eftersom de exciterade elektronerna rör sig fort ligger deras genomsnittliga transport inom det så kallade supra-diffusionsområdet.

De exciterade elektronerna kan där

till snabbt lämna det magnetiska skiktet och tränga in i tungmetallen. Men på grund av att elektronerna har olika hastigheter, beroende på om deras spinnmoment är parallellt eller antiparallellt med magnetiseringen, är det därför framförallt elektroner med parallellt spinnmoment som lämnar det magnetiska lagret. Laserexcitationen leder därmed till en snabb avmagnetisering av det magnetiska skiktet, och samtidigt överförs det magnetiska moment i tungmetallskiktet, det vill säga det bildas en spinnström mellan de två metallskikten. Hela spinntransportprocessen äger rum inom 100–500 femtosekunder, beroende på materialen och tjockleken.

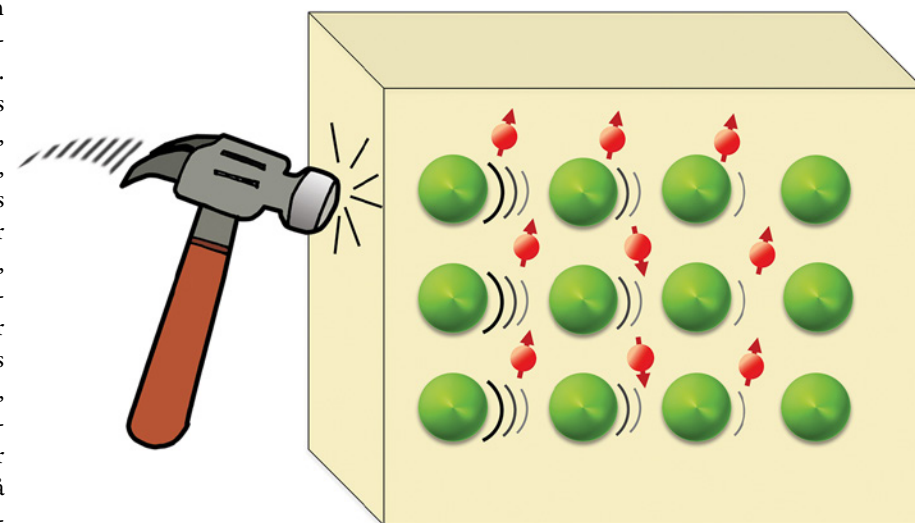
DET SISTA ledet i THz-emissionen är en ovanlig omvandling som sker inom tungmetallen. Sedan tio år tillbaka är denna så kallade spinn-Hall-effekt känd, vilken innebär att en laddningsström konverteras till en spinnström. Konverteringen blir större för tyngre material och är störst

för tungmetaller. Den omvända processen existerar också: en spinnström i en tungmetall konverteras till en laddningsström. Det går till så att en ultrasnabb laserpuls inducerar en snabb avmagnetisering, som ger en superkort spinnströmpuls, vilken i sin tur ger en kort laddningspuls i tungmetallen. Laddningspulsens varar under mindre än 500 femtosekunder, och genererar slutligen strålning, eftersom en laddning som rör sig snabbt leder till en elektrisk fältpuls. Denna fältpuls varar ungefär en pikosekund (10^{-12} s), vilket innebär att den emitterade strålningen har THz-frekvenser. Det som är avgörande för THz-generationen är alltså höga hastigheten av spinntransportprocesserna, som äger rum inom några 100 femtosekunder.

DETTA NYA SÄTT ATT generera korta THz-strålningpulser upptäcktes för åtta år sedan och dessa källor kallas numera spinntroniska THz-källor. De har många fördelar: materialet är väldigt tunt och billigt och dessa skiktssystem är enkla att producera i stora mängder. Det emitterade fältet har en hög amplitud och THz-bandbredden kan jämföras med de bästa icke-linjära kristallerna. Dessutom är det lätt att slå om elektriska fältets riktning genom att enkelt ändra magnetiseringen med ett magnetfält.

Det finns dock fortfarande utmaningar för att utveckla dessa spinntroniska THz-källor ytterligare. En av dem är att generera kvasi-kontinuerligt THz-strålning och en annan utmaning är att maximera det emitterade fältet genom att hitta bättre fungerande materialkombinationer.

FRÅNSETT MÖJLIGHETEN att generera THz-strålning med hög amplitud är själva THz-vågen även intressant för högprecisa mätningar. Den emitterade THz-strålningen bär nämligen på en "signatur" av den process som ägde rum i materialet, och kan därmed ha betydelse som ultrasnabb karakteriseringsmetod av magnetisk tillståndsförändring. Att noggrant mäta snabba magnetiska tillståndsförändringar är fortfarande en utmaning som är till exempel relevant för utveckling av



När den korta laserljuspulsens träffar materialet påverkas det magnetiska tillståndet (röda pilar). Men dessutom sker en liten, blixtn snabb expansion av materialet. Den orsakar en ljudvåg som rör sig genom ämnet, på samma sätt som ett hammarslag på ytan leder till en akustisk ljudvåg genom ett material.

framtidens magnetiska hårddiskminnen. De behöver ha allt högre kapacitet för att lagra mer information och även behandla digitala data allt snabbare. För att karakterisera snabba och precisa magnetiseringsförändringar kunde den THz-strålning som utsänds när en järnmagnetisk bit ändrar sin magnetisering analyseras. Den nya metoden har visat sig vara mycket känslig och kallas *ultrasnabb terahertz magnetometri*. Metoden har flera fördelar.

TILL ATT BÖRJA MED mäter den endast utsänd strålning, och fungerar därför även för inkapslade nanometertjocka magnetiska element. Metoden visade sig dessutom vara mer precis än förväntat. Magnetisk tillståndsförändring genom excitation med en kort laserljuspuls leder till avmagnetisering, men också till en liten, blixtn snabb expansion av materialet. Expansionen orsakar en ljudvåg som genomkorsar materialet och reflekteras på andra ytan, på samma sätt som ett hammarslag på ytan leder till en akustisk ljudvåg genom ett material. Denna expansion av materialet kan även detekteras som en liten förändring i den emitterade strålningen. Den akustiska vågen i materialet kopplar nämligen till det magnetiska momentet på atomerna och ändrar

om dessa till viss grad. Ljudvågen ger en expansion i materialet så liten som en tiotals femtometer, men terahertz-magnetometrimetoden är väldigt känslig och precis och kan tydligt urskilja magnetiska signaler som har olika ursprung, det vill säga elektroniskt, genom elektronernas spinnmomentförändring, eller akustiskt, genom koppling till ljudvågen.

PETER OPPENEER
institutionen för fysik och astronomi,
Uppsala universitet

Läs mer:

M. Battiato, K. Carva, and P.M. Oppeneer, "Superdiffusive Spin-Transport as a Mechanism of Ultrafast Demagnetization". *Physical Review Letters* 105, 027203 (2010).
J. Sinova and T. Jungwirth, "Surprises from the spin Hall effect". *Physics Today* 70, 38–42 (2017).
T. Kampfrath, M. Battiato, P. Maldonado, G. Eilers, J. Nötzold, S. Mährlein, V. Zbarsky, F. Freimuth, Y. Mokrousov, S. Blügel, M. Wolf, I. Radu, P.M. Oppeneer, and M. Münzenberg, "Terahertz spin current pulses controlled by magnetic heterostructures". *Nature Nanotechnology* 8, 256–260 (2013).
W. Zhang, P. Maldonado, Z. Jin, T.S. Seifert, J. Arabski, G. Schmerber, E. Beaurepaire, M. Bonn, T. Kampfrath, P.M. Oppeneer, and D. Turchinovich, "Ultrafast Terahertz Magnetometry". *Nature Communications* 11, 4247 (2020).

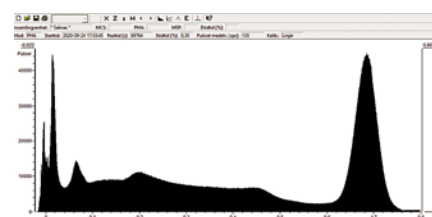
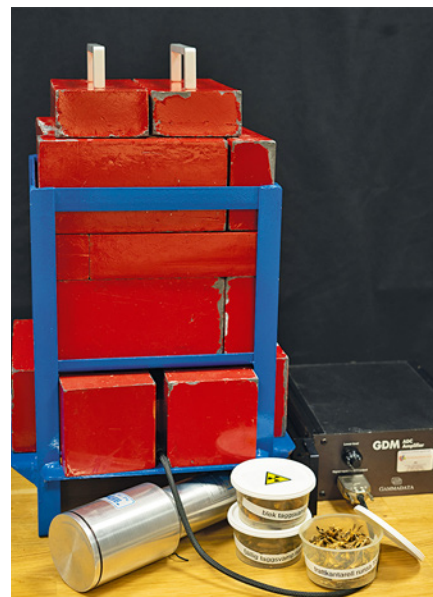
Fysik för gymnasiet i Vetenskapens Hus

Hur har Tjernobylolyckan påverkat vår miljö, och vilka spår av den ser vi än i dag? Hur kan vi hitta planeter i andra solsystem? Dessa och liknande frågeställningar möter elever när de deltar i **Vetenskapens Hus** aktiviteter.

Till Vetenskapens Hus i Stockholm kommer elever och lärare från grundskolan och gymnasiet för att uppleva naturvetenskap, teknik och matematik på riktigt. Vi erbjuder hands-on experiment i laboratorier i universitetsmiljö och aktiviteter i en botanisk trädgård med växthus. Under ledning av universitetsstudenter utforskar eleverna vetenskapliga och tekniska fenomen med avancerad forskningsutrustning. Målet är att inspirera och väcka intresse. Eftersom de praktiska momenten, med experimentet i fokus, är en viktig del av våra aktiviteter har coronapandemin medfört stora utmaningar, men genom att anpassa vårt utbud har vi kunnat möta våra besökare online. Under det senaste året har vi även sett ett ökat intresse för våra gymnasiearbeten, som vi har genomfört både på plats och på distans.

FYSIKÄMNETS HISTORIA i Vetenskapens Hus började på 1990-talet med Vetenskapslaboratoriet. I källaren på gamla Fysikum (Stockholms universitet) i Vasastan startades ett laboratorium upp 1995 på initiativ av Lars Bergström, Erik Johansson och Hector Rubinstein, finansierat av Knut och Alice Wallenbergs stiftelse. Vetenskapslaboratoriet invigdes 15 maj 1996. Till en början riktade sig verksamheten främst till lärare och elever på gymnasiet, men efter några år expanderade den till att även rikta sig mot högskolestadiet.

I samband med att AlbaNova universitetscentrum byggdes 2001 omvandlades verksamheten till Vetenskapens Hus, som



ÖVERST: Mätutrustning för strålningslaborationer vid Vetenskapens Hus. Gammaspektrometer och torkad svamp framför blytorn.

UNDERST: Gammaspektrum från en mätning av cesium i svamp.

invigdes 2003. I samverkan med KTH och Stockholms universitet breddades verksamheten och allt fler aktiviteter riktade mot skolan och allmänheten utvecklades. Inledningsvis erbjöds aktiviteter inom fysik, bioteknik och astronomi,

sommarforsarskolor, mästarklasser samt helg- och sommarkurser. Idag erbjuder vi aktiviteter inom skolämnena biologi, fysik, kemi, teknik och matematik samt ett antal olika evenemang.

VETENSKAPENS HUS ERBJUDER EN modell för samverkan mellan skola, universitet och företag. Syftet är att öka kunskap och intresse för naturvetenskap, teknik och matematik, öka antalet som söker sig till vidare studier inom ämnena och visa olika karriärmöjligheter.

Samverkan med universiteten gör det möjligt att erbjuda elever och lärare möten med aktuell forskning genom till exempel lärarfortbildningar och avancerade laborationer. Besökande ungdomar möter universitetsstudenter som handleder aktiviteterna. Dessa verkar som förebilder och kan berätta om personliga erfarenheter från sina studier. Samverkan med företag gör det möjligt att visa hur och var kunskap används och vilka yrkesval som finns.

Ett exempel på hur vi arbetar för att inspirera eleverna och stärka deras lärande är våra fysikprogram för gymnasiet. Ett av dem är "Strålning: cesium i svamp". Redan tidigt var strålning ett tema som erbjöds våra besökare. Elever fick genomföra radonmätningar i skolan eller hemmiljö för att sedan analysera mätdata i våra laboratorier. Detta kunde genomföras både vid kortare besök och som ett längre projektarbete.

Ett antal projektarbeten kring förekomsten av den radioaktiva isotopen Cs-137 i svamp, ledde till att vi utvecklade ett skolprogram med samma tema.

Vetenskapens Hus

Vetenskapens Hus är ett Science Education Center beläget i två lokaler i Stockholm, vid AlbaNova universitetscentrum och i Bergianska trädgården.

Ägare: KTH och Stockholms universitet

Största externa partner: Stockholms stad

Största företagspartners: AstraZeneca, Scania

Antal besökare per år: ca 80 000 elever, lärare och allmänhet

Målgrupp: Elever och lärare i åk F-9, gymnasiet, och till viss del allmänhet

Verksamhet: Aktiviteter inom biologi, fysik, kemi, teknik och matematik. Arrangerar och deltar i evenemang och fritidsaktiviteter för elever, lärare och allmänhet.

Webbsida: www.vetenskapenshus.se



Vetenskapens Hus laboratorier vid AlbaNova.

Laborationen har två syften, dels att ge elever en introduktion till metoder för att mäta strålning, dels att visa ett exempel på hur en kärnkraftsolycka kan påverka vår miljö även lång tid efter händelsen.

NÄR LABORATIONEN GÖRS på plats i Vetenskapens Hus utförs först en mätning med en gammaspektrometer på svamp från trakten kring Gävle. Eleverna analyserar sedan mätdata för att bestämma mängden Cs-137 i svampen. Vi diskuterar Tjernobyl, strålningen från olyckan, spridningen av radioaktiva ämnen, och varför man fortfarande kan hitta Cs-137 i vissa svampar.

Om laborationen ska utföras online, för grupper som inte kan besöka oss fysiskt, så har vi under pandemin utvecklat en version med stöd för det. Bland annat kan mätningarna göras i förväg. Eleverna laddar då ner data och ett analysprogram till sin skoldator inför laborationen. Laborationen genomförs sedan online via Zoom. Den inleds med en demonstration, och därefter arbetar eleverna med analyserna i grupp online under vår handledning.

Vi har också tagit fram två korta filmer som eleverna har som stöd inför och efter laborationen. Filmerna togs fram inför laborationerna som genomförs online, men är lika relevanta som komplement före och efter besök på plats i våra lokaler.

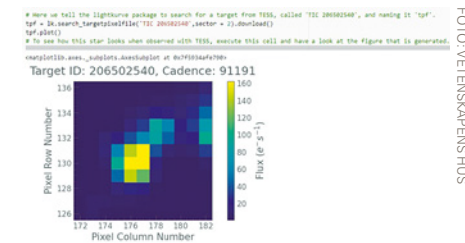
Den ena filmen ses inför besöket. Den introducerar allmänt olika former av strålning, och mer specifikt Cs-137. Den andra filmen ses efter besöket. Den tar upp olika ämnen som bildas i ett kärnkraftverk, och

vilka av dessa som är relevanta i samband med en eventuell olycka.

ETT ANNAT FYSIKPROGRAM FÖR gymnasiet är "Exoplaneter". Aktiviteter inom ämnesområdet astronomi har varit en del av verksamheten från start. I samband med att begreppet exoplaneter kom in i skolans ämnesplaner i Gy11, togs ett skolprogram för gymnasiet fram. Syftet med skolprogrammet är att visa olika metoder för att hitta exoplaneter och ge möjlighet att använda riktiga forskningsdata.

Eftersom detta är ett forskningsområde där utvecklingen går oerhört snabbt har programmet nyligen uppdaterats med aktuell forskning med hjälp av forskare inom området. Eleverna jobbar i ett interaktivt webbgränssnitt där de modifierar ett befintligt program skrivet i programmeringsspråket Python. Med detta kan de analysera data från de rymdburna teleskopen Kepler och Tess, med samma verktyg som används av professionella astronomer. Detta kombineras med en föreläsning och diskussioner kring exoplaneter och förutsättningar för liv. Detta skolprogram fungerar lika bra att genomföra på plats i Vetenskapens Hus som online.

BÅDA DE OVAN BESKRIVNA laborationerna kan med fördel utföras som längre projekt, vilket gör dem väl lämpade för gymnasiearbeten. Varje läsår tar vi emot ett stort antal elevgrupper som deltar i gemensamma träffar med föreläsningar, laborationer och diskussioner. Dessa arbeten brukar genomföras i samarbete med forskare vid KTH och Stockholms



En exoplanetskandidat från TESS med en del av den kod som används för att analysera observationsdata.

universitet. Mellan träffarna får eleverna möjlighet att låna utrustning eller boka en egen laborationstid för att genomföra undersökningar eller dataanalys. Under 2020 hade vi 145 elever som genomförde sitt gymnasiearbete hos oss. De flesta eleverna kommer från Stockholmsområdet men vi har även haft deltagare från till exempel Göteborg, Nyköping, Örebro och Helsingborg. Det kommande läsåret, 2021/2022, planerar vi att erbjuda gymnasiearbeten inom kosmisk strålning och gammablixtar, och även möjlighet att boka tid för enskilda arbeten.

ELISABET BERGKNUT, CECILIA KOZMA, TANJA NYMARK OCH STEFAN ÅMINNEBORG
Vetenskapens Hus

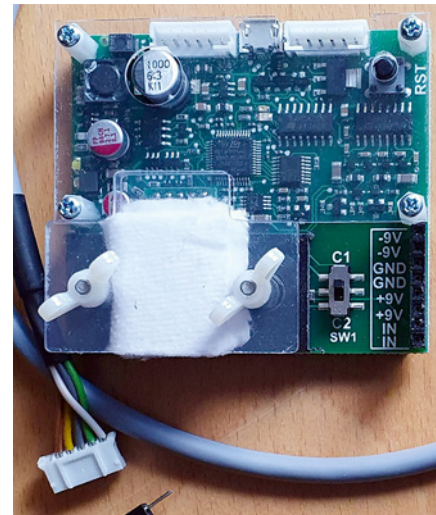
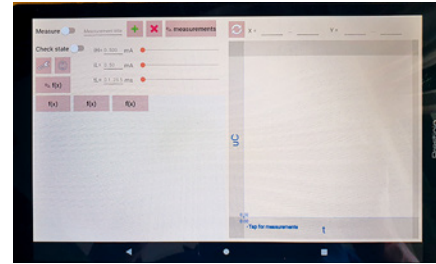
Läs mer

K E Johansson 2004, "House of science: A university laboratory for schools", *Phys. Educ.* 39 342

K E Johansson et al. 2007, "Measuring radon in air, soil and water – an introduction to nuclear physics for schools", *Phys. Educ.* 42 281



Närmast i bild det svenska olympiadlaget. Från vänster: Aki Silander, Adam Johansson, Liam Antonsson, Debdut Sengupta och Ask Hällström. Bakom står ledarna. Från vänster: Bo Söderberg, Oskar Vallhagen, Max Kesselberg, Erik Tegler och Lennart Küssner. Saknas gör Julia Järlebank.



Arrangören skickade utrustning till experimentdelen: en surfplatta med specialdesignad mjukvara och ett kretskort.

Sverige bäst i Norden i fysik-OS

Den fina svenska trenden i den **internationella fysikolympiaden** (IPhO) fortsätter. Laget tog hem två bronsmedaljer och två hedersomnämningen. Sverige blev också för första gången bästa nordiska land. Stödet från Markus och Amalia Wallenbergs minnesfond bidrar till att vi numera kan förbereda laget bättre.

Fysikolympiaden 2020, som skulle arrangerats i Litauen, flyttades fram ett år. Vi hoppades kunna åka dit, men i maj kom det trista beskedet att evenemanget måste hållas på distans. Vi valde då att samla de tävlande, så att de ändå fick lite av den sociala delen. Pandemireglerna

innebar att vi inte kunde vara där vi brukar ha träningsdagar, på Fysicum, Lunds universitet. I stället erbjöd Spykens gymnasieskola i Lund mycket generöst ändamålsenliga lokaler.

Nära 400 deltagare från 76 länder ställde upp – drygt tio länder färre än

vanligt. Det kan bero på svårigheter att på hemmaplan anordna tävlingen, och med Zoomkommunikationen. För att alla deltagare skulle kunna skriva under dagtid och för att länder i bortre Asien inte skulle hinna färdigt innan länder i Amerika hunnit börja sattes ett fem timmars tids-

fönster, där möjliga starttider kunde väljas till klockan 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00 eller 16:00, litauisk sommartid.

Det nya formatet innebar betydligt mer arbete hemmavid. Därför skulle en eller flera "invigilatorer" (*exam invigilator* = skrivvakt) utses. Deras uppdrag var emellertid klart mer omfattande än den engelska benämningen antyder. Därför bad vi två tidigare olympier, Lennart Küssner och Erik Tegler, som har den nödvändiga erfarenheten, att hjälpa åt att axla denna roll. En fördel med att tävla på hemmaplan var att två andra tidigare olympier och uppgiftskonstruktörer till vår nationella finaltävling, Julia Järlebank och Oskar Vallhagen, också kunde hjälpa till. De mildrade stressen med det grannliga arbetet att både hinna översätta och rätta.

Studenter och ledare skulle som vanligt hållas åtskilda under tävlingsdagarna och deltagarnas mobiler samlas in. Till skillnad från rena on line-varianter, där experimentdelen består av simuleringar, skickade arrangören experimentell utrustning. Den var föredömligt liten, och skulle packas upp under Zoomövervakning, testas och placeras på respektive skrivplats. Invigilatorerna skulle också skriva ut uppgiftstexterna, och efteråt omgående skanna alla lösningar och sända till arrangören. De skulle också rigga Zoomövervakningen av själva tävlingen, dels av varje deltagare, dels av lokalen. En annan fuskpreventiv åtgärd var att deltagarna skulle kunna legitimera sig inför kameran.

Uppgifterna

Uppgifterna var som vanligt svåra, men ändå något mer överkomliga än de senaste åren. Den experimentella uppgiften beredde dock större svårigheter än vanligt. Även om ungdomen förväntas ha så kallad digital kompetens kanske surfplattan och dess mjukvara ändå upplevdes svårbemästrad. Man var nämligen tvungen att läsa en ganska omfattande beskrivning av dess funktion, för att kunna styra, mäta och läsa ut tabeller och rita diagram. Kretskortet var i sin tur försett med olika komponenter, inklusive värmare, termistor (NTC-resistor) och voltmeter.

I den första experimentella uppgiften jämfördes kondensatorer, en tradi-

tionell och en modern, av miniatyrtyp med "energitätt" dielektrikum, vars uppförande beror på den pålagda spänningen, temperaturen och frekvensen. Upp- och urladdningskurvor samt temperaturberoendet efterfrågades.

I den andra mättes I-U-karaktäristik hos en LED för kontinuerlig och pulsad ström vid olika strömmar och temperaturer. Utifrån dessa data begärdes flera grafer som stegvis ledde fram till att ett samband mellan den elektriska effekten och temperaturen hos lysdioden kunde bestämmas.

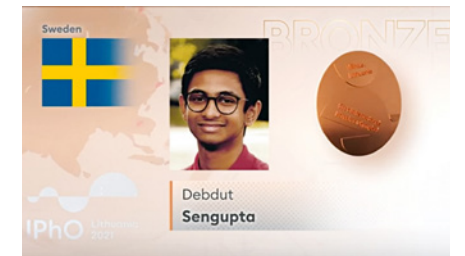
Den första teoriuppgiften handlade om platteteknik. Där studerades en mitt-oceanisk rygg avseende krafter, skorpan densitet och tjocklek, värmeutvidgning på kort och lång sikt, samt skorpan avsvanling. Dessutom skulle utbredningen av P-vågor (primärvågor, det vill säga de vågor som utbreder sig snabbast) i ett skiktat medium beskrivas med hjälp av stråloptik, samt energitätheten längs ytan anges.

Den andra teoriuppgiften handlade om en elektrostatisk lins, som bestod av en laddad ring. Potential, kraft och vinkel-frekvens för oscillationerna hos infallande elektroner begärdes. Därefter skulle en jämförelse med linsformeln göras, för mot ringens plan infallande elektroner. Slutligen skulle ringens kapacitans beräknas och dess inverkan på linsens funktion utredas.

Den tredje uppgiften handlade om vågpartikeldualism, de Broglie-våglängder och partikel i låda. Energinivåer efterfrågades. Därefter skulle, för två olika långa cyanin-molekyler, den största våglängden för fotoner som kunde absorberas bestämmas, samt sönderfallshastigheten via spontan emission, och dess inversa värde, som svarar mot livstiden för lägsta exciterade nivå. Sedan övergick man från fermioner till bosoner. För ett Bose-Einsteinkondensat av Rb-gas studerades de Broglie-våglängd, partikelavstånd och täthet samt kritisk temperatur. Till sist togs vägen mot ett trestråligt optiskt gitter och dess egenskaper, för att till slut mynna ut i Rydbergatomer.

Hur gick det?

Den asiatiska dominansen var som vanligt stor. Segrade gjorde Kyungmin Kim



Prisceremonin sändes på Youtube. Förutom två bronsmedaljer, till Liam Antonsson och Debdut Sengupta, fick det svenska laget genom Aki Silander och Adam Johansson två hedersomnämningen.

från Korea. Fem guldmedaljer bärgades av bästa nation, Kina, tätt följt av Korea, Ryssland och USA. Bästa europé blev Matvei Kniazev från Ryssland. Prisceremonin hölls på Youtube. Liam Antonsson, Uddevalla gymnasieskola, och Debdut Sengupta, Viktor Rydbergs gymnasium i Stockholm, tog varsin bronsmedalj. Dessutom fick Aki Silander, Midgårdsskolan i Umeå, och Adam Johansson, Danderyds gymnasium, var sitt hedersomnämning.

Olympiaden 2022 arrangeras av Belarus, men om den kan realiseras är oklart på grund av säkerhetsläget. Nästa nation på tur är Japan och nu när landet övat på stora OS, borde fysik-OS kunna genomföras utan mankemang.

Bo SÖDERBERG
Lunds universitet

MAX KESSELBERG
Stockholms universitet



Leo Küchen från Katedralskolan i Lund fick en bronsmedalj på EuPhO.



Svenska tävlande och ledare på EuPhO under en avkopplande båttur i Göteborgs skärgård, från vänster: Max Kesselberg, Petter Johansson, Oskar Vallhagen, Leo Küchen, Julia Järlebark, Adam Warnerbring, Liam Antonsson, Ask Hällström och Debdut Sengupta.

FOTO: ANDRÉAS SUNDSTRÖM

EuPhO 2021

Brons till Leo från Lund

Tre svenskar fick kliva upp på den virtuella prispallen när den **européiska fysikolympiaden**, EuPhO, avgjordes i mitten av juni: Leo Küchen från Katedralskolan i Lund fick en bronsmedalj medan Liam Antonsson från Uddevalla gymnasieskola och Debdut Sengupta från Viktor Rydbergs gymnasium Stockholm fick varsitt hedersomnämmande.

Aven i år tvingade coronapandemin den europeiska fysikolympiaden, EuPhO, att ställa om till en nättävling. Den här gången organiserades den så att de länder som kunde uppmanades att samla sina lag nationsvis. För Sveriges del var det Fysikcentrum i Göteborg som stod värd under tränings- och tävlingsdagarna.

Samtidigt som olympiaden flyttade ut på nätet öppnades den också för lag utanför Europa. I årets tävling deltog 46 länder och nästan 220 gymnaster utspridda från Bolivia i väster, via Island och Indien, till Singapore i öster. Olympiaden innehåller två tävlingsdagar, en med tre teoriuppgifter och en med två experimentella uppgifter, de

"Den här typen av uppgifter kräver mycket eget och nytt tänkande."

Leo Küchen

senare dock i simuleringsform nu under pandemin.

Svår tävling

Som vanligt var tävlingsuppgifterna mycket tuffa med åtföljande låga poänggränser för hedersomnämmande och medaljer. Desto mer imponerande att totalsegraren, Vlad Stefan Oros från Rumänien, plockade ihop hela 41 av möjliga 50 poäng. Det rumänska laget gjorde en strålande insats som helhet: rumäner tog även plats tre och fyra, och hela laget hamnade bland de artonde bästa. Hela resultatlistan finns på olympiadens hemsida: eupho.ee/eupho-2021, och där finns också alla tävlingsuppgifter med tillhörande lösningsförslag.

Ett stort grattis till svenska Leo Küchen (12,4 poäng), Liam Antonsson och Debdut Sengupta (10,6 poäng vardera) som tog sig in på pristagarlistan i den hårda konkurrensen!

Teoriuppgifterna

I den första teoriuppgiften gällde det att bestämma vad som hände med gasen i två kammare när en kolv trycktes uppåt, i den andra att bestämma hur lång en ögla kan vara om den ska låsa fast en cylinder man drar i. Den tredje uppgiften var den mest spännande: ett foto av en dikromatiskt belyst glaskula visar att en tråd fastlimmad på kulans baksida avbildas som ellips. För de tävlande gällde det att först utreda varför blir det så, och därefter med hjälp av mätningar på fotot bestämma brytningsindex för de ljusvåglängder som använts.

– Jag tyckte tävlingens teoretiska del var väldigt intressant, säger Leo Küchen. Grejen med de teoretiska uppgifterna i den här tävlingen är att de är ganska korta med enkla frågeställningar, så man får inte så mycket information att använda sig av. Det blir mycket att tänka själv och försöka inse saker i helt nya sammanhang. Jag gillade särskilt den sista teoriuppgiften. Man kunde komma ganska långt med att bara tänka och fundera utan att använda särskilt avancerad fysik, och det är alltid kul när en uppgift inte kräver superspecifika förkunskaper men ändå är mycket svårt.

Simulerade experiment

Eftersom de deltagande lagen inte var samlade på en och samma plats så innebar den experimentella delen av tävlingen ett särskilt problem. Medan IPhO valt att skicka ut utrustning i förväg (se föregående uppslag) har EuPhO gått en annan väg och övergått till uppgifter där mätdata genereras med hjälp av datorsimulationer. I den första uppgiften skulle man med hjälp av en kompass i markplanet bestämma läget för en nedgrävd kopparledning, i den andra mäta temperaturer för att bestämma en metallstavs termiska egenskaper.

– Jag, som är fascinerad av datorer, tyckte det var ett mycket bra koncept, fortsätter Leo. Men det är ju en helt annan sak jämfört med verkliga experiment, på



En av teoriuppgifterna utgick från detta foto av en glaskula. På kulans baksida har en smal tråd limmats fast. När kulan fotograferas i dikromatiskt rött och violett ljus avbildas en liten bit av tråden som ellips. Varför?

både gott och ont. Den första simuleringsuppgiften gillade jag mycket, den andra var jag ganska chanslös på för den handlade om ett område jag inte vet så mycket om. Jag skulle absolut vilja ha mer av motsvarande uppgifter i gymnasieskolan. Den här typen av uppgifter kräver mycket eget och nytt tänkande, medan det i gymnasiet ofta går ut på att lära sig hantera olika återkommande standarduppgifter. Samtidigt är den typen av träning också väldigt viktig, och gillar man olympiadproblemen finns det många sådana som man på egen hand kan leta upp och sitta och klura på.

Mer fysik i höst

Det blir mer fysik för Leo, nu i höst väntar teknisk fysik på LTH i Lund:

– Det kan nog bli superkul! Jag har lärt mig väldigt mycket nytt av att ha varit med i Wallenbergs fysikpris och olympiaderna. Det har påverkat mitt intresse för fysik,

och framförallt har vissa områden som jag tidigare inte tyckte så värst mycket om blivit mycket mer intressanta. Mina medolympier har med stort engagemang och massa intressanta diskussioner också ökat mitt intresse!

Blev du förvånad över medaljen?

– Klart jag blev lite förvånad, jag var beredd på ett stort nederlag men det gick ju ganska bra till sist!

Slovenien nästa

Uttagningen av det svenska laget sker via Wallenbergs fysikpris och vi tackar varmt för det ekonomiska stödet från Stiftelsen Marcus och Amalia Wallenbergs Minnesfond. Nästa år räknar EuPhO med att kunna arrangera en olympiad på plats igen, då i Sloveniens huvudstad Ljubljana.

ANNE-SOFIE MÄRTENSSON
Göteborgs universitet

Detta är den andra av fyra artiklar med vinjetten **konst och fysik**. I den här artikeln fokuserar vi på himlafenomen – regnbåge, halo, sol och måne – i konsten.



Peter Paul Rubens,
Landskap med regnbåge (ca 1632–1635).

Himmelsk fysik i konsten

*My heart leaps up when I behold
A rainbow in the sky:
So was it when my life began;
So is it now I am a man;
So be it when I shall grow old,
Or let me die!*

William Wordsworth

Regnbågen

Regnbågen har alltid gjort stort intryck på oss människor, som ovanstående dikt av William Wordsworth (1770–1850) visar. I Bibeln (1 Mosebok 9:13) står att gud sa: ”Min regnbåge sätter jag bland molnen. Den ska vara tecknet för förbundet mellan mig och jorden”. I fornnordisk gudstro är regnbågen en bro som leder från jorden till himlen. Där kallas den bifrost, med uttalet biv-råst (jämför ”Sif” uttalat som

”Siv”). Det har alltså ingenting med kallt väder att göra.

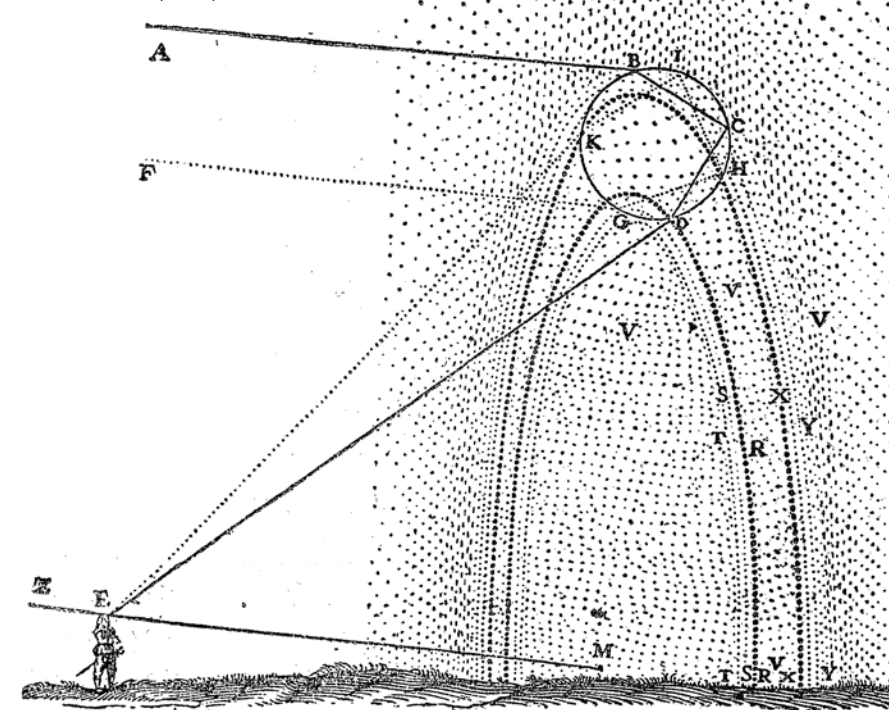
På konstmuseer finns många avbildningar av regnbågar. Ett exempel är Peter Paul Rubens målning *Landskap med regnbåge* som hänger i Eremitaget i St. Peterburg. För de flesta av oss är det nog bågens traditionella sju färger vi tänker på, med minnesramsan ”ROGGBIV” för rött, orange, gult, grönt, blått, indigo och violett. Men för en fysiker borde det vara en annan egenskap som är viktigast, nämligen att bågen utgör gränsen mellan ett ljust och ett mörkt område. Rubens målning visar detta tydligt.

Den gjordes bara några år innan René Descartes år 1637 publicerade sin välkända förklaring av hur färgerna uppkommer (se bild på nästa sida). Bågens tänkta

centrum, M ligger på en rätt linje från solen genom betraktarens huvud. Solens strålar reflekteras och bryts i regndropparna längs banan ABCDE.

Alla droppar innanför bågen som träffas av ljuset från solen kommer att återkasta ljus mot betraktaren under olika vinkel mot linjen EM i figuren. Som högst är vinkeln ca 42°. Det är samma fenomen som är känt under begreppet minimideviation vid ljusbrytning i ett prisma. Eftersom minimideviation (i det här fallet svarande mot vinkeln 42°) innebär ett extremvärde kommer extra mycket ljus att återkastas i närheten av denna riktning. Och eftersom brytningsindex för ljus i vatten beror av våglängden blir det ”vita” solljuset uppdelat i färger, liksom i ett glasprisma. Sammantaget

Ur René Descartes *Discours de la méthode* (1637).



innebär detta det ett ljusstarkt, färgat band.

I Rubens målning ser man ytterligare en båge utanför den primära. Också detta förklarade Descartes. Det svarar i hans figur mot gränsfallet att ljuset går vägen FGHKE. Mellan den inre och den yttre regnbågen kan inget ljus nå betraktaren efter reflektion och brytning i vattendropparna. Det området är känt som Alexanders mörka band, efter Alexander från Afrodias som beskrev det cirka år 200. Den yttre bågen blir inte lika ljusstark som den inre, eftersom ljuset i det fallet reflekteras en extra gång i droppen. Vi noterar också att färgerna kommer i omvänd ordning jämfört med den primära bågen.

Men konstnärer har frihet att tolka sitt motiv på olika sätt. Rubens har flera andra landskapsmålningar av regnbågen där partiet innanför bågen inte alls är märkbart ljusare. En mycket känd målning från 1831 av John Constable, *Salisbury Cathedral from the Meadows*, visar ingen som helst ljusare del innanför bågen.

Det är inte bara i regnväder blandat med solsken som man kan få se en regn-

båge. Både vid vattenfall och i kaskaden av droppar från en sprinkler på gräsmattan kan det bli regnbågar. Men mitt dagen på midsommarafton kan man inte i Sverige se en äkta regnbåge. Då står solen så högt på himlen att bågens övre del skulle falla under horisonten. På eftermiddagen skulle man kunna se en regnbågsuppgång när solen sjunker allt lägre.

Halo

Halofenomenet syns främst som en ljus ring med centrum i solen och en radie som upptar vinkeln 22°. Liksom regnbågen har det sitt ursprung i minimideviation, men nu i hexagonalt stavformade iskristaller, bara hundradels millimeter långa, som på hög höjd tumlar runt slumpvis medan de faller ner. För att man inte skall bländas av solen måste den vara skymd, till exempel av ett träd. Sträck ut armen rakt, och spär ut fingrarna. Om tummen placeras mitt för solen kommer lillfingret att hamna ungefär vid haloringen.

I Sverige kan man typiskt se halofenomen varje vecka, året om. De är alltså mycket vanligare än regnbågar! Ibland är iskristallerna platta skivor som ger upphov till så kallade bisolar vid en lågt stående



I John Constables *Salisbury Cathedral from the Meadows* (1831, National Gallery, London), syns ingen skillnad på ljuset innanför och utanför regnbågen.



Vädersolstavlan (1600-talskopia av målning från 1535) visar halofenomenet.

sol, placerade ”klockan nio och klockan tre” på haloringen. Andra former och orienteringar kan ge olika ljusmönster runt solen.

Vädersolstavlan i Storkyrkan i Stockholm, av Urban målare, visar halofenomen. Det är också den äldsta kända bilden av Stockholm. På tavlan står ”Anno Domini 1535”. Det är dock en kopia från 1600-talet. Vad som hänt med originalet är okänt. Den primära ljusringen är korrekt återgiven men bisolarna och övriga

► ringar kan inte ha former och placeringar som på tavlan – kanske ytterligare exempel på konstnärens frihet.

Större nära horisonten?

Det är välkänt att solen och månen tycks mycket större när de är nära horisonten. Det har inget med fysik att göra utan är ett fenomen som uppkommer i vår hjärna. Den ljusa skivan upptar alltid ungefär samma rymdvinkel, både för solen och månen – det är därför månen bara under en kort stund nätt och jämnt täcker solen vid en total solförmörkelse. Rymdvinkeln är förvånansvärt liten. Den motsvarar ungefär hålet efter ett hålslag genom att papper som hålls på armlängds avstånd från ögat.

Ännu finns ingen allmänt accepterad och tydlig förklaring till fenomenet, trots många experiment. Man har gjort försök med ljusbilder på väggen i ett mörklagt rum. I andra fall har observatören legat ner istället för att stå upp. En vanlig förklaring är att vi omedvetet jämför med storleken på kända föremål vid sidan av månskivan, men även denna idé har stora brister. I ett experiment ombads försöks-personer att sträcka ut armen så att den delar himmelskvadranten mitt itu, det vill säga bildar 45° vinkel mot marken. Det visar sig att de flesta pekar för lågt, typiskt i riktningen 30° mot marken, vilket stämmer med att vi felbedömer rymdvinklar nära horisonten.

Många konstnärer har fascinerats av den lysande skivans skenbara storlek. Ett exempel är den här ovan återgivna bilden av Honoré Daumier. Som ett mått på hur månskivans storlek överskattats kan vi räkna ut på vilket avstånd L från fönstret som konstnären betraktat scenen om den tolkas rent fysikaliskt. Måndiametern upptar synvinkeln $0,5^\circ$. Samtidigt täcker den ungefär $1/4$ av fönstrets bredd d . Om vi antar att $d = 1$ m får vi approximativt att $d/(4L) = (0,5/180)\pi$ som ger $L = (d/2)(180/\pi) = 29$ m. Det måste vara ett mycket stort rum som konstnären står i!

Samma resonemang kan man göra för Vincent van Goghs målning *Såningsmannen* (se tidningens framsida och sidan 2). Huvudets bredd upptar



Honoré Daumier, från albumet *Le Bas-bleu*, *Blåstrumporna* (1844).

bara ca $1/5$ av månens bredd, eller vinkeln $0,1^\circ$. Konstnären bör alltså ha stått minst hundra meter från trädet och mannen.

Varför är himlen blå och solen gul?

Det är faktiskt bara drygt 100 år sedan man slutgiltigt kunde förklara himlens blå färg mitt på dagen och dess röda färg vid soluppgång och solnedgång. Färgen beror på att små partiklar sprider ljus med kort våglängd mer än de sprider ljus med längre våglängder. Det visade John Tyndall på 1860-talet. Effekten kan demonstreras i ett enkelt experiment där man riktar en smal ljusstråle från en ficklampa mot sidan av ett glas fyllt med utspädd mjölk. Mjölkens färg får en blåaktig färgton medan lampans stråle betraktad genom glaset får en orange nyans. Att titta upp mot den blå himlen motsvaras av att titta från sidan mot mjölkglaset.

Men vad för små partiklar i atmosfären var det frågan om? Tyndalleffekten gäller partiklar som är bara något mindre än typiska ljusvåglängden. I en artikel från 1871 visade Lord Rayleigh att ljus sprids från atomer och molekyler som $1/\lambda^4$, där λ är ljusets våglängd. Kanske räckte det med luftens molekyler för att förklara den blå färgen? Det kunde man inte vara säker på förrän i början av förra seklet, när Avogadros konstant blev noggrant känd. Men Tyndalleffekten kan ibland vara be-



Edvard Munch, *Skriet* (1893, Nasjonalmuseet, Oslo).

tydande, vilket visas av de särskilt färggranna solnedgångarna när ett vulkanutbrott har fyllt atmosfären med mängder av små partiklar.

Solens ljus är ”vitt” men den ser gul ut när den är nära horisonten. Van Goghs målning visar detta tydligt, och barn brukar måla solen gul. På liknande sätt är det med månens färg. Erik Axel Karlfeldt skrev 1898 i *Sång efter skördeanden* att Fridolin lyfter sin mö ”mot höstmånens röda kastrull”. När solen eller månen står nära horisonten har deras vita ljus lång väg att gå genom atmosfären. Då sprids det mesta av det blå ljuset åt sidan, och övervägande gul-röda komponenter når det betraktande ögat. När ljuset från en lågt stående sol reflekteras mot moln kommer på samma sätt molnen att flamma i rött, som på Edvard Munchs målning *Skriet*.

Slutord

Vi har sett att ett konstverk ibland återger ett fysikaliskt fenomen på ett naturtroget sätt. Men en konstnär har full frihet att avbilda efter sitt eget intryck, såväl regnbågar och halofenomen som solen och månen eller blodröda solnedgångar. Det är just denna frihet som gett oss några av konsthistoriens mest kända bilder.

GÖRAN GRIMVALL

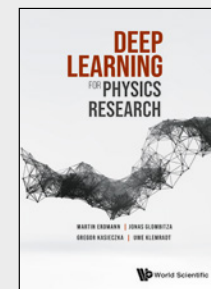
professor emeritus i teoretisk fysik, KTH

World Scientific Physics Books & References

Propel your research with a collection of over 3000 high-quality titles in physics and astronomy. Find out more at tinyurl.com/ws2021phy

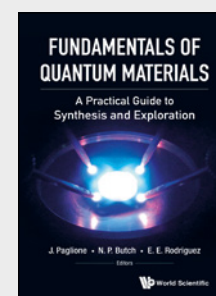
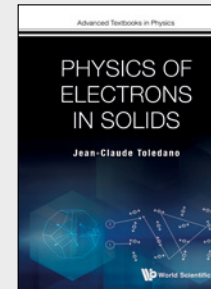
Deep Learning for Physics Research

Addresses physics students and physicists who want to understand what deep learning actually means, and how to apply it to their own scientific projects. Provides hands-on exercises with python code and training data.



Physics of Electrons in Solids

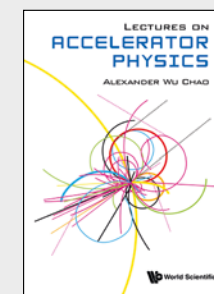
This textbook introduces the study of noninteracting electrons in solids. The central chapters are devoted to the quantum states of an independent electron in a crystal and to the equilibrium properties of conductors, insulators, and semiconductors.



Fundamentals of Quantum Materials

A Practical Guide to Synthesis and Exploration

Compiles fundamental and practical guides on the modern methods of quantum materials synthesis.



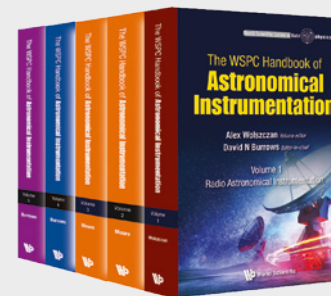
Lectures on Accelerator Physics

“...a clearly written textbook covering all the important aspects of the subject, emphasizing physical concepts and the richness of the field.”

Claudio Pellegrini,
Professor Emeritus, UCLA

The WSPC Handbook of Astronomical Instrumentation (In 5 Volumes)

Covers radio, IR, optical, UV, X-ray and gamma ray astronomical instrumentation comprehensively as the first of its kind. The target audience is graduate students as well as practitioners interested in transitioning to another wavelength band.

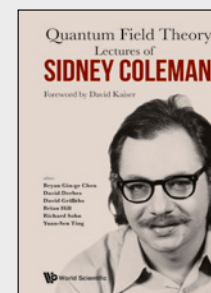


Lectures of Sidney Coleman on Quantum Field Theory

Foreword by David Kaiser

“Sidney’s legendary course remains fresh and bracing, because he chose his topics with a sure feel for the essential, and treated them with elegant economy.”

Frank Wilczek,
Nobel Laureate in Physics 2004



International Journal of Modern Physics B & Modern Physics Letters B

Condensed Matter Physics • Statistical Physics • Atomic, Molecular and Optical Physics

35TH
ANNIVERSARY

35 Years of Publishing,
68 issues with more
than 700 research
and review articles
published each year.

2020
Impact Factor
IJMPB
1.219
46% increase

2020
Impact Factor
MPLB
1.668
36% increase

Featured Articles

Spin Berry points as crucial for ultrafast demagnetization
G. P. Zhang, Y. H. Bai (Indiana State University) and Thomas F. George (University of Missouri–St)

New paradigm for glassy-like anomalies in solids from fundamental symmetries

Matteo Baggioli (Universidad Autonoma de Madrid & Shanghai Jiao Tong University) and Alessio Zaccone (University of Milan & University of Cambridge)



Find out more at
worldscientific.com/ijmpb
worldscientific.com/mplb



En decimeter historia: om Fabian Wrede

Att vi idag använder oss av metersystemet i stället för fot, tum och alnar är nog de flesta glada och tacksamma för. En av dem som var med och arbetade för att Sverige skulle införa så väl metersystemet som systemet att räkna med decimaler var militären **Fabian Wrede**, som skrev vetenskapliga arbeten och konstruerade diverse fysikaliska instrument på sin fritid.

"Han ifrade varmt för införandet av decimalsystemet och metersystemet i svenska mått och vikter och utförde ett stort och duktigt arbete på detta område".

(ur Svante Arrhenius biografi över Wrede)

Fortfarande kan man i vår tid hamna på en brädgård där det talas om spikar och bräder i tum-mått, och man kan ana att det funnits en tid med en för oss närmast oöverskådlig och främmande mängd av längdmått, ytmått, volymmått och viktmått. Som om detta inte var nog räknades det inte heller i decimalsystem. I vissa fall användes talsystem med 10 som bas, men väl så ofta med 12. För tid och vinklar brukar vi fortfarande system med 12 som bas. Och trots att man använde räkneord baserat på tiotal dröjde det innan decimaler kom i bruk.

Det faktiska behovet av internationellt enhetliga mått och vikter kom att accentueras under 1800-talet med den omfattande industrialiseringen. 1847 författade den svenske officeren Fabian Wrede en räknelära där han pedagogiskt motiverade fördelarna med decimalsystemet, men det var fortfarande fråga om fot även om man gick från verktrum till decimaltum. En fot hade varit 12 verktrum, en verktrum var 12 linjer och så vidare. Nu blev 1 fot 10 decimaltum, 1 decimaltum blev 10 nylinjer ända ner till en skrupel (10 000 skrupel motsvarade 1 svensk fot). Detta system var i bruk mellan 1855 och 1889.

Vem var denne Fabian Wrede?

Han föddes 1802 och då hans far var fältmarskalk var det kanske inte konstigt att den unge Fabian sattes på Karlberg redan som 12-åring och tre år senare fick officersfullmakt. Så småningom kom han att sluta sin militära bana som generallöjtnant och chef för artilleriet. Han konstruerade räfflade kanoner och gevär till det svenska försvaret, och där någonstans kanske vi kan ana att Wrede hyste intresse för mekanik och naturvetenskaper. Men även om han under flera år var lärare i matematik och fysik på Högre artilleriläroverket i Marieberg var han hänvisad till att göra experiment och bygga vetenskapliga instrument på sin fritid.

SOM KAN FÖRSTÅS AV detta var Wrede inte ett samhällets olycksbarn, men uppväxten var enligt uppgifter känslomässigt torftig. Han var tidigt intresserad av hur saker och ting fungerade och när han själv var elev på Marieberg fick han god undervisning. Året efter att han som 22-åring lämnat Marieberg gick han på Berzelius föreläsningar på Karolinska Institutet och blev efterhand vän med den berömde kemisten. Wrede och Vetenskapsakademiens instrumentmakare gjorde en av de allra första dagerrotyperna i Sverige då de 1 oktober



Fabian Wrede 1839.

1842 porträtterade Berzelius. Vänskapen ledde till att Wrede flera år senare i ett par årgångar av Berzelius berömda *Årsberättelser* hjälpte kemisten med att skriva fysikdelen.

På mödernet var Fabian Wrede kusin med Fredrika Bremer och det finns en hel del korrespondens de två emellan där det framgår att Wrede hjälpte kusinen

med att läsa hennes texter och få dem utgivna. Han blev även invald i Musikaliska akademien sedan han lyckats stämma ett ovanligt musikinstrument, även om han senare beklagade sig över ordningen i just denna akademi. Han var alltså inte uteslutande naturvetenskapligt orienterad, men mekaniska apparater intresserade honom i högsta grad. När den första symaskinen kom till Sverige lät han snabbt skärskåda den och med hjälp av Vetenskapsakademiens instrumentmakare Sörensen konstruerade han en egen variant som hans hustru begagnade och som han fick reparera mellan varven.

MEN HUR VAR DET med de vetenskapliga arbetena och instrumenten? När Fabian Wrede utnämndes till överste flyttade familjen till Nybrogatan i Stockholm. Allt eftersom han steg i graderna kunde våningen utökas med rum så att han till slut kunde ha "en mycket stor sal till

arbetsrum, där han hade god utrymme för alla sina vetenskapliga instrument". Allra lyckligast blev han kanske när han vid 65 års ålder tog avsked ur militären och fick mer tid att ägna sig åt sina vetenskapliga arbeten.

I Vetenskapsakademiens föremålsarkiv finns två föremål som tillskrivs Wrede, det första med den något diffusa benämningen: "apparat". Vid närmare konsultation av Vetenskapsakademiens protokoll från 12 september 1860 kan vi emellertid läsa att "Friherre Wrede [...] föreför 2^{ne} instrumenter, ämnade att, vid föreläsningar i Optiken, förtydliga tvänne polariserade ljusvågssystemers inflytande på hvarandra." Om vi hoppar fram ett par decennier och tittar i Svanström & Co:s katalog över undervisnings- och åskådningsmaterial från 1880 finner vi att just detta instrument var möjligt för läroverk vid god kassa att köpa in för 325 kr. Där kallas det för "Wredes apparat för rätlinjigt polariserade etervågor". Där fanns även en något billigare "Wredes apparat för ljudvågor" att beställa. Om den första apparaten kan vi läsa att den: "visar dels en enkel, fortskridande våg, dels tvenne med samma riktning i hvilken fasskillnad man önskar och deras fortskridande interferensvåg, samt dessutom den stående våg, som uppkommer då de primära vågorna gå i motsatta riktningar". Förutom dessa två apparater hade Wrede flera andra konstruktioner på sitt samvete. Bland annat en galvanometer, några magnetiska rese-instrument och spektroskop samt en prisbelönt ljusvågsmaskin.

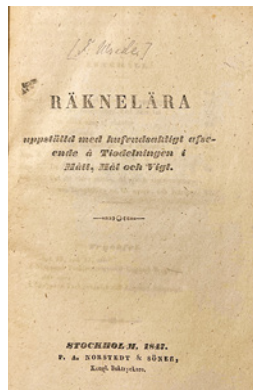
GENOM HISTORIEN HADE TVÅ skilda synsätt på ljusets natur förekommit: att det antingen var ljuspartiklar eller ljusvågor. Inget av lägren lyckades förklara alla optiska fenomen, men den unge Wrede kom att ansluta sig till det senare lägret och framhöll undulationsteoriens förtjänster. Särskilt är det att märka i hans uppsats "Försök att härleda ljusets absorption från undulations-teorien" publicerad i *Vetenskapsakademiens Handlingar* 1834. Det Wrede sökte göra i detta arbete var att motbevisa Brewster, som höll fast vid Newtons emissionsteori, även om de flesta vid denna tid förespråkade Fresnels



Vetenskapsakademiens exemplar av Wredes apparat, som möjligen är det exemplar som föreförades på Vetenskapsakademien 12 september 1860.



Wredes apparat för rätlinjigt polariserade etervågor till försäljning för läroverk i Svanströms katalog från 1880.



Wredes *Räknelära* från 1847 vittnar om hans intresse för decimalsystemet.

teori om ljusvågor. Huvudkritiken från Brewster kom sig av att han undersökt ljus som passerat genom brom- eller jodångor och då sett ett antal mörka linjer i dessa spektra. Och det kunde inte förklaras med ljus som vågor. Wrede menade att det istället borde kunna betraktas som ett interferensfenomen, och även om inte heller hans teori hållit tidens granskning så torde detta arbete vara anledningen till att han året därpå invaldes i Vetenskapsakademien. Artikeln publicerades även i *Annalen der Physik* 1834, och han fick också det Letterstedtska priset för den 1863.

WREDES INTRESSE FÖR räknelära och decimalsystemet var säkert en bidragande orsak till att han utsågs till svensk representant vid den internationella permanenta meterkommissionen och under flera år reste till Paris och Sévres för att

delta i dessa förhandlingar från dess första möte 1870. Meterkonventionen slöts 20 maj 1875, varpå Sverige under en tioårig övergångsperiod med start 1878 införde metersystemet. Därmed kan man säga att det arbete som påbörjats med decimalsystemet 1855–1889 hade gått i mål.

KARL GRANDIN
Centrum för Vetenskapshistoria, KVA

Läs mer

Fabian Wrede, "Försök att härleda ljusets absorption från Undulations-Teorien", *Kungl. Vetenskapsakademiens Handlingar*, (1834), 318–353.

Fabian Wrede, *Räknelära: Uppställd med hufvudsakligt afseende på Tiodelningen i Mått, Mål och Vigt*, (Stockholm, 1847).

Översikt över KVA:s förhandlingar 1860, nr. 7, s. 305.

Svante Arrhenius, "Fabian Jacob Wrede", *Lefnadsteckningar öfver Kungl. Svenska Vetenskapsakademiens ledamöter*, 91, bd. 5 (1918), 480–534.



FOTO: PIXABAY

Lättläst uppslagsbok om en favoritdryck för fysiker

Kaffeologi – Myter och forskning om en älskad dryck

Bertil Fredholm
(KVA, Nobelkommittén,
2 år ordf.)

Förlag: Fri Tanke
Utgivningsår: 2021
ISBN: 978-91-8913-996-1
Antal sidor: 368



”Kaffeologi – myter och forskning om en älskad dryck”, handlar kanske inte om fysik, men utan kaffe hade det gått väldigt långsamt på de flesta av våra fysikinstitutioner och många är de skrivbord där det just nu står en kaffekopp. För att trösta er som saknar fysikkopplingen så kommer det här bredvid två små experiment som ni kan göra med en kaffekopp.

BERTIL FREDHOLM HAR FORSKAT på kaffets (eller snarare koffeinet) effekter på människor i 40 år. Eftersom vi är många som dricker kaffe plockas nya rön ofta upp i dagspressen, men där får forskarna tyvärr sällan möjlighet att prata till punkt, eller resonera kring de nya fynden. Nu, som professor emeritus i farmakologi, vill Bertil berätta hela historien om kaffet, både om dess roll som kulturbärande dryck och om kaffets kemi och dess för-

och nackdelar för oss som dricker kaffe. En sammanfattning av de senare är:

Om du är gravid och/eller har lätt att drabbas av ångest ska du kanske vara lite försiktig med hur mycket kaffe du dricker, men för övriga är det ingen fara, det kanske till och med är nyttigt!

BOKEN ÄR SKRIVEN i två delar, där den första ger en allmän beskrivning om kaffe, från kaffets historia till dess kemi. I den andra, något mastigare, delen går Bertil in på sitt specialområde – kaffets effekter på olika organsystem. Flera av kapitlen i den andra delen utgår från olika mer eller mindre välkända myter om kaffe.

Boken har ett trevligt upplägg, dels detta att olika kapitel kopplar till olika myter, och dels att de olika kapitlen går att läsa ganska oberoende av varandra. För visst går det att läsa boken från början till slut, men den kan ibland kännas lite långsam och det är lätt att lägga undan den till förmån för andra sysslor. Det märks att redaktören har gått Bertil till mötes och låtit honom tala till punkt, men det har resulterat i en aning för lång bok.

Som tur är går det utmärkt att plocka upp ”Kaffeologi” och läsa ett kapitel här och ett där när man känner att man är nyfiken på något. Boken har svar på de flesta



Bertil Fredholm.

FOTO: FRI TANKE FÖRLAG/PRESSFOTO

frågor man kan tänka sig om kaffe. Om man undrar hur koffein påverkar prestation och idrott bläddrar man bara fram till det kapitlet och läser där en stund, innan man hoppar tillbaka och läser om vilka likheter det finns mellan adenosin och koffein. På det hela taget fungerar boken bäst som en lättläst uppslagsbok där man läser lite när man funderar på något – en bok att ha liggande på ”kaffebordet” helt enkelt.

JOHAN MAURITSSON
Lunds universitet

2 Enkla experiment med en kopp kaffe

■ Målare vänder sig gärna till sin närmaste omgivning när de letar inspiration, och det är nog därför så många stilleben föreställer stafflin eller penslar i en burk. Att det finns så många fysikexperiment med kopplingar till en kaffekopp tolkar jag på samma sätt. När en fysiker inte kommer på ytterligare en tentauppgift vänder hen sig till det som är närmast till hands – och där står kaffekoppen!

De flesta har nog läst om Stephen Hawkings berättelse där han på en tentamen resonerade om hur man ska göra för att kaffet ska hålla värmen så länge som möjligt. Ska man hålla i mjölken redan när man hämtar sitt kaffe eller ska man vänta tills man kommer tillbaka till kontoret? Och varför gör det någon skillnad? Några av oss har dessutom haft nöjet att lyssna till Hans Uno Bengtssons föreläsning om ”tankar vid en kaffekopp”. Två experiment som Hans Uno inte pratade om handlar om ljud och resonanser. De här experimenten är enkla att göra, och kan leda till bra diskussioner med era elever och studenter:

1 Om man håller sin kaffekopp i örat och knackar med en sked längs kanten hör man tydligt hur tonen

ändras beroende på var längs kanten man knackar. Om du råkar sitta med en modern kaffekopp utan öra och undrar vad jag pratar om får du gå och hämta en ny kaffekopp, som har ett öra...

När du knackar på koppen skapar du en stående våg längs kanten, med bukar och noder. Beroende på om koppens öra hamnar i en buk eller i en nod påverkas hur snabbt koppen vibrerar, och alltså även vilken ton du hör.

2 Under tiden som du sitter och funderar över varför ljudet ändras beroende på var du knackar med skeden noterar du att ljudet också förändras efterhand som du dricker ur koppen. När koppen nästan är full ger knackningarna ett ganska dovt, mörkt ljud, men ju mer av kaffet du dricker, desto högre blir tonen. Du blir först lite konfunderad. Experimentet påminner om att blåsa en ton i en flaska, men då blir ju tonen istället lägre när du dricker ur innehållet!

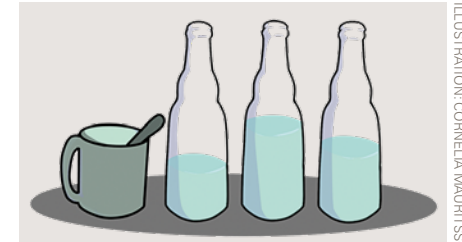


ILLUSTRATION: CORNELIA MAURITSSON

När du knackar på en kaffekopp blir tonen högre ju mer av kaffet du hunnit dricka, till skillnad från när du blåser toner på en flaska, och ljudet blir dovre ju mindre vätska det är i flaskan.

När du blåser över flaskan skapas ljudet (som i en orgelpipa) med en stående våg i luftpelaren mellan vätskeytan och flaskmyrningen. När denna pelare blir längre, blir våglängden på den stående vågen längre, och frekvensen lägre. När du istället knackar på kaffekoppen (eller på flaskan) så måste hela koppen börja vibrera, och innehållet med den. När koppen är full med kaffe är det en större massa som måste sättas i svängning och tonen blir alltså lägre än när koppen är tom och massan mindre.

JOHAN MAURITSSON
Lunds universitet



För att utföra experimenten behöver du en kaffekopp med öra. Den behöver dock inte vara lika fin som den här koppen i flintporlin från 1800-talet, troligen från Gustavsberg.

FOTO: J. LUDWIGSSON/ KULTURPARKEN SMÅLAND/SMÅLANDS MUSEUM

Blod – men varken svett eller tårar

I förra numret av *Fysikaktuell* beskrevs hur man gör för att mäta blodtrycket. Nu är det dags att titta närmare på hur **flödet inuti kroppen** fungerar.

Blodvolymen hos en vuxen person är cirka 5 liter, varav 20 procent finns i artärerna, 5 procent i kapillärerna och resten i venerna. Det mesta av vårt blod finns alltså som ett slags ”reserv” i venerna. Hjärtat pumpar cirka 5 l/min och pulsen känns i artärerna, medan trycket är lågt och flödet nästan konstant i venerna. Medelhastigheten i aorta är $v_a = 1$ m/s och arean av tvärsnittsyta $A_a = 5$ cm². I kapillärerna är hastigheten $v_k < 1$ mm/s. Då blodet inte försvinner eller stockar sig ger kontinuitetsekvationen $v_a A_a = v_k A_k$ att totala arean för kapillärerna är $A_k > 0,5$ m². Om diametern i en kapillär är 10 μm blir dess antal $6 \cdot 10^9$ st.

Flöde

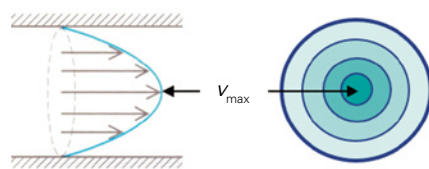
Även om blodet pulserar i artärerna kan flödet genom större delen av cirkulations-systemet betraktas som laminärt. I en åder kännetecknas flödet av koncentriska skikt som rör sig välordnat och de viskösa interaktionerna mellan intilliggande skikt ger en paraboliskt avtagande hastighet mellan mitt och kärlvägg (figur 1).

Flöde med förhinder

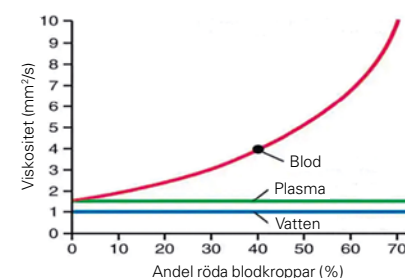
Om tryckskillnaden (Δp) driver en vätska genom ett rör kommer flödet (Φ) att begränsas av rörets radie (r), kontakten med väggarna, vätskans viskositet (η) och rörets längd (L). Är röret cylindriskt, styvt och betydligt längre än sin diameter, och flödet laminärt, kan det beskrivas av den franske fysikern Poiseuilles lag, uppställd 1841:

$$\Phi = \frac{\pi \Delta p r^4}{8 \eta L}$$

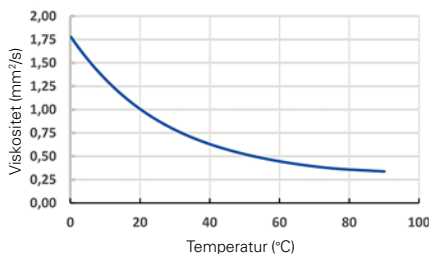
Även om blodådror är flexibla, och flödet inte alltid stabilt, icke-pulserande och



FIGUR 1 Laminärt flöde i ett cylindriskt rör med parabolisk hastighetsprofil.



FIGUR 2 Kinematiska viskositetens beroende av andelen röda blodkroppar.



FIGUR 3 Kinematiska viskositeten för vatten som funktion av temperaturen.

icke-turbulent är lagen viktig, eftersom den anger de variabler som är avgörande för flödesmotståndet. Exempelvis är radien höjd till fjärde potens, och en minskning av radien på grund av åderförkalkning med 10 % minskar flödet till 65 %.

I motsvarande samband för elektrisk

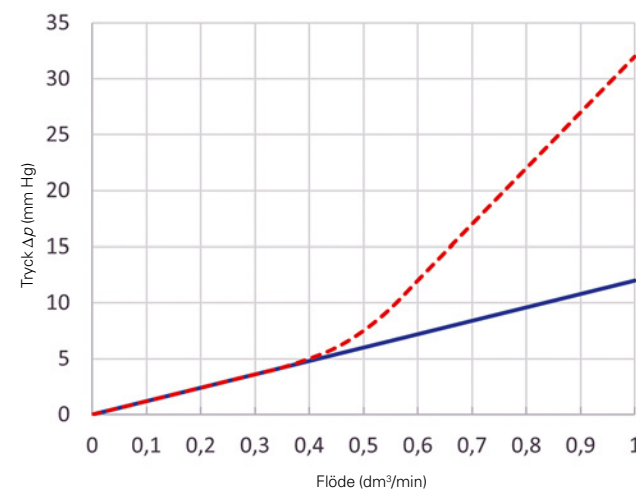
ström (Ohms lag) är radien höjd till andra potens, eftersom hastigheten där inte beror på avståndet till ledarens väggar. Motståndet härrör i stället från samspillet mellan de strömmande elektronerna och ledarnas atomer, vilket beskrivs med resistiviteten (ρ).

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{med} \quad R = \rho \frac{L}{r^2} \quad \text{ger} \quad I = \frac{U r^2}{\rho L}$$

Poiseuille mätte vilken kraft som krävdes för att övervinna olika blods trögflutenhet. Motståndet kallas dynamisk viskositet (η) och mäts vanligen i mPa·s. Vid samma tid som Poiseuille verkade mätte irländaren Stokes hur fort kulor sjönk i en vätska och hur fort en vätska rann under inverkan av tyngdkraften. Den varianten ger den kinematiska viskositeten (ν) som vanligen mäts i mm²/s. Den är beroende av vätskans massa eller densitet, vilka man kan normera bort och erhålla den dynamiska viskositeten ($\eta = \nu \rho$).

Det är svårt att mäta viskositeten för blod direkt och den anges därför i förhållande till vatten, som har cirka 1 mm²/s vid 20°C. Plasmas viskositet vid 37°C är 1,8 gånger vattnets och blodets viskositet är 3–4 gånger vattnets (figur 2). Skillnaden beror på andelen röda blodkroppar, som normalt ligger på 40 %. Viskositeten ökar icke-linjärt med andelen röda blodkroppar; ökar andelen blodkroppar med 50 % dubblas viskositeten. Skulle blodet bara bestå av röda blodkroppar skulle det ha en alldeles för hög viskositet och hjärtat bli överansträngt.

Viskositet är temperaturberoende – oljan i en fossilmotor blir mer trögflytande på vintern. På samma sätt ökar blodets viskositet när temperaturen sjun-



FIGUR 4 Övergång mellan laminärt (heldragen linje) och turbulent flöde (streckad linje).

ker, cirka 2 % för varje grads temperatur-sänkning (figur 3). När en hand eller fot utsätts för kyla flyter därför blodet sämre, fast motsatsen vore önskvärd.

Turbulens

En förträngning (stenosis) ger ökat tryck och efter passagen uppstår turbulens. Den kan orsaka irritation på kärlväggen, som i sin tur stimulerar bildning av blodproppar. Korotkovljuden som hörs vid mätning av blodtryck beror på turbulens. Lider man av blodbrist, anemi, är andelen plasma större och viskositeten lägre. Ett tränat öra kan höra att det mer lättflytande blodet ger en större turbulens då det trycks ut från hjärtat. Turbulens orsakar också oönskade ljud från vattenledningar och ventilations-trummor, speciellt efter krökar. För att få samma flöde vid turbulent strömning krävs större tryckskillnad Δp (figur 4).

Övergången från laminärt till turbulent flöde kan uppskattas (figur 4) med det, efter irländaren Reynolds 1883 uppkallade, dimensionslösa Reynoldstalet ($Re = v D \rho / \eta$), som är proportionellt mot kvoten mellan tröghetskrafterna och de viskösa krafterna, där v är medelhastigheten, D diametern, η dynamiska viskositeten och ρ densiteten. Om $Re < 2\,300$ anses rörströmningen vara laminär.

Blodtryck vid fotleden

Blodtrycket mäts i höjd med hjärtat. Vid operationer där patienten ligger ner är det

ofta praktiskt att i stället mäta vid ankeln, eftersom trycket bör vara samma där. Så är det inte alltid, men metoden duger för övervakning.

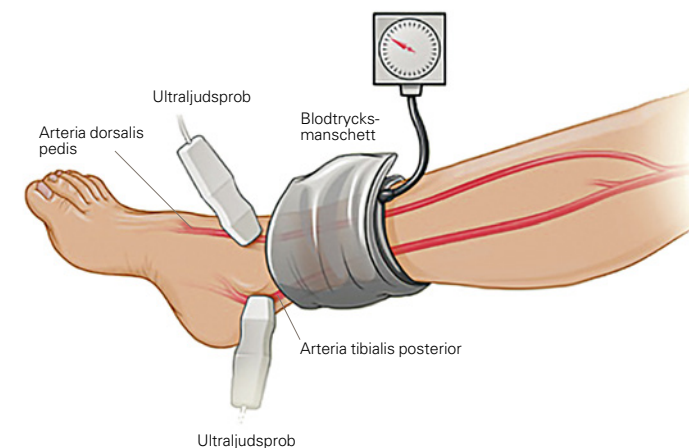
Ibland finns hinder i kärlen, och ankeltrycket blir lägre. Detta är viktigt att upptäcka på ett tidigt stadium, eftersom det kan leda till dålig syresättning och åkomor som till exempel fönstertittarsjuka eller bensår. Genom att jämföra mätning i armen med fotleden kan sådant avslöjas. Artärer i foten är dock svårare att känna av än de i armen. Stetoskopet ersätts därför med en dopplermätare för ultraljud. Dess prob hålls så att korotkovljuden hörs och systoliska trycket kan registreras (figur 5). För att minimera förlusterna vid ultraljudspassagen (2–8 MHz) mellan prob och hud används, precis som vid fosterdiagnostik, en gel med brytningsindex nära geometriska medelvärdet för prob och hud. Värdet 0,9–1,4 på kvoten ankeltryck/armtryck anses normalt.

Ansträngning

När man börjar träna behöver musklerna mer syre och hjärtat måste pumpa snabbare. Det ökar det systoliska blodtrycket. Under träningen utvidgas kärlen och blodflödet ökar. Beroende på person förblir det diastoliska blodtrycket oförändrat eller minskar något.

Leverans av syre och koldioxid

Blodets uppgift är att förse kroppen med



FIGUR 5 Mätning av blodtryck vid fotleden, där stetoskopet ersatts av en dopplermätare. Proben hålls nedanför manschetten.

syre. Det sker i kapillärerna som har så tunna väggar att utbyte av syre och koldioxid kan ske med diffusion mellan blodet inuti kärlen och kärlväggarnas celler. Det beskrivs av den ekvation för diffusion som tysken Fick ställde upp 1885:

$$J = -D \frac{dc}{dx}$$

där J = massflöde per area och tid (kg/m²·s), D = diffusionskoefficienten (m²/s) och dc/dx = koncentrationsgradienten (kg/m⁴).

Den högre koncentrationen av syre i blodet driver således på transporten till cellernas mitokondrier. Där produceras ATP (adenosintrifosfat) och syre förbrukas, varvid bland annat koldioxid avges. Koncentrationen av koldioxid höjs därmed och den diffunderar åt motsatt håll, in i blodet. Eftersom blodet transporterar bort koldioxiden förblir koncentrationen lägre än utanför blodkärlen. Diffusion av olika molekyltyper, som syre och koldioxid, kan antas ske oberoende av varandra.

Nästa gång

Artikeln i nästa nummer kommer att handla om högt och lågt yttre tryck, som dyk- och höjdsjuka, varför vi människor blir yra i huvudet när vi reser oss hastigt när giraffer inte blir det, samt åtgärder mot hypertoni.

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**

