

KVANT

September 3
2014

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 25. årgang

- BAG KULISSENE I LHC
- HJØRNESTENEN GAIA ER I BANE
- FYSIKLEGESTUENS YNDLINGSFORSØG
- ASYMMETRIEN I SUPERNOVAEKSPLOSIONER
- ELEKTRONMIKROSKOPI FOR GYMNASIEELEVER
- SPILLERE HJÆLPER KVANTECOMPUTEREN PÅ VEJ
- KIRSTINE MEYERS LEGAT UDDELT VED SNU'S JUBILÆUM
- FYSIK-ÅRSMØDER OG KIF-PRISEN
- PIAZZIS FLYVENDE STJERNE
- BREDDEOPGAVE OM FISK
- KVANT-NYHEDER

Løssalgspris: 50 kr.

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

c/o Niels Bohr Institutet
Universitetsparken 5
DK-2100 København Ø

Hjemmeside : www.kvant.dk
E-mail : kvant@kvant.dk
Facebook  : KVANT.fysiktidsskrift
ISSN (trykt) : 0905-8893
ISSN (web) : 2245-4942

Udgives af

Astronomisk Selskab,
Dansk Fysisk Selskab,
Dansk Geofysisk Forening,
Selskabet for Naturlærers Udbredelse,

Redaktion

Michael Cramer Andersen (ansv. red.),
Christianshavns Gymnasium
Natalia Golubeva,
Aarhus Universitet
Mogens Esrom Larsen,
Institut for Matematiske Fag, KU
Steen Lærke (astro@kvant.dk),
Astronomisk Selskab
Sven Munk (nyhedsredaktør)
John Rosendal Nielsen,
Aurehøj Gymnasium
Jens Olaf Pepke Pedersen,
DTU Space
Finn Berg Rasmussen,
Niels Bohr Institutet, KU
Svend Erik Rugh
Torben Westerberg (korrektur)

Abonnementspris : 180 kr/år.

Kvant udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber.
Henvendelser vedr. abonnement til Christine Pepke Pedersen: christine@kvant.dk (tlf. 27 51 01 76).

Annoncer

1/1 side: 3600 kr, 1/2 side: 2400 kr
1/4 side: 1600 kr.

Priserne er excl. moms og for reproklart materiale i farver. Henvendelser om annoncer til redaktøren på: kvant@kvant.dk (tlf. 22 67 26 42).

Tryk

Vestergaards Bogtrykkeri ApS.
Oplag: 2200.

Produktionsplan

Nr. 4-14 udkommer ca. 15. december
Nr. 1-15 udkommer ca. 15. marts
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages to måneder før.

Indhold:

Teoriopgaverne ved Den Internationale Fysikolympiade i Danmark juli 2013

Henrik Bruus og Jens Paaske 3

Legestuens yndlingsforsøg

Christian Berrig og Adam Mielke 7

Asymmetrien i supernovaeksplosioner

Allan Hornstrup, Niels J. Westergaard og Finn E. Christensen 10

Hjørnesteinen Gaia er i bane

Erik Høg 14

Foreningsnyt – foredrag i efteråret 2014 18

KVANT-nyheder

Sven Munk 19

Piazzis flyvende stjerne

Michael Quaaade 22

Bag kulisserne i LHC

Christian Buhl Sørensen 24

Elektronmikroskopi for gymnasieelever

Louise Sejling Haaning 26

Kirstine Meyers legat blev uddelt ved SNU's jubilæum

Dorte Olesen 28

Fisk – breddeopgave 60 med didaktisk kommentar

Jens Højgaard Jensen 29

Spillere hjælper kvantecomputeren på vej

Jens Jakob W.H. Sørensen, Mads Kock Pedersen og Jacob Friis Sherson 31

Fysik-årsmøder og KIF-prisen

Jørgen Schou og Mette Marie-Louise Grage Bagsiden

Billedet på forsiden viser stjernehimlen meget tæt omkring himlens nordpol i en eksponering på 5 timer. På grund af Jordens rotation trækker hver stjerne et spor på en cirkelbue. Den kraftige røde stjerne nederst i billedet er Polaris (Nordstjernen), der befinder sig knap 45 bueminutter (halvanden gange Månens diameter) fra himlens nordpol. Det er overraskende at se så mange svage stjerner som er længere mod nord end Polaris. Det kan også overraske, at farven af Polaris er rød, idet Polaris typisk er hvid på tilsvarende billeder optaget med vidvinkel. Billedet er sammensat af 5×60 enkeltoptagelser på hver ét minut. Foto: Anthony Ayiomamitis (www.perseus.gr).



KVANT udsendes gratis, i ét eksemplar, til alle landets gymnasier, seminarier og HTX-kurser med velvillig økonomisk støtte fra Niels Bohr Institutet (KU), Institut for Fysik og Astronomi (AU), Institut for Fysik og Kemi (SDU), Institut for Fysik og Nanoteknologi (AAU), DTU Nanotech, DTU Fotonik og DTU Fysik.

Teoriopgaverne ved Den Internationale Fysikolympiade i Danmark juli 2013



Af Henrik Bruus, Institut for Fysik, DTU, og Jens Paaske, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

I juli 2013 var Danmark vært for den 44. Internationale Fysikolympiade (IPhO 2013), som tidligere er omtalt i KVANT [1, 2]. Her er historien om tilblivelsen og afviklingen af de teoriopgaver som skulle udfordre 374 toptrænede gymnasieelever fra 81 lande verden over.

Tirsdag morgen den 9. juli 2013 kl. 9:00 stod IPhO-assistent og fysikstuderende Mikkel Bjørn i Rotunden, Østervoldgade, og blæste i en lille trillefløjte. Dette var startsignalet til teoriprøven ved Den Internationale Fysikolympiade, IPhO 2013 [1, 2]. Spændte og nervøse åbnede de 374 tilstedeværende elitegymnasieelever fra 81 lande hver deres brune kuvert med opgavesættet [3], og gik i gang med fem timers hårdt arbejde i kampen om personlig ære og olympiademedaljer, en kulmination på deres lange forberedelse. Her fortæller vi historien om disse teoriopgaver, fra idé og diskussioner, via udvikling og godkendelse, til elevernes besvarelse og ledernes evaluering.

Rammerne for IPhO teoriopgavesættet

Ifølge IPhO-statutterne [4] er værtslandet ansvarlig for at udarbejde ét sæt teoretiske og ét sæt eksperimentelle opgaver. Teorisættet skal bestå af tre opgaver, og der skal endvidere laves en fjerde reserveopgave. Opgaverne skal stiles inden for IPhO pensum, der i store træk svarer til førsteårs universitetspensum [4]: Mekanik (Newtons love, bevarelseslove, stive legemers dynamik), termodynamik (hovedsætningerne og molekylær baggrund), elektromagnetisme (Maxwell's ligninger på integralform), kvantefysik (de Broglie bølger, fotoner, ubestemthedsrelationen), speciel relativitetsteori samt atom- og kernefysik (energiniveauer, henfald, massedefekt). Matematiske metoder omfatter algebra, vektorregning og simple differentialligninger (konstant acceleration, oscillator og eksponentiel vækst/henfald).

Under ledelse af Henrik Bruus, næstformand for IPhO 2013, blev der i efteråret 2012 dannet en kommission til udarbejdelse af teoriopgaverne. Fra gymnasieskolerne deltog Niels Hartling, Michael Brix Pedersen, Michael Hallundbæk og Irvin Silberling Svensson; fra KU deltog Jens Paaske, Henning Haack og Christine Schøtt Hvidberg; og fra DTU deltog Erik Both, Andrei Lavrinenko, Andrei Andryieuski og Henrik Bruus. På vores første møde den 30. november 2012 gjorde vi os klart, at man ikke kommer til i IPhO 2013 i København uden at have studeret brintatomet og Bohrs atommodel. Dette indgår oven i købet i det officielle logo for IPhO 2013, allerede præsenteret ved IPhO 2012. Vi besluttede derfor straks at opgaverne *ikke* måtte have noget med hverken atommodellen eller kvantefysik at gøre.

Teoriopgavernes tilblivelse

Opgaverne har traditionelt et lokalt nationalt tilsnit, så hvad rummer den danske fysikskat udover Bohrmodellen? Valget faldt på vores internationalt højt betungne iskerneboringer på Grønlands indlandsis, på den lille beskedne meteorit, som i 2009 drattede ned i Maribo og blev pæredansk, og på DTU's vindervindbil for kørsel i modvind ved *Racing Aeolus 2011* konkurrencen i Holland. Endvidere blev større bredde sikret ved også at vælge tre tekniske emner: den plasmoniske dampgenerator, magnetisk levitation, og PET-skanneren. Med valget af disse seks potentielle IPhO opgaver meldte sig straks spørgsmålet om, hvilke interessante fysikopgaver der gemmer sig i disse emner.

Opgaverne til en fysikolympiade skal udfordre på alle niveauer. De skal have et rimeligt indgangsniveau, som tillader de fleste at komme i gang med opgaven. Derefter skal sværhedsgraden stige støt gennem opgaven, hvor flid forud for konkurrencen kan belønnes, for til slut at kulminere med en udfordring til selv de mest hårdkogte deltagere. For de fleste er den store udfordring at huske de relevante formler og at anvende dem korrekt, ikke mindst da prøven foregår uden andre hjælpemidler end en ikke-programmerbar lommeregner, papir og blyant. Rigtig interessant og svært bliver det naturligvis, når fysikkens *skalaøvelser* (rutineøvelser) pludselig skal kombineres på nye og overraskende måder. Vores ambition var desuden at lave opgaver baseret på konkrete observationer, og således ikke være konstrueret til lejligheden og derved fremstå som sterile intellektuelle udfordringer.

Endelig var det meget vigtigt at overveje hvorvidt en given opgave kunne rettes på en rimelig entydig og systematisk måde. Dette sidste aspekt sikres blandt andet ved at udlevere detaljerede svarark til hver opgave, således at der mange steder slet og ret bare kan skrives et svar. Dette skal naturligvis også sikre, at svaret kan angives uden sproglige forbistringer. Hvis svaret er korrekt, gives fuldt point, og ellers kigger man i udledningen, som kan vedlægges svararket. Det er interessant i denne forbindelse at bemærke, at Attila Szabó fra Ungarn, som vandt IPhO både i 2012 og i 2013, indleverede et nærmest fejlfrit svarark, vedlagt kun ganske få og sparsomme skitser og uddybende udledninger.

I månederne op til IPHO 2013 snævrede vi opgavefeltet ind. Vindbilen og PET-skanneren blev skrottet, og magnetisk levitation blev til reserveopgaven. I delgrupper lavede vi et utal af iterationer af opgaverne, hvor alverdens små detaljer blev finpudset og justeret. Løsningerne blev skrevet, flere småfejl blev rettet, og alternative løsningsmetoder blev udarbejdet, vendt og drejet og diskuteret endnu engang. Studerende fra KU og DTU testede opgaverne, og i løbet af ugen op til prøven blev opgaverne, som krævet af IPHO, oversat til engelsk, tysk, spansk, fransk og russisk. Endelig blev opgaverne godkendt af alle IPHO-holdlederne under en lang seance i DTUs Oticonsal natten før selve prøven.

Gennemgang af de tre opgaver

Lad os nu tage et nærmere kig på de tre opgaver. Opgaverne med løsninger kan hentes på IPHO 2013 hjemmesiden (<http://ipho2013.dk>), vi skal derfor ikke gå i større tekniske detaljer her, men snarere diskutere ideen bag opgaverne. Det skal bemærkes at deltagerne også fik udleveret et data-ark med en række relevante fysiske størrelser. Det er dog op til deltagerne selv, at finde ud af hvilke konstanter der skal benyttes hvor.

Opgave 1 (9 point): Maribo-meteoritten

Den første opgave omhandler meteoritten "Maribo" udmærkede sig ved at inddrage store dele af pensum: kinematik, Newtons og Keplers love, varme, SI-enheder, dimensionsanalyse, radioaktivt henfald, stive legemers dynamik, bevarelse af impuls, impulsmoment samt gravitation, energi og arbejde. Faglig garant for opgaven var Lektor Henning Haack fra Geologisk Museum, som kunne redegøre for den spændende historie om fundet af meteoritten, bl.a. ved brug af optagelser fra et svensk overvågningskamera (se figur 1) og adskillige andre fakta om meteoritter.

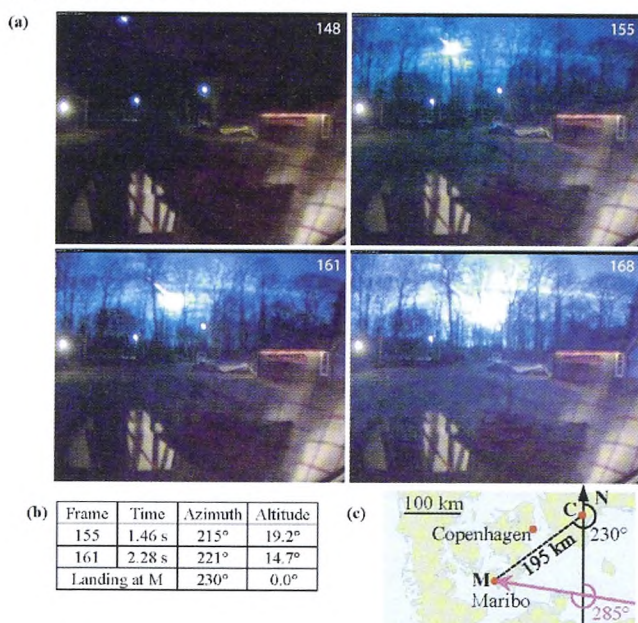


Figure 1. Data til beregninger af Maribo-meteorittens færd.

Opgaven begynder med en overkommelig øvelse i geometri og kinematik, idet man ud fra billederne

skal beregne Maribos fart. Dernæst skal man beregne hvor hurtigt Maribos fart reduceres med 10 % pga. opbremsning i atmosfære (0,9 s), hvad forholdet er mellem Maribos kinetiske energi og den energi det kræver at smelte den (210). Vi taler her om en sten med radien 13 cm, massen 30 kg, og farten 30 km/s, idet den rammer atmosfæren. Givet at Maribo lægger ud med en temperatur på 200 K og suser gennem atmosfæren med en overfladetemperatur på 1000 K, vil luften omkring den gløde, mens kun den yderste skal af stenen vil smelte. Hvor tyk er mon den skal? En fuld løsning kræver brug af varmeledningsligningen, som ligger uden for pensum. I stedet bad vi om dimensionsanalyse, og for de ca. 5 s turen gennem atmosfæren varer fås en tykkelse på små 1,6 mm.

Næste del omhandler datering af meteoritter ved måling af isotopforhold. Henfaldsprocessen fra ^{87}Rb til ^{87}Sr skal opskrives og benyttes til påvisning af en lineær sammenhæng mellem de nutidige forhold $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ og $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ til brug for dateringen ($4,5 \cdot 10^9$ år, kun lidt yngre end Solsystemet). Man mener at den har været en del af kometen Encke, og givet dennes mindste og største afstand fra Solen, skulle Enckes orbitale periode derefter beregnes.

Til sidst spurgte vi, om hvad der ville ske med Jordens rotationsakse, hvis asteroiden som skabte det enorme Chicxulub krater for 65 millioner år siden ramte nordpolen? Hvor meget ville omdrejningstiden ændres, ved direkte nedslag på ækvator, enten radielt eller tangentielt? Hvad er den størst mulige fart med hvilken et objekt bundet til Solen kan ramme Jorden? Især det sidste spørgsmål gav en del hovedbrud, ikke mindst blandt lederne.

Opgave 2 (12 point): Plasmonisk dampgenerator

Dampmaskiner var drivkraften bag den industrielle revolution og udviklingen af termodynamikken. En ny type af slagsen er ved at blive udviklet [5] baseret på bredspektret absorption af sollys i vandige opløsninger af metalliske nanopartikler. Se fx. YouTube videoen på <http://www.youtube.com/watch?v=ved0K5CtmsU>. Faglig garant for denne opgave var lektor Andrei Lavrinenko fra DTU Fotonik.

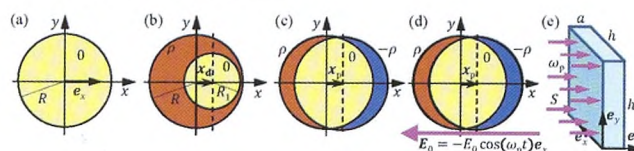


Figure 2. Model for plasmon oscillation in a nanoparticle.

I opgaven idealiseres det komplekse system som en kugleformet 10-nm-radius sølvnanopartikel indeholdende én fri elektron pr. sølvion. Dernæst beskrives de elektriske egenskaber af denne elektronsky med en effektiv LCR-kreds. Vi opnår dermed en kvalitativ korrekt model inden for IPHO-pensum i elektromagnetisme. Der lægges blødt ud med en beregning af nanopartiklens og elektronskyens masse, densitet, ladning mm. Dernæst beregnes det elektriske felt i et ladningsneutralt område indlejret i en homogent ladet kugle. Dette

resultat leder i næste spørgsmål frem til et udtryk for den genoprettende kraft, som virker på elektronskyen forskudt en lille smule fra sin ligevægtsposition. Så beregnes elektronskyens forskydning i et givet ydre elektrisk felt, og på baggrund heraf og ved brug af elektrostatiske energi, skal den ækvivalente kapacitans C for nanopartiklen bestemmes. Endelig bevirker et tidsharmonisk ydre felt, at systemet bliver dynamisk. Elektronskyens kinetiske energi og den ækvivalente AC-strøm, som sammenholdt med udtrykket for den magnetiske energi i en induktor fører til, at man kan bestemme systemets ækvivalente induktans L .

Næste del omhandler plasmonresonansen i nanopartiklen beskrevet med førnævnte effektive LCR-kreds. Plasmonen eksiteres med en monokromatisk lysstråle, og to dissipationsmekanismer inddrages: Joule-varme via elektron-ion kollisioner, og genudsendelse af spredt lys. Lysspredning ligger uden for pensum, men det klares med dimensionsanalyse af udtrykket for udstrålingen fra en oscillerende elektrisk dipol. Effekten af den absorberede varme kan nu beregnes, og for også at have én kvantemekanisk beregning i opgavesættet, så spørges der om antal plasmonoscillationer per udsendt foton (hele $1,5 \cdot 10^5$).

Sidste del af opgaven omhandler så omdannelsen af lysenergi fra fokuseret lys med intensiteten $1,00 \text{ MW m}^{-2}$ til damp for en koncentration af sølvnanopartikler på $7,3 \cdot 10^{15} \text{ m}^{-3}$ i en rektangulær beholder af størrelsen $10 \times 10 \times 0,1 \text{ cm}^3$. Produktionsraten af damp er $1,9 \text{ g/s}$ og den termodynamiske effektivitet er $0,498$!

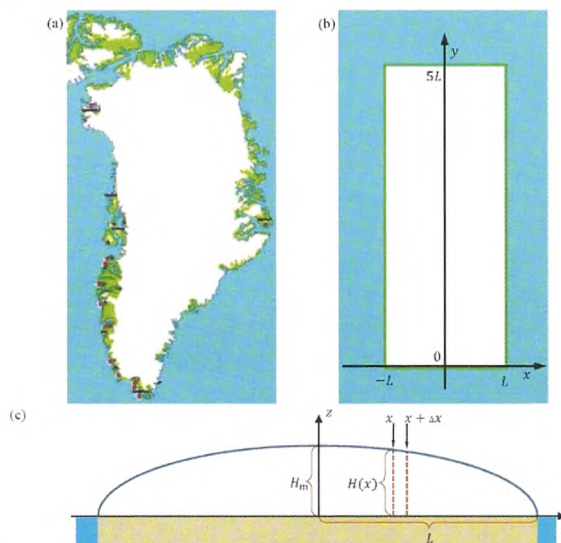
Opgave 3 (9 point): Grønlands iskappe

Baseret på ganske få essentielle ingredienser, skulle man i denne opgave opbygge en model for en simpel rektangulær udgave af Grønlands indlandsis (se figur 3). Under kyndig vejledning fra Christine Schøtt Hvidberg, lektor ved Center for Is og Klima på NBI, var opgaven konstrueret som den mest direkte vej til at forstå princippet bag aldersbestemmelsen af lagene i en af de berømte iskerner, som er blevet boret tæt på indlandsisens midte.

Først betragtes isen som et hydrostatisk system, i hvilket man skulle bestemme trykket, og dernæst den vandrette kraft på et lodret tværsnit, skåret fra syd mod nord. Denne kraft falder med isens højde ud mod østkysten, og ved at balancere en infinitesimal kraftforskel på to nabotværsnit med friktion fra bunden, udtrykt som en kendt spænding ganget på det infinitesimale bundareal, ender man med et udtryk for højdeprofilen, som er vist nederst i figur 3. Man finder at maksimalhøjden midt på isen er proportional med kvadratroden af afstanden ud til kysten, og ved integration findes isvolumenet at være proportionalt med denne afstand i potensen $5/2$.

På længere tidsskalaer betragtes isen bedre som en usammentrykkelig væske. Snefald tæt på midten af isen bliver til is, som flyder ud mod kysten og knækker af som isbjerge. Man bliver bedt om ud fra massebevarelse at bestemme den lodrette hastighed af en ispartikel tæt

på midten af isen, og der spørges til ispartiklens dybde som funktion af afstanden fra midten. Endelig udledes en formel for isens alder i en given dybde, og man bliver ført gennem analysen af målte koncentrationer af iltisotoperne ^{18}O og ^{16}O , og ender med at kunne bestemme temperaturændringen ved overgangen fra istid til interglacial tid.



Figur 3. En simpel model af Grønland og indlandsisen.

Til slut bliver man bedt om at bestemme den gennemsnitlige globale havstigning, som ville resultere fra en total smeltning af indlandsisen, nemlig $8,8 \text{ m}$. Smelter indlandsisen, mister man imidlertid også det relative højvande, som indlandsisens gravitationelle tiltrækning yder på de nærliggende vandmasser [6]. Ved at betragte isen som en punktførmig snebold, kan man beregne dens effekt på potentialfladen og finde frem til det overraskende resultat, at havstanden i København for tiden er hele $4,5 \text{ m}$ højere end hos Grønlands antipoder.

Afvikling af den teoretiske prøve

Tirsdag den 9. juli gik det løs. 374 spændte deltagere mødte op på Gefion Gymnasium i Øster Voldgade, København, og fik hver især anvist sin plads rundt i den imponante rotunde, som i dagens anledning var forvandlet til en 'katedral af fysik', med det smukke Foucault pendul udsendt som fra selveste himmelhvælvet til at holde takten. Bordene var opstillet med tilpas afstand, og deltagere med samme modersmål var adskilt. Ved lyden af Mikkels fløjte åbnedes kuverterne og kort efter sænkede der sig en dyb og 5 timer lang stilhed.

Efter 5 timer lød fløjten atter. Blyanterne blev lagt, og opgaverne samlet ind og kørt til hovedkvarteret ved DTU. Deltagerne fik udleveret en frokost, som de kunne sidde og nyde udenfor i det gode vejr, mens de udvekslede frustrationer over de forbistrede opgaver.

Retning, pointgivning og den store forhandling

Så snart opgaverne var ankommet til hovedkvarteret i Oticonsalen på DTU, blev de alle indskannet, originalen lagt i et sikkert arkiv, og kopier printet ud til rettere og ledere. Retningen foregik i tre hold, ét til hver opgave. Et hold bestod af syv par erfarne studerende, ansatte fra DTU og NBI, samt den ansvarlige for den enkelte

opgave og dennes præsentation for lederne mandag aften. De tidligere omtalte testbesvarelser fungerede dagen før som generalprøve for retterne.

På opgaverne var der angivet hvor mange delpoint hvert spørgsmål var værd. Retterne checkede formler, geometri, trigonometri, fornuftig behandling af tal og grafer, afrunding og fysiske enheder, og foretog passende fradrag for hver enkelt lille fejl. Efter retning af nogle få opgaver sammenlignede man erfaringer og skrev videre på det udkast til en rettevejledning, som allerede forelå. Dette gjorde man nogle gange, hvorefter en version gik videre til hvert lands ledere, så også de kendte vores rettepolitik, altså hvilke delelementer tildeles hvor mange points, og hvilke fradrag laves for hvilke fejl. Efterhånden som vi opdagede nye interessante og uforudsete fejl og genveje, måtte vejledningen atter opdateres, og først da opgave nr. 374 var rettet, var vejledningen komplet, og meget omfattende. Ville et nyt løsningsforslag mon overhovedet kunne eksistere?



Figur 4. Dyb koncentration i rotunden på Østervoldgade.

Retningen af samtlige teoriopgaver tog to meget lange dage. Sideløbende med vores retning, havde lederne rettet deres eget holds opgaver, og torsdag aften udvekslede man så point. Rettehold og ledere havde nu fredagen til at studere hinandens pointtildelinger, og om lørdagen stod så det endelige slag, hvor ledere og rettere mødtes til en forhandling om de endelige point. Hvert lands ledere fik et kvarter med det relevante rettepar, og kun når vi havde givet færre point end dem, var noget åbent for diskussion. Disse tilfælde var der heldigvis ikke så mange af, og som regel kunne man hurtigt henvise til at 'sådan havde vi rettet dem alle'. Ind imellem kunne de dog påpege, at vi havde overset noget, eller forklare hvordan et givent regnestykke nok skulle forstås, givet det der stod skrevet i kladden på eget modersmål. Kun i sjældne tilfælde, og netop der hvor lederne anede, at det kunne gøre en forskel i medaljer, gik bølgerne helt op over kajen, når der blev kæmpet om de sidste brøkdele af et point.

Resultater og lidt statistik

Den endelig pointfordeling for hver eneste deltager blev godkendt af lederne på *IPhO International Board Meeting* søndag formiddag. Topscorer blev Attila Szabó (Ungarn) med 29,5 point ud af 30 mulige (98 %), med

hele 1,6 point ned til andenpladsen, Zhang Chengkai (Kina). Attila blev da også den samlede vinder af IPhO 2013. Hele 35 deltagere scorede 24 point (80 %) eller mere, bl.a. alle 5 fra Kina og Singapore, 3 fra Korea og USA, og 2 fra Ungarn, Rusland, Thailand, Vietnam og Israel. Bedste danske teoretiker scorede 12,2 point (41 %). Fordelt på de tre opgaver kan vi bemærke, at 11 deltagere scorede 90 % eller mere i Opgave 1, 15 deltagere scorede 90 % eller mere i Opgave 2, mens hele 29 deltagere scorede 90 % eller mere i Opgave 3. I det hele taget må deltageres resultater aftvinge respekt. Husk på, at deltagerne kun havde fem timer til rådighed uden adgang til andre hjælpemidler end en lommeregner. Det hører dog med til historien, at ikke alle deltagere var lige stærke: 18 af dem scorede 10 % eller mindre, med sølle 0,2 point som bundskraber. Det dårligste resultat fra dansk side var en score på 6 point (20 %).

Ud fra en ren statistisk betragtning var teorisættet en succes, da hele pointskalaen kom i brug. Men dertil kommer, at både deltagerne og lederne udtrykte deres begejstring for opgaverne ved afslutningsfesten. Førstnævnte har haft livlige kommentarer til dem på deres IPhO facebookside lige siden, mens sidstnævnte så sent som ved IPhO 2014 i Kazakhstan gentog deres ros overfor de danske holdledere.

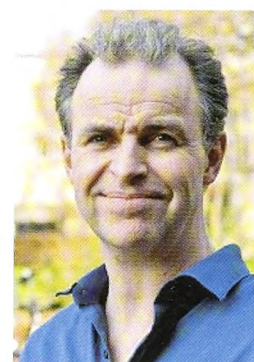
For os i teoriopgavekommissionen var det en stor oplevelse at udarbejde teorisættet og se det blive forsøgt løst af 374 elitegymnasieelever fra hele verden. Vi lærte tilmed en del god fysik undervejs.

Litteratur

- [1] Henrik Bruus og Niels Hartling (2013), Den Internationale Fysikolympiade i Danmark 2013, *KVANT* nr. 1, marts 2013
- [2] Henrik Bruus og Niels Hartling (2013), Fysikolympiaden *IPhO 2013* blev en kæmpesucces, *KVANT* nr. 3, september 2013
- [3] IPhO 2013, opgaver og løsninger, <http://www.ipho2013.dk/ipho2013-problems.htm>
- [4] IPhO hjemmesiden, <http://ipho.phy.ntnu.edu.tw/>
- [5] Z. Fang *et al.*, *Nano Letters* **13**, 1736 (2013).
- [6] S. Battersby, *New Scientist* **2915**, 6 May (2013).



Henrik Bruus er professor i teoretisk fysik ved Institut for Fysik, DTU. Han var næstformand for IPhO 2013 og formand for teoriopgavekommissionen.
E-mail: bruus@fysik.dtu.dk.



Jens Paaske er lektor i teoretisk fysik ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet. Ved IPhO 2013 var han medlem af styregruppen og teoriopgavekommissionen.
E-mail: paaske@nbi.ku.dk.

Fysiklegestuens yndlingsforsøg

Af Christian Berrig og Adam Mielke, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Legestuen er en studenterforening, der indadtil fungerer som forum for fysikstuderende og udadtil som formidlere af fysik. Vi vil her fortælle om nogle af Legestuens mest spektakulære forsøg til fysikshows.

Indledning

I kælderen under Niels Bohr Institutet findes de lokaler, hvor Den Naturvidenskabelige Legestue, eller blot Legestuen blandt venner, holder til. Legestuen laver underholdende og lærerige fysikshows for børn og barnlige sjæle og skaber samtidigt et miljø, hvor den interesserede fysikstuderende kan få modspil i diskussioner og medspil i projekter.

Som medlem af Legestuen og deltager i arrangementer som Kulturnatten kommer man af og til i kontakt med mange fysikinteresserede mennesker. Så da vi blev spurgt, om vi ville lave et indlæg i KVANT om vores yndlingsforsøg, slog vi naturligvis til. I det følgende beskrives en række forsøg.

Nitrogenbombe

Forskellen i massefylde på væske og gas er meget stor, så hvis man lader flydende nitrogen stå et sted, hvor den kan få tilført varme, vil den pludselig fylde meget mere. Hvis der ikke er noget sted, gassen kan slippe hen vil trykket naturligvis stige, hvilket er grunden til, at man aldrig finder nitrogenbeholdere med skruelåg. Forsegler man en mængde flydende nitrogen i en sodavandsflaske, vil overtrykket til sidst få flasken til at eksplodere med et gevaldigt brag.

Forsøgsopstilling:

Det vigtigste i dette forsøg er sikkerheden. Man bør udføre det i en olietønne eller lignende, så tilskuere skærmes for flyvende fragmenter. Der hældes vand i bunden af tønden, så flasken omtrent vil kunne ligge under vand. Dette gøres for at tillade hurtigere varmeoverførsel. I vandet er flasken under et halvt minut om at sprænge, mens den i fri luft er flere minutter om det.

Man har altså god tid, indtil flasken smides ned i tønden, og man bør derfor sikre sig, at låget er skruet godt på. Det sidste man ønsker i dette forsøg, er en fuser. Flasken bør fyldes lidt over en tredjedel op, og det anbefales, at flasker med høje låg benyttes, da fx Nestea-flasker nemt kan blive skruet skævt på.

Udfør forsøget udendørs, da der kommer vand ud over det hele. Det anbefales også, at man benytter høreværn eller stikker fingrene i ørene.

Vakuumblokke (fast nitrogen)

Flydende nitrogen er efterhånden blevet hverdagskost i Scienceshows, men der er mulighed for at fremvise alle tilstandsformerne, hvis bare man har en vakuumblokke. Når man suger den omkringliggende luft væk fra den

flydende nitrogen, vil fordampningen sænke temperaturen af den resterende væske. At sænke trykket trækker desuden nitrogenen ned forbi dets tripelpunkt, hvor det kun kan eksistere som gas og fast stof. Dette tvinger væsken til at antage en af disse, og der dannes derved både fast nitrogen og gas.



Figur 1. I en vakuumblokke vil flydende nitrogen omdannes til fast form og gasform.

Forsøgsopstilling:

Placer en beholder med flydende nitrogen i en vakuumblokke. Det kan anbefales at bruge en gennemsigtig beholder, da det bliver nemmere at følge eksperimentets gang. Det er desuden vigtigt at man har en kraftig vakuumpumpe, da den skal være i stand til at overvinde trykket fra den fordampende nitrogen.



Figur 2. Et close-up af dåsen med nitrogen – på fast form – i vakuumblokken (figur 1).

Möbius-superlederbane

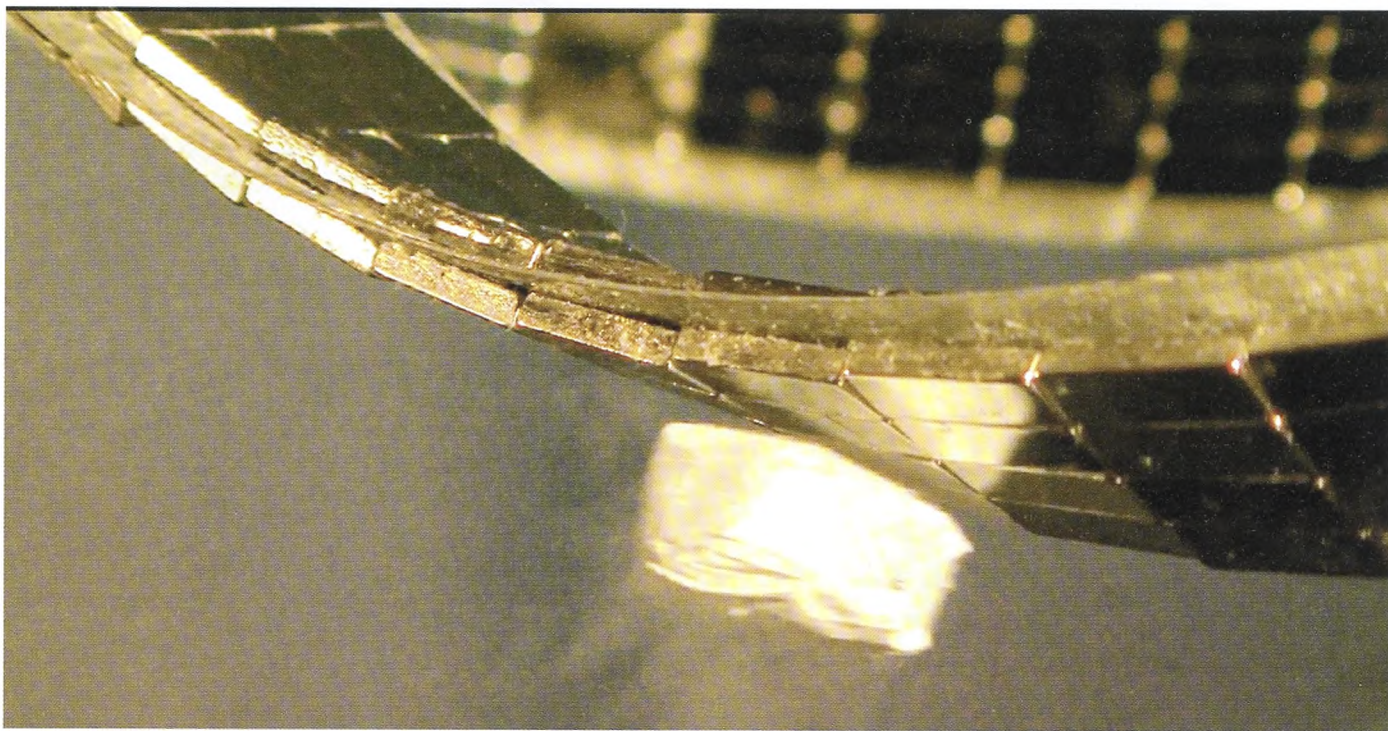
Legestuen har også på grund af vores store kærlighed for flydende nitrogen en superleder. En superleder er et materiale, der under bestemte omstændigheder kan lede elektriske strømme med en modstand på 0 Ohm. Alle nuværende superledere fungerer kun ved lave temperaturer, og det er her den flydende nitrogen kommer ind i billedet. Legestuens superleder er lavet af YBCO (Yttrium-Barium-Copper-Oxide), som er et keramisk materiale med superledende egenskaber under 77 K (ca. $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$), hvilket er over nitrogens kogepunktet. Type 2 superledere, som YBCO, har desuden den sjove egenskab, at hvis de opnår de superledende egenskaber, mens de er påvirket af et magnetfelt, vil superlederen huske magnetfeltet og vil efterfølgende forsøge at lægge sig i samme felt. Dette fænomen kaldes flux-pinning.

Hvis man konstruerer en bane, der har konstant felt i én retning, men varierende felt i de to andre, kan man køre rundt med superlederen på denne. Legestuen

har udover en linær magnetbane, der bruges ved flux-pinning af superlederen, også en magnetbane formet som et Möbius-bånd med samme slags magneter som den linære bane. Vi benytter neodymiummagneter for at få så stærk en flux-pinning som muligt.



Figur 3. Forsøgsopstillingen til nedkøling af superleder på magnetbanen. Superlederen befinder sig nede i koppen sammen med flydende nitrogen. Foto: Palle Demant.



Figur 4. Superlederen bevæger sig i stil med et "MagLev-tog" langs en magnetbane formet som et Möbius-bånd. Foto: Palle Demant.

Forsøgsopstilling:

Først lægges superlederen ned i et plastickrus, hævet over den linære magnetbane i kraft af krusets bund. Superlederen skal så tæt på banen som muligt uden at røre, så hvis man har en ujævn bane, kan der eventuelt benyttes to krus for at få ekstra afstand. Dernæst hældes flydende nitrogen ned i bægeret, hvorved superlederen nedkøles og får sine superledende egenskaber. Superlederen flux-pinner nu til banens felt over magneterne. Superlederen bliver hurtigt kold nok til at flux-pinne, men det anbefales, at man pakker den ind i vat og gaffatape, så den kan holde sig kold. Hvis

man gør det, tager det superlederen fem til ti minutter at blive klar. Plasticbægeret kan nu fjernes forsigtigt, hvorved superlederen vil svæve over magnetbanen i samme afstand som under nedkølingen.

Man kan også flytte superlederen (med en tang eller handske, da den er meget kold) fra den linære bane til Möbiusbanen, hvor den igen vil svæve i fast afstand til magneterne på banen, hvis man sørger for at lave den samme type bane. Ved at give superlederen et skub farer den afsted på Möbiusbanen uden at falde af til trods for tyngdekraften.

Ring-launcher

Princippet om elektriske felter, der inducerer magnetfelter, og vice versa er kendt som Faradays Lov. Ved at bruge denne lov kan man med en spole og en jernkerne, bedre kendt som en elektromagnet, affyre en metalring lavet af et ikke-magnetisk metal. Sådant en anordning kaldes en ring-launcher.



Figur 5. Spolekanon eller "Ring-launcher".

Forsøgsopstilling:

Elektromagneten sættes i en stikkontakt og forsynes derved med vekselspænding, der varierer med 50 Hz. Den varierende strøm i spolen inducerer et magnetfelt i jernkernen, der igen inducerer en modsat elektrisk strøm og et modsat magnetfelt i ringprojektilet. Projektilet er her lavet af det ikke-magnetiserbare, men elektrisk ledende metal aluminium.

Da magnetfelterne vender hver sin vej, ender vi med to modsatrettede kræfter, der skubber ringen og elektromagneten fra hinanden. Da elektromagneten står på gulvet og derfor ikke kan rykke sig bagud, skydes aluminiumsringen afsted med stor fart. Tilslutningen af spolen til elnettet styres efter bedste tradition med en stor rød knap. Når der trykkes på knappen vil projektilet flyve afsted vertikalt. Man kan forbedre højden af projektilets bane ved at nedkøle ringen med fx flydende nitrogen, for at øge den elektriske konduktans. Husk at bruge handsker da aluminiumsringen bliver meget kold ved en sådan nedkøling.

Litteratur

- [1] Den Naturvidenskabelige Legestues hjemmeside, <http://legestuen.nbi.dk>

Legestuen ved Kulturnatten

Næste gang Fysik Legestuen optræder offentligt er ved Kulturnatten den 10. oktober 2014 kl. 18, hvor de vil vise deres forsøg på Niels Bohr Institutet, Blegdamsvej 17, 2100 København Ø. Se mere på: www.nbi.ku.dk/Besog_os/Kulturnat/



Christian Berrig er bachelor i fysik og er lige startet på kandidatuddannelsen. Hans største faglige interesse er kvantemekanik og han arbejder i øjeblikket på kanonisk kvantisering og ikke-hermitiske kvanteoperatorer.



Adam Mielke er bachelor i fysik og er lige startet på kandidatuddannelsen. Hans primære faglige interesse er komplekse systemers fysik, og han arbejder i øjeblikket på fasefeltssimuleringer af overgangen fra flydende til fast fase.

PFEIFFER VACUUM

Vacuum pumper



To-trins olielamelpumper
Promotionpris fra DKK 8.000

Tlf. 4352 3800 Fax 4352 3850
Erik.Fjeldgaard@pfeiffer-vacuum.dk
www.pfeiffer-vacuum.com

Asymmetrien i supernovaeksplosioner

Af Allan Hornstrup, Niels J. Westergaard og Finn E. Christensen, DTU Space

NuSTAR – en NASA satellit med et afgørende dansk bidrag – har observeret en supernovarest og fundet radioaktivt materiale, der er asymmetrisk fordelt. Det bekræfter for første gang detaljer i teorierne om supernovaers eksplosion.

Indledning

Cassiopeia A (Cas A) er en supernovarest fra en supernova, der eksploderede omkring 1670. Den amerikanske satellit NuSTAR har observeret denne supernovarest og har fundet ud af, at det radioaktive ^{44}Ti er ujævnt fordelt. Det er vigtigt, fordi det kan bekræfte modellerne for hvordan supernovaer eksploderer.

Det har betydning for os, for i grove træk er alle grundstoffer tungere end brint og helium dannet i supernovaer, og en detaljeret forståelse af supernovaer og hvordan de eksploderer og dermed frigiver grundstofferne til det omgivende univers, er af stor betydning for forståelsen af sammensætningen af vores univers, for dannelsen af planeter og stjerner osv.

Supernovaer har længe været kendt som himmelobjekter. Det var fx en supernova, der i 1572 fik Tycho Brahe til for alvor at interessere sig for astronomi. Trods deres navn har de dog intet med nye stjerner at gøre; tværtimod er det slutstadiet for en stjerne. En stjerne som Solen kommer ikke til at blive en supernova, dertil er den for let, men større stjerner, hvis masse er over ca. 8 gange Solens, vil ende deres liv med en eksplosion, som frigør helt enorme mængder energi.

Supernovaer deles i typer. En kendt og meget diskuteret type er SN Ia, som opstår i et dobbeltstjernesystem, hvor den ene stjerne er en hvid dværg (på størrelse med Jorden, men med en masse som Solen) og den anden en stjerne, der mister materiale til overfladen af den hvide dværg. Den type bliver brugt som standardlyskilde og dermed til afstandsbestemmelse i Universet.

Cas A

Cas A (Cassiopeia A) er en supernovarest i stjernebilledet Cassiopeia, og blev første gang observeret i 1949. Det er en meget klar radiokilde på himlen, faktisk den klareste udenfor Solsystemet. Den eksploderede omkring 1670, men da man ikke har samtidige optegnelser af, at det skulle være bemærket på Jorden, er denne tidsangivelse omtrentlig. Den er beregnet ud fra, hvor hurtigt supernovaresten bevæger sig væk fra centret (over 5000 km/s). Supernovaresten befinder sig i vores egen galakse og er omkring 11.000 lysår fra Jorden. Astronomer har fundet ud af, at Cas A er en supernova af typen IIb. Det er gjort ved at se på stråling fra selve eksplosionen, som er reflekteret på skyer langt fra supernovaen.

Cas A er imidlertid af den såkaldte kernekollaps type (helt præcist type IIb), hvor en stor stjerne selv falder sammen i en kæmpe eksplosion. Figur 1 viser den nuværende Cas A-supernovarest, der er blevet ret udstrakt på himlen, nemlig 4 bueminutter, svarende til ca. 1/7 af Månens diameter.



Figur 1. Cas A observeret i synligt lys med Hubble Space Telescope (NASA/ESA).

Modeller af den slags eksplosioner har været udført både analytisk og med computersimuleringer, men et af de store problemer har været, at man ikke har kunnet få modellerne til at give den korrekte eksplosion, hvis udgangspunktet var en symmetrisk eksplosion, altså hvor alle dele falder samtidig mod centret og eksploderer i kuglesymmetri. I de tilfælde viste modellerne, at eksplosionen så at sige endte som en roligt sivende forøgelse af det efterladte sorte hul. Så der skulle andre fysiske forhold til for at forklare de kraftige energiudladninger, som ses ved supernovaeksplosioner.

Observationer af supernovaer har da også vist, at deres efterladenskaber faktisk ikke er jævnt fordelt på himlen; der er forskelle i de tætheder af materiale, som man observerer efter supernovaeksplosionen. Det er derfor oplagt at antage, at eksplosionen ikke er pænt symmetrisk. Et stort arbejde er i gang for at få observationer og modeller til at passe sammen.

Modellerne bekræftes – delvist

Observationer med bl.a. Hubble Space Telescope viser, at supernovaresten ikke er jævn. Årsagen hertil

behøver imidlertid ikke kun stamme fra asymmetri i eksplosionen, for det man ser fra supernovaresten i det synlige område er udsendt af det opvarmede materiale, der dannes ved sammenstødet mellem eksplosionsmaterialet og det omgivende stof. Det kan jo godt være dette omgivende stof, der er ujævnt fordelt, og dermed giver de asymmetriske antydninger i billederne.

Så modellerne med asymmetriske eksplosioner var tilsyneladende at foretrække frem for de symmetriske, men den endelige observation, der kunne bekræfte asymmetrien, manglede.

Supernovaer og kernesyntese

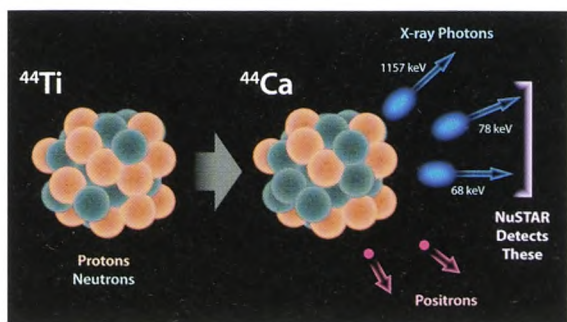
For at forstå hvor det observerede titanium og metaller som jern kommer fra, må vi lige minde om supernovaers udvikling. Her i en meget simplificeret version.

Som ung, frisk og tung stjerne – fx 10-20 gange så tung som Solen – opretholdes ligevægten i stjernen ved dannelse af helium (He) fra brint (H) i de centrale dele. Dette H brænder ud, og stjernens centrale dele trækker sig sammen; He begynder at brænde til kulstof (C) mens en skal af H udenom stadig brænder til He. Denne proces gentages med stadig stigende grundstofnumre, hvor der optræder forbrænding i kernen og i brændende skaller (udefra) af C, neon (Ne), oxygen (O), silicium (Si), indtil jern (Fe) er dannet. Efter Fe kan man ikke hente mere energi ved fusion, og processen hører op.

Når kernen efter dannelse af Fe ikke længere kan modstå trykket af materiale ovenfra falder den sammen og bliver ligeså kompakt som en atomkerne. Denne kerne kaster derfor det yderligere indfaldende materiale tilbage med stor kraft, så det forsvinder fra supernovae. Det sker på brøkdele af et sekund, og der udsendes energi svarende til alle stjerner i en galakse. Kraften forstærkes af, at dannelsen af den kompakte kerne har medført dannelse af et ufatteligt stort antal neutrinoer, der forsøger at slippe væk. Deres energi bidrager til eksplosionen, selvom neutrinoer kun vekselvirker ekstremt svagt med stof.

Op til og i dette afgørende sekund frigives også mange neutroner, som støder ind i kerner, som derved vokser i masse og bliver til de tungere grundstoffer.

Lige inden eksplosionen har vi altså en kerne bestående af Fe inderst, herefter skaller af forskellige lettere grundstoffer, som ringe i et løg. Disse stoffer er alle repræsenteret i det materiale, der stødes væk fra kernen.

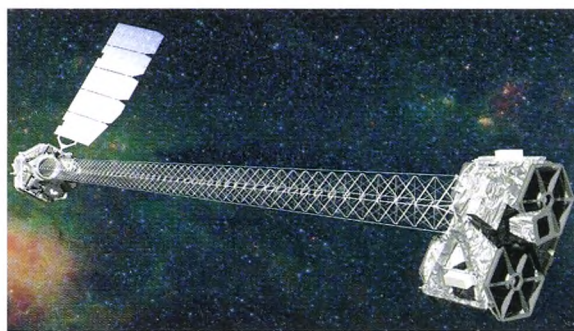


Figur 2. Hvordan Ti henfalder til Ca. NuSTAR kan detektere de to linier ved 68 og 78 keV. (NASA)

NuSTAR

NuSTAR (Nuclear Spectroscopic Telescope Array) er en NASA-satellit af "small explorer"-typen. NuSTAR-satellitten er resultatet af et årelangt samarbejde mellem DTU Space og CalTech, og leder af missionen er professor Fiona Harrison fra CalTech. NuSTAR blev opsendt den 13. juni 2012. Satellitten har to røntgenteleskoper, hvor den særlige belægning udviklet på DTU Space gør det muligt at fokusere røntgenstråling med energier helt op til 80 keV; det har ingen tidligere mission kunnet præstere. Detektorerne af CdZnTe er udviklet på CalTech.

Som et led i udviklingen af røntgeninstrumenterne til NuSTAR-satellitten har DTU Space og CalTech også haft en tilsvarende instrumentpakke på et balloneksperiment i 2005 (High Energy Focusing Telescope (HEFT)).



Billedet viser NuSTAR-satellitten med de to røntgenteleskoper til højre, der fokuserer strålingen på detektorerne i satellitmodulet til venstre (NASA)

⁴⁴Ti – hvorfor er det interessant?

⁴⁴Ti dannes ligesom de andre grundstoffer i de inderste dele af det materiale, der udskydes ved selve eksplosionen. ⁴⁴Ti dannes ved Si-forbrændingen; man kan sige, at det består af 11 heliumkerner.

Det er en interessant isotop i denne sammenhæng, fordi den har en relativt kort levetid (mængden halveres på ca. 60 år), idet det henfalder via $^{44}\text{Ti} \rightarrow ^{44}\text{Sc} \rightarrow ^{44}\text{Ca}$ (se figur 2), som resulterer i udsendelse af gamma-kvanter med energier omkring 67,86; 78,36 og 1157 keV. Den korte halveringstid gør, at det titanium, man ser, må komme fra områder ret tæt på dannelsesstedet, og derfor er det et godt sporstof, hvis man vil se detaljerne om eksplosionen. De første to energier falder lige akkurat inden for NuSTARs observationsområde.

Tidligere observationer af ⁴⁴Ti

Naturligvis har man tidligere forsøgt at finde ud af, om supernovaresten indeholdt spor af ⁴⁴Ti. Og det er bekræftet af flere tidligere satellitobservationer, men de har alle den ulempe, at de ikke kan fokusere strålingen, så det eneste man kunne bekræfte med disse målinger er tilstedeværelsen af grundstoffet og den omtrentlige mængde, men ikke hvorfra i supernovaresten, den stammede.

Andre røntgenobservationer

I den bløde ende af røntgenspektret, nemlig for energier under 10 keV, er det muligt med en lidt anden teknologi at lave fokuserende teleskoper. Flere af den type teleskoper har været opsendt siden 1980'erne, og især to observatorier er førende i dette bølglængdeområde, nemlig Chandra (NASA) og XMM-Newton (ESA) begge opsendt i 1999.

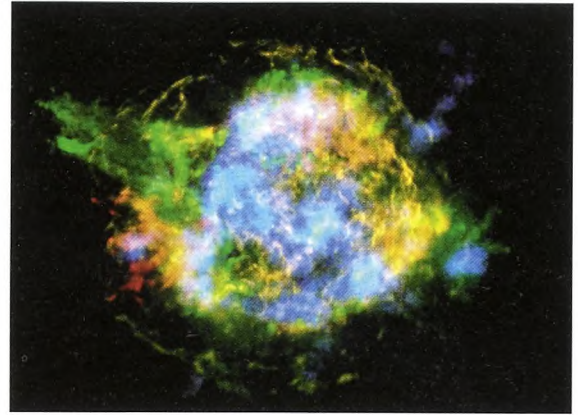
Disse observatorier har observeret supernovaresten Cas A, og det har været muligt at se røntgenemission fra supernovaresten. Fra de målinger har man især set en klar jern-emissionslinie ved 6,7 keV; den kommer fra stærkt ioniseret jern (Fe). Det ventes, at disse emissioner opstår, når Fe fra kernen af stjernen efter eksplosionen rammer det omgivende stof. Dette stof stammer i stor udstrækning fra stjernens sidste leveår, hvor den udsender noget af sin atmosfære som stjernevinde.

Da disse observatorier har fokuserende røntgeninstrumenter har det været muligt at kortlægge, hvorfra den varme jern udsender strålingen, og man har her set en asymmetri, som også var forventet fra modellerne.

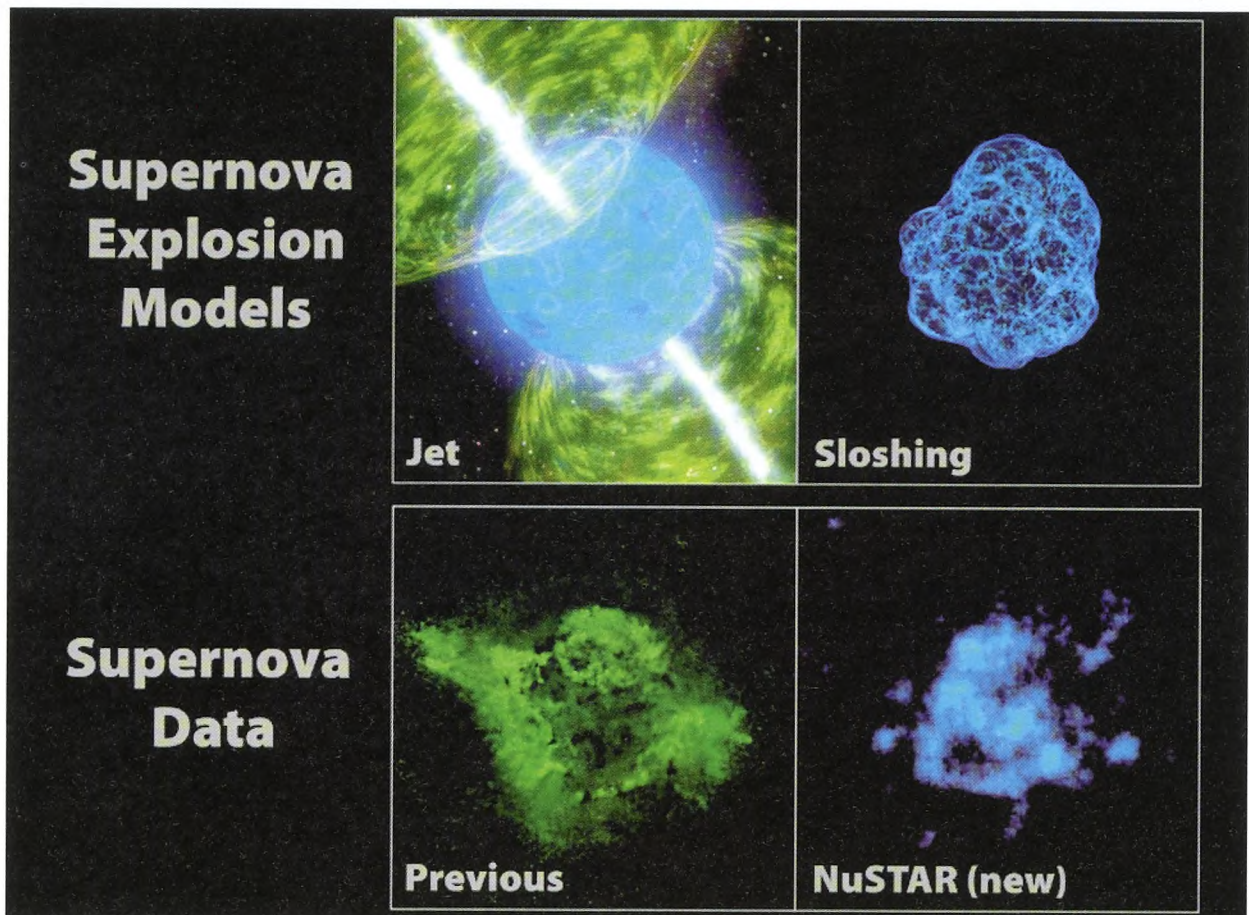
NuSTARs observationer

NuSTAR stirrede på supernovaresten over flere omgange fra august 2012 til juni 2013 til en samlet observation på ca. 14 dage. Det er ret svage signaler, vi har at gøre

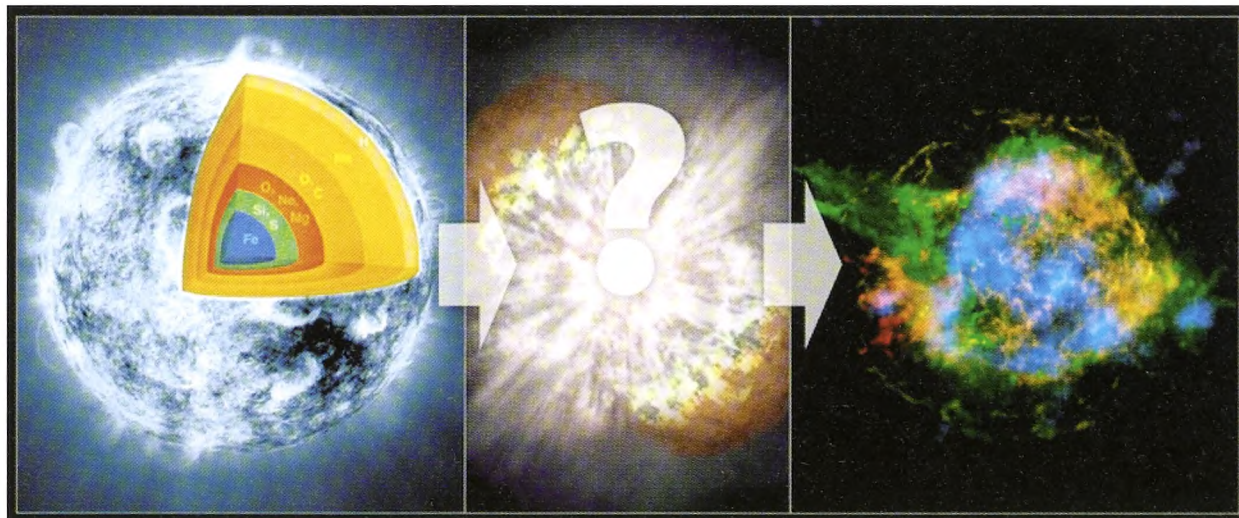
med. De mange dages resultater blev lagt sammen, og man kunne herfra bestemme hvor meget stråling, der kom i de relevante energiområder, som udgør ^{44}Ti 's spektrallinier. Da teleskoperne fokuserer, kunne det samtidig afgøres, hvorfra på himlen strålingen kom, og dermed var det muligt i detaljer at kortlægge hvor ^{44}Ti befinder sig. Resultatet af arbejdet ses i figur 3.



Figur 3. Billedet viser, hvor ^{44}Ti befinder sig i Cas A. ^{44}Ti er gengivet med blå farve, mens observationer fra Chandra i blød røntgen er i grønne, gule og røde farver. Svagt synligt er også optiske observationer [1].



Figur 4. To modeller af en supernovaeksplosion, samt to typer observationer. De to modeller er ekstremer – én hvor man har to jets under selve eksplosionen, og én, hvor man har konvektion, der her kaldes “sloshing”. Data nederst til venstre fra Chandra (Fe-emission) antyder mulige jets, mens NuSTAR data nederst til højre, som antages at stamme mere direkte fra eksplosionen, går mere i retning af konvektionsmodellen.



Figur 5. Udviklingen af en supernovaeksplosion fra den udbændte og ustabile stjerne (til venstre), over selve eksplosionen (i midten) til supernovaresten (til højre).

Det interessante ved billedet er, at titanium ikke følger de andre røntgenemitterende elementer. Det var oprindeligt ventet, at Ti ville dukke op på de samme steder, hvor man ser Fe, men det er slet ikke tilfældet. Jern-emissionen kommer dér, hvor materialet fra supernovaen støder ind i det omgivende materiale, og hvor der opstår chokfronter med kraftig opvarmning til følge. Derimod er Ti-fordelingen en direkte afspejling af eksplosionen i den oprindelige kerne, fordi det radioaktive materiale blev dannet i selve kernen og altså ikke først senere ved sammenstød og opvarmning. Ti-observationerne kan derfor mere direkte fortælle om asymmetrier i den oprindelige eksplosion og dermed give værdifuldt input til dem, der forsøger at beregne og simulere eksplosionerne.

Observationerne tyder på, at de modeller, hvor materialet lige omkring eksplosionstidspunktet var i gang med en opblanding (i stil med det man ser, når vand koger) er bedst til at forklare den observerede fordeling af titanium. To meget forskellige og simplificerede modeller af eksplosioner er sammenlignet med Ti-observationerne (og med Fe-observationerne fra Chandra). De er vist i figur 4.

Figuren viser de to modeller: Én, hvor man antager at eksplosionen sker i forbindelse med hurtig rotation af kernen, og dermed dannelse af en kraftig bipolar jet. Og en anden, hvor der ved eksplosionen sker konvektion i lagene. Konvektion er det, der svarer til vand, der koger. Konvektion i stjerner er helt almindeligt; Solen har fx også konvektion, men mest omkring overfladen og i de yderste lag.

Som figuren viser, så havde man fra optagelserne af røntgenstråling fra Fe haft den opfattelse, at der nok var tale om jets, mens Ti-optagelserne, der som nævnt mere direkte kan henføres til selve kernen i eksplosionen, peger i retning af konvektion. Det er en stor hjælp til de forskere, der skal simulere de fysiske forhold lige under eksplosionen, på den måde at få direkte billeder af det væsentlige område.

Videre arbejde

NuSTAR fortsætter denne type observationer. Der er også observeret Ti-emission i andre supernovaresten, og NuSTAR er i gang med at observere nogle af dem for også her at kortlægge, hvordan Ti fordeler sig i supernovaresten.

Vi regner med, at der om få år er meget mere nøjagtige modeller og dermed en større forståelse af supernovaeksplosioner, baseret på de nøjagtige observationer fra NuSTAR og andre røntgenteleskoper. Dette er antydnet med spørgsmålstegnet midt i figur 5.

Litteratur

- [1] B. Grefenstette et al. (2014), Asymmetries in core collapse supernovae revealed by maps of radioactive titanium in Cas A, *Nature*, bind **506**, nr. 7488, pp. 339-342.



Allan Hornstrup (t.v.) er leder af afdelingen for astrofysik på DTU Space. Niels J. Westergaard (midten) og Finn E. Christensen (t.h.) er seniorforskere ved DTU Space.

Hjørnestenen Gaia er i bane

Af Erik Høg, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Den 19. december 2013 blev Gaia anbragt i en bane 1,5 millioner km fra Jorden til astrometrisk måling af en milliard stjerner. De første målinger viser, at målsætningen for missionen vil holde, selvom der var alvorlige problemer i indkøringsfasen.

Indledning

Det astrometriske grundlag for astrofysikken blev revolutioneret gennem observationer foretaget i 1989-93 med ESAs Hipparcos-satellit. Nøjagtigheden for positioner, egenbevægelser og afstande (parallakser) overgik alt tidligere, se [1].

ESA's anden astrometriske satellit, Gaia [2], blev opsendt den 19. december 2013, og den skal observere mere end en milliard stjerner i 5-6 år til en størrelsesklasse af 20 (skrives også 20 mag). For 10 millioner stjerner vil man opnå afstande med én procents nøjagtighed og der måles lysstyrker og radialhastigheder.

Gaia – den videnskabelige opgave

Gaia er bygget efter de principper, der bestod deres prøve i Hipparcos-missionen, for at løse en fundamental opgave i moderne astronomi: At skabe et meget præcist tre-dimensionalt billede af omkring én milliard stjerner i vor egen Galakse og dens omegn. Gaia vil kortlægge stjernernes bevægelser i rummet, der sammen med deres alder og kemiske sammensætning indeholder nøglen til Galaksens dannelse og udvikling. Bevægelserne vil også være påvirket af tyngdekraften fra det mystiske *mørke stof*, hvis fordeling i Galaksen således kan udredes.

Gennem omfattende fotometrisk klassifikation vil Gaia give os de fysiske egenskaber af hver stjerne, dvs. karakterisere dens luminositet (absolut lysstyrke) samt overfladens temperatur, tyngdekraft og kemiske sammensætning. Man vil supplere med observationer fra Jordens overflade, især fra de store online-kataloger: Gaia-ESO survey, Sloan Digital Sky Survey, UKIDSS, VISTA, PanSTARRS og 2MASS.

For at kunne bestemme de fysiske egenskaber af stjernerne ved fotometri, skal der korrigeres for effekten af det interstellare stof, der påvirker stjernelyset, når det passerer. Dels svækkes lyset, dels ændres dets farve, så klassifikationen ville blive forkert uden korrektion. Korrektionens størrelse er proportional med mængden af stof, og den store mængde af målepunkter (stjerner) vil give os et pålideligt kort over den tre-dimensionale fordeling af stof i Mælkevejen. Man kan bestemme afstanden til de interstellare skyer, når man kender afstanden til millioner af stjerner, idet man på lysets rødfarvning kan se, om en stjerne ligger foran eller bagved en sky.

Udnyttelse af resultaterne

Resultaterne vil blive udnyttet inden for næsten alle

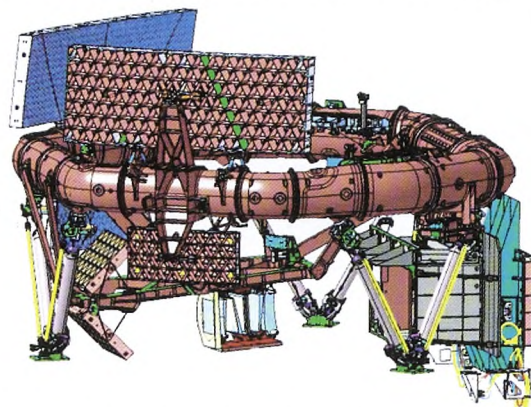
astronomiens områder: Galaksens dynamik; Referencsystemet; Kosmologi, Kvasarer, Galakser; Afstande; Interstellare skyer; Stjerner svingninger; Variable stjerner; Dobbeltstjerner; Planetsystemet og Exoplaneter.

Samlet set vil databasen med Gaia resultaterne blive en *astronomisk hjørneste*, en kilde til information, som ikke kan overgås af nogen anden rummission de næste 30-40 år. Om astrometri og astrofysik har jeg i 2011 skrevet i Kvant [3] og i 2014 i [1] og [4], om astrometriens fremtid.

Med opsendelse af Gaia i december 2013 ventes de første resultater offentliggjort i 2016 baseret på ét års observationer. De endelige resultater ventes i 2022.

Gaia-satellitten

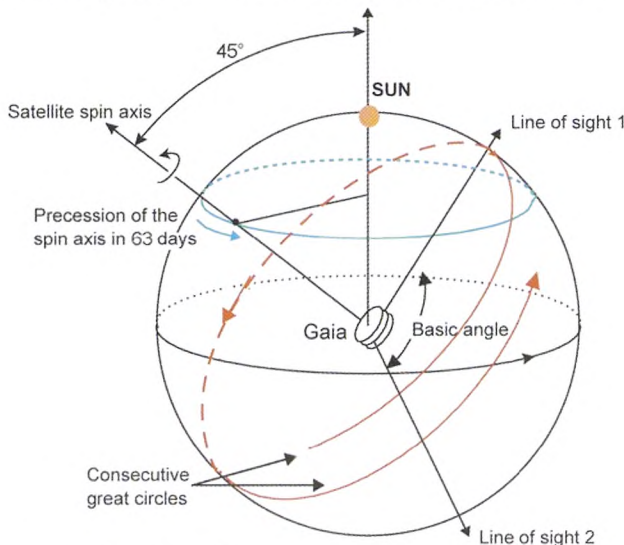
Det endelige design af Gaia blev forelagt i 2005 af det franske firma MMS, senere kaldet EADS-Astrium, og nu med navnet Airbus. Det indeholder kun to teleskoper med brændvidden 35 m, aperturer på $1,45 \times 0,50 \text{ m}^2$ og kun ét fokalplan på $0,7 \times 0,7$ grader med 106 store CCD'er, se figurerne 1, 3, 4 og 5. Den enorme brændvidde på 35 m er én af forudsætningerne for den store nøjagtighed, kun derved får man et diffraktionsbillede, der er tilpas stort i forhold til størrelsen på 10 mikrometer af de pixels, man formår at fremstille. Dette design er meget simplere end det foregående, som havde tre teleskoper og fire fokalplaner, se figur 7 i [2].



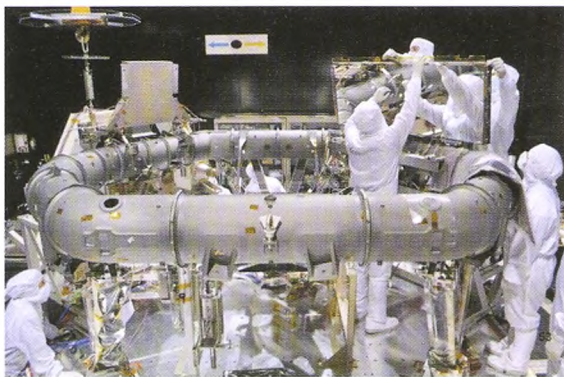
Figur 1. Gaia “payload” (nyttelast af instrumenter). De to store spejle foroven på $1,45 \times 0,50 \text{ m}^2$ sender lyset fra stjernerne fra to retninger ind på CCD’erne, der er skjult i kassen nederst til højre. Nederst i midten ses linser og棱smer i spektrografen.

Det hele bæres af en stor torus og alt er fremstillet af sintret *siliciumcarbid*, SiC, der har en forsvindende termisk udvidelseskoefficient. Det er nødvendigt for stabiliteten og endda kræves en temperaturstabilitet

bedre end $30 \mu\text{K}$. Dette opnås ved at sørge for konstante termiske omgivelser for satellitten. En geostationær bane kan altså ikke bruges, fordi satellitten da ville komme ind i skyggen af Jorden af og til. Kun en bane omkring *librationspunkt* L2 kan komme på tale. Det ligger i en afstand af 1,5 millioner km fra Jorden i retning bort fra Solen. De andre librationspunkter for Jord-Solsystemet kan ikke anvendes til dette formål.



Figur 2. Gaia drejer sig om spinaksen på 6 timer, og denne bevæger sig rundt om retningen til Solen på 63 dage, idet spinaksen hele tiden holder en vinkel på 45 grader til Solen. Derved fejer de to synsretninger langs storcirkler, vist med den røde linie. De to synsretninger ligger med en basisvinkel på 106 grader imellem, og den skal være meget konstant for at give den store nøjagtighed.

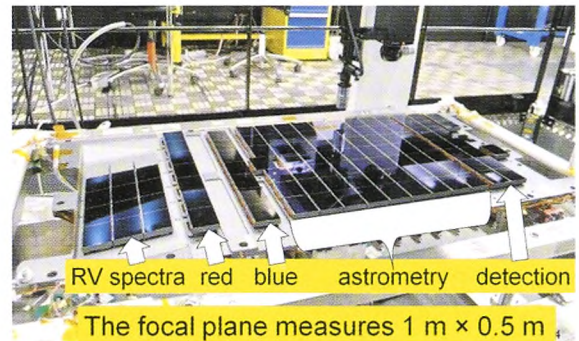


Figur 3. Denne torus af siliciumcarbid er meget stabil, og har næsten ingen termisk udvidelse, hvorved en konstant basisvinkel skulle sikres. Torus bærer hele payload med alle spejle, spektrografer og CCD'er.

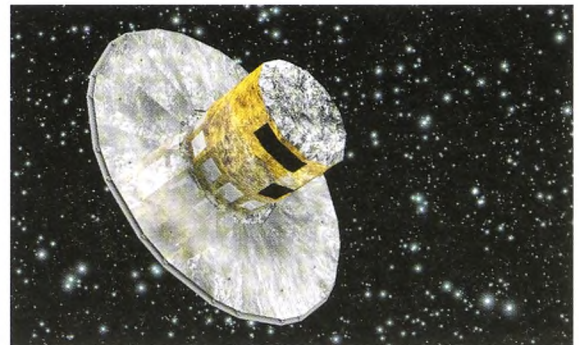
Torus og hele payload sidder oven på service-modulet i et hus som vist i figur 5. Hele systemet fra 2005 er mindre end det fra 1998, hvor de store spejle var $1,7 \times 0,7 \text{ m}^2$. Begge dele gav en stor besparelse i vægt som var nødvendig, da opsendelsen skulle ske med den billigere Soyuz-raket og ikke med den meget større Ariane.

Formindsnelsen gav en meget nødvendig økonomisk besparelse, men også et tab i astrometrisk ydeevne. Man kunne nu vente en nøjagtighed på 24 mikrobuesekunder ved 15. størrelsesklasse mod tidligere 10 mikrobuesekunder. Det var selvfølgelig ærgerligt, men Gaia ville

stadig måle alle stjerner – mere end én milliard – til 20. størrelsesklasse. Nøjagtigheden ved 20. størrelsesklasse ville være meget bedre end Hipparcos, der nåede 1000 mikrobuesekunder ved en størrelsesklasse på ca. 9,5.



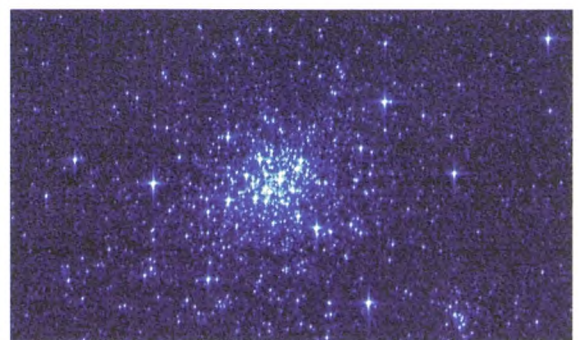
Figur 4. Fokalplanet med 106 store CCD'er. Stjernerne kommer ind fra højre, detekteres og bliver derefter målt under passagen af de forskellige CCD'er, først ni gange astrometrisk, derefter måles et kort spektrum i blå og et i rødt. Helt til venstre måles stjernerne til sidst ved høj opløsning af spektret i lyset omkring den røde Ca-triplet for at få stjernens radialhastighed og lysstyrken i spektret.



Figur 5. Gaia-satellitten skal udføre astrometri, fotometri og spektroskopi af 1000 millioner stjerner på fem år. Den store skærm har solceller på den side der vender mod Solen, og den forhindrer, at lys fra Solen, Månen eller Jorden nogensinde rammer huset med optikken, hvorved det ville blive opvarmet.

Billede fra Gaia

Det første billede fra Gaia fik vi den 6. februar 2014, og det var meget fint, se figur 6. Dette og det følgende billede (figur 7) er opnået med en enkelt CCD, altså ca. 3 sekunders observation. I de endelige resultater fra Gaia bliver de mange enkeltoptagelser lagt oven på hinanden.



Figur 6. Det første billede fra Gaia i februar 2014, kugleho-ben NGC 1818 i Den store Magellanske Sky. Feltet dækker $212'' \times 212''$. De svageste stjerner er 20. størrelsesklasse.

Fotometri kræves

Missionen kræver, at satellitten måler alle stjerners lysstyrker i flere farver, hvilket der er to grunde til. For det første skal man kende en stjernes farve for at kunne beregne position, egenbevægelse og parallakse helt nøjagtigt. Det skyldes, at selv et spejlteleskop vil have farvefejl, også selvom det er fremstillet optisk perfekt. Dét at teleskopet har en endelig åbning betyder, at diffraktionsbilledets størrelse og form ændres med stjernens farve og med stjernens position i feltet pga. lysets forskellige bølgelængder i relation til åbningens størrelse. Det giver en lille astrometrisk fejl i den målte position, der kan korrigeres, hvis man kender stjernens egen farve. Dertil kommer fejl fra små ufuldkommenheder ved fremstillingen. Ved den nøjagtighed, der ligger i Gaia-observationerne, skal man endda kende stjernens farve, ved hver enkelt af de ca. 70 gange en stjerne måles, i løbet af de fem år missionen varer. Det skyldes, at mange stjerner er variable og derfor kan have forskellige farver i løbet af missionen.

For det andet kræves fotometri til at karakterisere stjernen. Uden dette er en videnskabelig anvendelse af de astrometriske data umulig, f.eks. til studium af bevægelserne i Mælkevejen. Ganske vist kan man måle alle stjernerne fotometrisk fra Jorden, men der er ikke garanti for at det ville blive gjort rettidigt. Fotometrien vil i sig selv have enorm betydning for studiet af variable stjerner, idet alle stjerner ned til 20. størrelsesklasse vil blive målt mange gange.

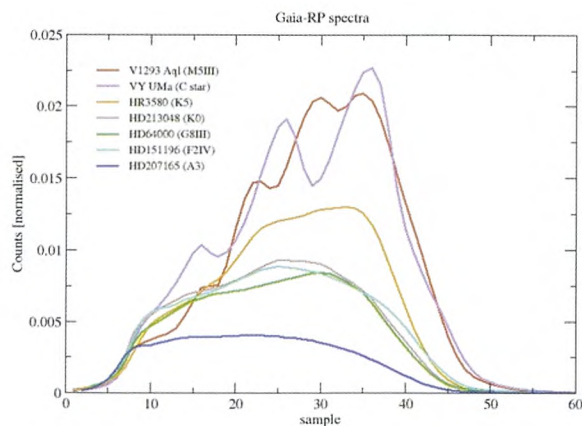
I alle årene indtil 2005 antog vi, at fotometri skulle udføres med farvefiltre anbragt foran nogle af CCD'erne. Vi fandt frem til de optimale filtre i brede og smallere bånd. Arbejdet blev udført af en stor gruppe, hvor *Jens Knude* var med i København, idet han havde stor erfaring med fotometri. Båndene skulle give de fysiske egenskaber for hver stjerne. Med de korte spektre som vist i figur 7 kan man opnå stort set det samme.

Spektre i stedet for filtre

I 2005 fik vi oplyst, at MMS ikke ville anvende farvefiltre til fotometri som hidtil planlagt, men levere spektre med lav opløsning. Vi skulle vurdere, om det videnskabelige formål så kunne opfyldes. Dette forslag måtte nogle få af os arbejde med i dybeste hemmelighed, fordi det ville give MMS en stor fordel i konkurrencen om den endelige kontrakt. Forslaget bestod i, at man da kunne nøjes med de to store astrometriske teleskoper og helt undvære ARVI-teleskopet. Man kunne forene de fire fokalplaner til et eneste med alle CCD'er for astrometri, fotometri og spektrometri.

Desværre betød ændringen en indskrænkning i mulighederne for at studere dobbeltstjerner med Gaia. Det var heller ikke Gaia's hovedmål, men det havde været en enestående chance for fotometri med høj vinkelopløsning, hvad der kun kan gøres fra rummet.

Men vi havde gjort det rette under de givne vilkår, og glædede os over den elegante løsning med spektre, der ganske vist rummede problemer for fotometrien, fordi spektrene var meget korte.

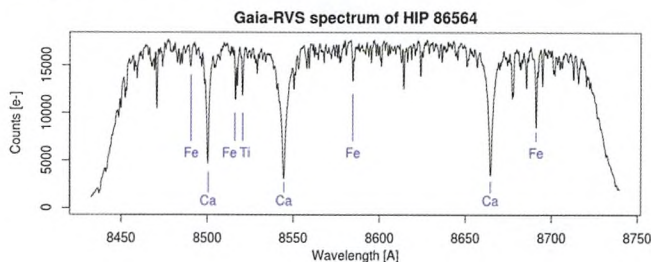


Figur 7. Gaia-fotometri med korte spektre for syv stjerner i bølgelængderne 650-1000 nm. Fotometri med korte spektre i bølgelængderne 330-680 nm måles også for alle stjerner.

Spektrometri

I figur 6 i [2] ses et teleskop, ARVI, til måling af radialhastigheder ved hjælp af spektrometri med høj opløsning af et lille område omkring den kraftige calcium triplet ved 860 nm. Det blev foreslået allerede i 1995 af *Fabio Favata* og *Michael Perryman*, fordi sådanne målinger ganske vist kan foretages fra Jorden, men erfaringerne fra Hipparcos viste, at det kan tage sin tid. Derfor bør de foretages af Gaia, for at man skal få alle tre komponenter af rumhastighederne til rådighed samtidig til studium af Mælkevejens dynamik. Figur 8 viser et spektrum optaget med Gaia.

I det endelige design forsvandt ARVI teleskopet, idet lyset fra de store spejle bliver ført gennem en spektrograf, når stjernerne passerer den sidste del af brændplanet. Spektrografen ses i figur 1 og CCD'erne til spektrene i figur 4.



Figur 8. Gaia-spektrum omkring Ca-tripletten ved 860 nm. Et spektrum med samme opløsning af denne stjerne, optaget fra Jorden, viser nøjagtig de samme enkeltheder.

Problemer efter opsendelsen

Opsendelsen af Gaia gik efter planen, og vi ved nu, at satellitten vil give fine resultater, men der viste sig en række problemer, da man begyndte indkøringen, så rutineobservationer begyndte først den 25. juli.

To problemer skal nævnes. Det ene problem var en stærk "outgassing", dvs. at der kom vanddamp ud af materialerne. Outgassing er et kendt fænomen i vakuum, men det var stærkere end forventet. Dampen satte sig som is på spejlene, så refleksionsevnen gik ned, og på indersiden af det hus der rummer instrumenterne, hvor det gav spredt lys. Isen på spejlene kunne man fjerne ved opvarmning, men det var ikke forudset på

andre dele. Det har dog kun virkning på målingen af de svageste stjerner, fejlen ved 20. størrelsesklasse ventes at blive 500 mikrobuesekunder for parallakser. Henved 10 millioner stjerner vil få en afstand målt med én procents nøjagtighed eller bedre. Hipparcos gav 700 stjerner med denne nøjagtighed, og før Hipparcos kendtes kun Solens afstand så nøjagtigt.

Fejlen på fotometri for stjerner af 20 mag vil blive ca. 0,07 mag for den blå og den røde størrelsesklasse, der betegnes *BP* og *RP*, og fejlen afhænger af stjernens farve. For spektrometri når man 15 mag og radialhastigheder for 150 millioner stjerner ventes.

Man sørger altid for at vælge materialer med ringe outgassing til en payload. Det har man også gjort ved Gaia, så man mener, at dampen er kommet ind gennem små åbninger fra service modulet, hvor man ikke har været så kritisk med valg af materialerne.

Det andet problem var en variation af basisvinklen i takt med satellittens omdrejning, og denne vinkel skulle netop være meget konstant for at give nøjagtig astrometri. Men takket være et indbygget apparat til måling af vinklen ser det ud til, at problemet er løst, når man i databehandlingen tager hensyn til disse målinger.

Sampling og transmission af data

Gennem alle årene med udvikling af satellitten tog jeg mig meget af *sampling*, dvs. at definere det *vindue* på CCD'erne omkring hver stjerne for hvilket data skal sendes til Jorden. Hvilke stjerner, der skal observeres bliver bestemt ved en beregning på satellitten ud fra observation med den første CCD i feltet. Det ville være umuligt at transmittere data fra alle pixels, derfor var det vigtigt at afgøre hvilke pixels, der er nødvendige af hensyn til astrometri, fotometri og spektrometri, og således kunne transmissionsraten reduceres med en faktor henved ét tusind. Raten for Gaia er maksimalt 4-8 Megabits per sekund (Mbps) i de tidsrum der er forbindelse til en station på Jorden, gennemsnitlig 8 timer i døgnet. Typisk gennemsnitlig datarate er 1 Mbps. Data lagres om bord med op til 800 Gbits.

Følgende datamængder er modtaget per 17. maj: 25 Terabits, heri 20 milliarder billeder i astrometri, 4,2 milliarder i fotometri og 1,4 milliarder spektre.

De første overvejelser om sampling findes i Roemerforslaget i 1992 og med alle de forandringer af design, der skete i de femten år, var det en konstant opgave, der måtte løses i diskussion med partnerne. Der kom 64 tekniske rapporter alene om sampling, detektering og afbildning med forfattere fra København.

Beregninger til dataanalysen

Målingerne af én milliard stjerner med omkring 70 passager af feltet i løbet af 5 år skal analyseres.

Opgaven løses af et stort konsortium *Gaia Data Processing and Analysis Consortium, DPAC* med deltagelse fra alle ESA-lande og det tog fart i 2006 efter at satellittens endelige udforming lå fast. DPAC består af mere end 400 videnskabsfolk og softwareteknikere fra 20 lande, idet beregningerne er koncentreret på seks store centre. Leder af DPAC var først *Francois Mignard*, Nice, der i oktober 2012 blev afløst af *Anthony Brown*,

Leiden.

Der er altså kun ét Gaia konsortium, mens der var fire for Hipparcos: to konsortier for Hipparcos data, et for Tycho data, og et for opstilling af *Hipparcos Input Catalogue* med 120.000 udvalgte stjerner.

Satellit, opsendelse og observationer finansieres af ESAs videnskabelige budget med 700 millioner euro, hovedsageligt til industrien. Beregningerne finansieres direkte af ESAs lande med 200-300 millioner til de forskningsgrupper der deltager. Samlet set bliver det til knap én euro per stjerne da der observeres en milliard stjerner, dette ifølge oplysning fra *Timo Prusti*, leder af Gaia Science Team.

Der er ingen massiv dansk deltagelse, som der var med dansk ledelse ved både Hipparcos og Tycho. Prioriteterne er ændret, men danske astrofysikere ser frem til at udnytte resultaterne.

Realiseringen af Gaia

Gaia-missionen er ét af de største og mest kostbare projekter i astrometriens lange historie, og nogle træk fra projektets realisering gennem en snørklet tilblivelse siden 1992 blev fortalt i [2].

I 2005 skulle to industrikonsortier udarbejde endelige forslag for missionen, altså en kontrakt på mange millioner euro for bygning og opsendelse af satellitten samt bearbejdning af observationerne i satellitten inden de sendes ned til Jorden. Hidtil havde konsortierne kun modtaget håndører, idet hovedsagen for dem var at vinde den endelige kontrakt, og det blev MMS. Efter opsendelse og indkøring overgår ansvaret til ESA og konsortiet modtager sidste rate, hvis alt fungerer rigtigt.

Litteratur

- [1] E. Høg (2014), The Astrometric Foundation of Astrophysics. Abstract to the Conference Book 2014 of the Danish Astronomical Society. <http://arxiv.org/abs/1408.2122>
- [2] E. Høg (2013), Gaia-missionens snørklede tilblivelse. Kvant nr. 4, december 2013.
- [3] E. Høg (2011), Astrometri fra antikken til i dag. Kvant nr. 3, oktober 2011.
- [4] E. Høg (2014), Absolute astrometry in the next 50 years. Draft report with updates especially on the solar system. <http://arxiv.org/abs/1408.2190>
- [5] Læs mere om Hipparcos og Gaia: <http://www.rssd.esa.int/Hipparcos>
<http://www.cosmos.esa.int/web/gaia>
<http://gaia.esa.int> (nyheder).



Erik Høg er dr. scient., emeritus, Niels Bohr Institutet. Medlem af Gaia science team 1990-2007 og formand for arbejdsgruppen for fotometri.

Foreningsnyt – foredrag i efteråret 2014

Dato	Tid	Foredragstitel	Foredragsholder	Forening
Sep.				
1/9	19.15	Solsystemet: Vores kosmiske hjem	<i>Ib Lundgaard Rasmussen</i>	AS (Kbh)
8/9	19.30	Solsystemet: Vores kosmiske hjem	<i>Ib Lundgaard Rasmussen</i>	AS (Aarh)
15/9	19.30	Havets usynlige liv	<i>Thomas Kiørboe</i>	SNU
22/9	19.15	Planetary atmospheres: The way towards finding life elsewhere	<i>Vincent Van Eylen</i>	AS (Kbh)
29/9	19.30	Planetary atmospheres: The way towards finding life elsewhere	<i>Vincent Van Eylen</i>	AS (Aarh)
Okt.				
6/10	19.30	Hvor mange fisk er der i havet?	<i>Ken Haste Andersen</i>	SNU
20/10	19.15	Mars: Vores nabo i solsystemet	<i>Morten Bo Madsen</i>	AS (Kbh)
27/10	19.30	Mars: Vores nabo i solsystemet	<i>Morten Bo Madsen</i>	AS (Aarh)
27/10	19.30	Zooplankton-hydrodynamik	<i>Anders Peter Andersen</i>	SNU
Nov.				
3/11	19.15	Kepler: En revolution i studiet af exoplaneter	<i>Hans Kjeldsen</i>	AS (Kbh)
10/11	19.30	Kepler: En revolution i studiet af exoplaneter	<i>Hans Kjeldsen</i>	AS (Aarh)
17/11	19.30	Havets mikroskopiske kødædende planter	<i>Per Juel Hansen</i>	SNU
24/11	19.15	Spektroskopiske observationer af varme gaskæmper i høj opløsning	<i>Henriette Schwarz</i>	AS (Kbh)
Dec.				
1/12	19.30	Spektroskopiske observationer af varme gaskæmper i høj opløsning	<i>Henriette Schwarz</i>	AS (Aarh)
8/12	19.30	Oceans, Climate and Carbon Pumps	<i>Andre W. Visser</i>	SNU

AS (Kbh): Astron. Selskab (København), Auditorium 4, H.C. Ørsted Institut, Universitetsparken 5, 2100 København Ø (www.astronomisk.dk).
 AS (Aarh): Astron. Selskab (Aarhus), Matematisk Inst., Aarhus Universitet, Ny Munkegade 118, Bygn. 1530, Auditorium D2, 8000 Aarhus C.
 SNU: Geologisk Museum, Øster Voldgade 5-7, 1350 København K (www.naturvidenskab.net).

Selskabet for Naturlærens Udbredelse

SNU fejrede 190 års jubilæum og UNF 70 års jubilæum sammen den 19. august, læs mere om dette arrangement andetsteds i bladet.

Foredragene i efteråret har temaet *Livet i havet*. Hvordan vil livet i oceanerne blive påvirket af ændringer i miljø og klima, og hvordan influerer disse ændringer på vores mulighed for at udnytte havets ressourcer? Det er de overordnede spørgsmål i SNU's kommende foredragsrække, der gives af forskere med tilknytning til forskningscenteret Centre for Ocean Life, VKR Centre of Excellence.

Foredragsrækken præsenterer den spændende biologi for livet i havet, der er fundamentalt anderledes end livet på landjorden, og som spænder fra de mindste mikroskopiske plankton-organismer til de største hvaler. Samtidig beskriver foredragsrækken, hvordan viden om organismernes og deres vekselvirkninger på individniveau kan hjælpe os til, at udvikle bedre modeller af havets økosystemer og forhåbentlig gøre os i stand til, at forudsige konsekvenserne af menneskeskabte påvirkninger.

Man behøver ikke at være medlem af SNU for at komme til foredragene. Alle er hjertelig velkomne!

Astronomisk Selskab

Foredragenes tema er *Studiet af planetsystemer: En videnskabelig revolution*. Få gange per århundrede oplever vi videnskabelige revolutioner i hvilke vores forståelse af Universet tager store spring fremad. Lige nu er studiet af planetsystemer, vores eget, men specielt omkring andre stjerner, midt i en sådan revolution – og danske forskere er med helt fremme.

Foredragene afholdes i samarbejde med Folkeuniversitetet og er tilrettelagt af Johan Fynbo og Ole Eggers Bjælde.

KVANT-nyheder

Af Sven Munk, KVANT

Jupiters røde plet krymper

PLANETFYSIK. Et fotografi optaget april 2014 af Hubble Rumteleskopet viser den røde plet med sin hidtil mindste udstrækning. Efter sigende skulle denne plet (hvirvelstorm) være opdaget for 400 år siden. Først omkring 1870 fik målinger sat tal på dens udstrækning. 41.000 km lød budet på. Da rumsonden Voyager i 1979 og 1980 kiggede ned på Jupiter blev udstrækningen skønnet til 23.000 km.



Billedet viser situationen i 1995, 2009 og 2014.

Med Hubbles seneste målinger er udstrækningen nu nede på 16.500 km. Amatørastronomer har siden 2012 fulgt den røde plet nøje. Herfra lyder budskabet, at plettens udstrækning reduceres med lidt under 1000 km pr. år.

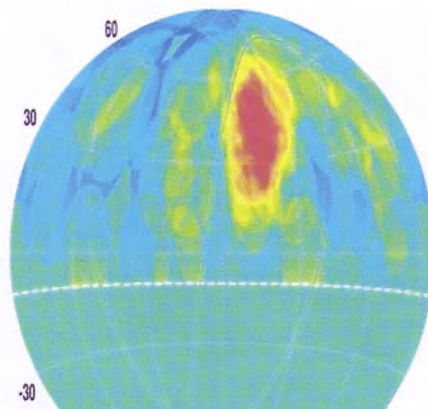
Kilde: NASA's Goddard Space Flight Center og ESA.

Kosmisk hotspot

KOSMOLOGI. Nye målinger viser endnu et eksempel på, at kosmisk stråling ikke er isotrop. Konkret drejer det sig om observationer af stråling med den højeste energi registreret på den nordlige himmel. Det viser sig, at relativt mange partikler stammer fra området omkring Store Bjørn (hvor Karlsvognen befinder sig). Målingerne er udført under det internationale "Telescope Array Projects", som er en kombination af specialteleskoper og partikeldetektorer placeret i en højtbeliggende ørken i Utah/USA.

De ultrahøjenergetiske partikler, man jagtede, var dem, som havde en energi på mere end 57 EeV (E for exa), dvs. $5,7 \cdot 10^{19}$ eV (svarende til 9 J pr. partikel). Sådanne optræder sjældent, så det lykkedes kun forskerne at fange 72, hvoraf de 19 kom fra det på figuren rødt markerede område (hot spot). Hvor sjældne sådanne hændelser er, kan [1]

illustrere. Når forskerne har lagt grænsen for partikelenergien så højt, skyldes det, at sådanne partikler sandsynligvis har extragalaktisk oprindelse. Den ultrahøje energi skulle også mindske påvirkningen fra de magnetfelter, der antages at optræde i vores galakse.

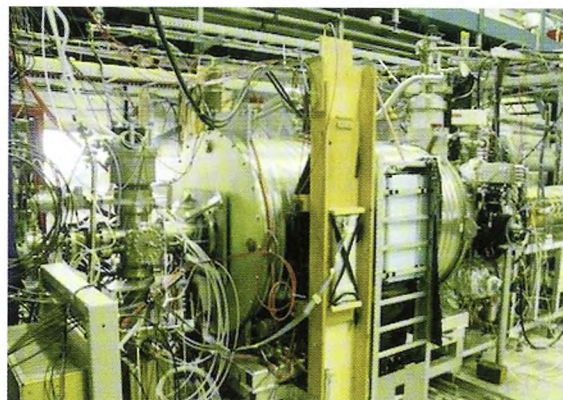


Det omtalte Telescope Array består af 3 teleskopstationer med 12-14 kikkerte, som afsøger himmelhvelvingen for lysspor, som de indtrængende partikler frembringer. Desuden indgår 523 partikeldetektorer fordelt over 762 km², som opfanger sekundærpartikler, der opstår, når den kosmiske stråling rammer luftens atomer.

Kilder: [1] Kvant nr. 4, december 2007, s. 14 (figur 2); The Telescope Array Collaboration, Indications of Intermediate-Scale Anisotropy of Cosmic Rays with Energy Greater Than 57 EeV in the Northern Sky Measured with the Surface Detector of the Telescope Array Experiment, *Astrophysical Journal Letters*, 2014, <http://arxiv.org/abs/1404.5890>; Utah High Energy Astrophysics Institute, <http://www.physics.utah.edu/astroinstitute/astroinstitute.html>.

Måling på antibrint

ATOMFYSIK. Forskere søger at skabe klarhed over, hvorfor der er mere stof end antistof. Som led i denne søgen har forskere på CERN (ALPHA eksperimentet) skabt antibrint, kendetegnet ved, at både protonen og elektronen er udskiftet med deres antipartikler, der har modsat elektrisk ladning. De øvrige fysiske egenskaber er uændrede. I brint har protonen og elektronen nøjagtig samme elektriske ladning men modsat fortegn. Det forskerne nu har opnået, er med en relativ nøjagtighed på 10^{-8} , som er hundrede gange bedre end tidligere præsteret, at måle at dette også gælder for antibrint.



Billedet viser den eksperimentelle opstilling. Med dette udstyr blev der målt på 386 antibrintatomer, som alle viste elektrisk neutralitet.

Kilder: C. Amole et al., An experimental limit on the charge of antihydrogen, *Nature Communications*, 2014, <http://dx.doi.org/10.1038/ncomms4955>; ALPHA Experiment, CERN, <http://alpha.web.cern.ch>.

Den sydlige halvkugles gammapulser

ASTRONOMI. Mulighederne for at måle gammapulser på den sydlige halvkugle er med HESS II blevet forbedret. Det vigtigste er nok, at detektionsgrænsen er flyttet ned fra 100 GeV til 30 GeV.



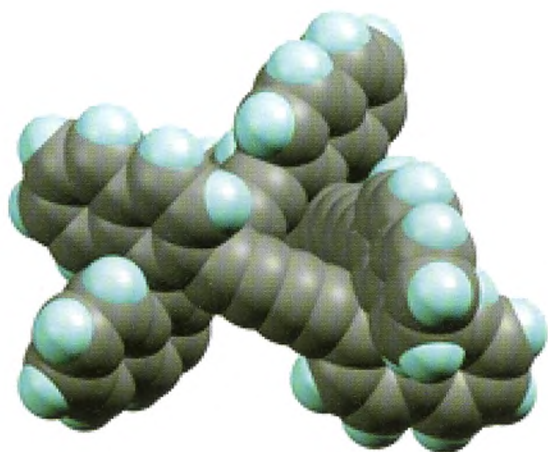
Billedet viser "High Energy Spectroscopic System" (H.E.S.S.), som udgøres af fem spejlteleskoper – ét stort (28 m) og fire mindre (12 m) teleskoper.

Blandt måleresultaterne finder man gammapulser med regelmæssige intervaller på 89 ms. Dette fra en retning, som svarer nøjagtigt til positionen for pulsaren Vela. Beregning af disse gammakvantes energi giver 30 GeV. Teleskoper af samme art findes i Arizona, VERITAS og i Las Palmas, MAGIC.

Kilder: HESS, High Energy Stereoscopic System, <http://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS>.

Molekyle som triple-Möbiusbånd

KEMISYNTSE. Først en forklarende bemærkning. Et Möbiusbånd er snoet på en sådan måde, at overside og underside ikke kan adskilles. Matematikere med interesse for topologi har længe fornøjet sig med sådanne bånd. Nu har kemikere syntetiseret et molekyle, hvorpå der er tre snoninger, se billedet.



Som udgangspunkt ville forskerne sammensætte det med tre spiralformede molekyler. Det viste sig imidlertid, at de udpegede molekyler var kirale (ikke identiske ved spejling). Så der måtte bruges tid på at finde de rigtige molekyler, men det lykkedes til sidst.

Når forskerne anfører, at dette molekyle har usædvanlige elektriske og optiske egenskaber, lyder det plausibelt.

Kilder: G.R. Schaller et al., Design and synthesis of the first triply twisted Möbius annulene, *Nature Chemistry*, **6**, p. 608-613, 2014; G. Schaller, Universität Kiel.

Supernova støver

ASTRONOMI. En supernova SN 2010jl eksploderede for fire år siden. Stjernen tilhører galaksen UGC 5189A, som er 160 mio. lysår væk. Forskere har de seneste år fået øget opmærksomhed på støv i Universet – herunder hvordan og i hvilket omfang dette kommer fra supernovaer. Det store perspektiv er både stjerne- og planetdannelse. Støvpartikler med diametre i nanometerstørrelsen kan opholde sig steder i rummet, hvor stjernedannelse finder sted. Derfor blev det besluttet at følge udviklingen i omegnen af SN 2010jl. Det viste sig, at allerede efter 40 dage var der tydelige støvskyer tæt på supernovaen. Imidlertid er der stadig stor uklarhed omkring støvets dannelse.



Som instrument blev brugt ESOs Very Large Telescope, med X-Shooter, en specialiseret spektrograf, der kan bestemme den bølglængdeafhængige absorption. Denne dækker både det optiske og infrarøde område. Stoffet, som forårsager absorptionen, kan således potentielt bestemmes. På basis af de foretagne målinger skønner forskerne, at der i løbet af de næste 25 år vil være dannet så meget støv, at det svarer til en halv solmasse.

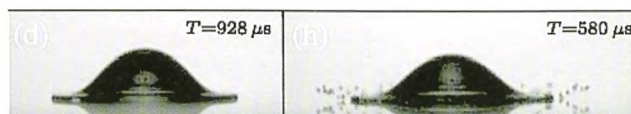
Kilder: C. Gall et al., Rapid formation of large dust grains in the luminous supernova 2010jl, *Nature*, 2014, <http://dx.doi.org/10.1038/nature13558>; ESO nyhed, <http://www.eso.org/public/news/eso1421>; X-Shooter, <http://www.eso.org/sci/facilities/paranal/instruments/xshooter.html>

Dråber og sprøjt

HYDRODYNAMIK. Når en faldende dråbe rammer en overflade sker det tit, at der dannes en mindre sky af miniaturredråber – sprøjt. Er der en teori for sprøjtedannelse? Det har et par forskere fra Sevilla set nærmere på.

Det begyndte vel egentlig med den iagttagelse, at tilstedeværelse af luft har betydning for hændelsesforløbet. I et vakuumkammer, hvor en faldende dråbe rammer en fast overflade, dannes der ikke sprøjt. Væsken lægger sig som en dyne på overfladen.

Foruden luft har dråbens hastighed naturligvis også betydning. For at komme nærmere på en teori eksperimenterede de med vand, etanol og siliconeolie. Med et højhastighedskamera (600.000 fps) kunne de følge de millimeter store dråbers skæbne i mindste detalje.

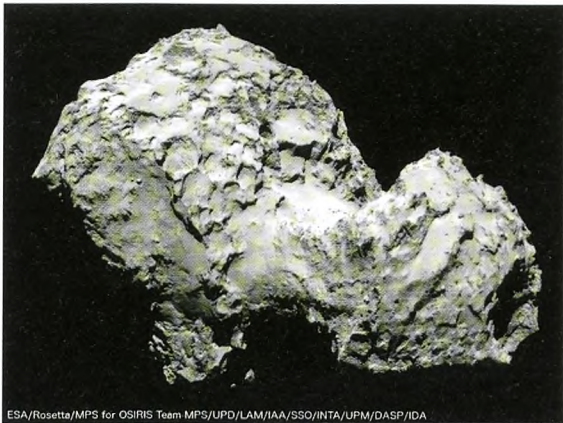


De har sammenføjet erfaringerne herfra i formler, hvorved man fx har kunnet beregne, at for etanol (i luft) er den teoretiske grænse mellem sprøjt og ikke-sprøjt 2,19 m/s. Eksperimentelt gav en hastighed på 1,29 m/s ikke-sprøjt medens 2,47 m/s gav sprøjt. Det kan vel accepteres som en bekræftelse.

Kilder: G. Riboux and J.M. Gordillo, Experiments of Drops Impacting a Smooth Solid Surface: A Model of the Critical Impact Speed for Drop Splashing, *Physical Review Letters*, **113**, 024507, 2014, <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.113.024507>

Rosetta-rumsonden indhenter komet

ASTRONOMI. Rumsonden Rosetta, der blev opsendt i 2004 af det europæiske rumagentur ESA, har været fem gange omkring Solen og haft flere forbiflyvninger af planeter for at få den helt rette bane. Rosetta har således tilbagelagt 6,4 mia. km og indhentet kometen 67P/Tjurjumov-Gerasimenko den 6. august, hvor den gik i kredsløb om kometen. Afstanden til Jorden var da over 400 mio. km. De første nærbilleder har vist, at kometen "67P" består af to dele, der sandsynligvis er smeltet sammen efter sammenstød – en såkaldt "kontakt-binær" komet.



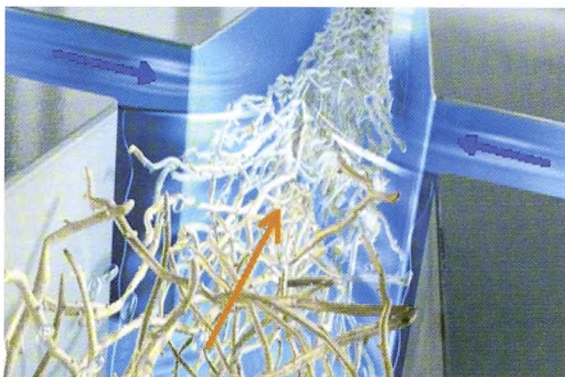
I november, når kometen er gennemfotograferet og analyseret, skal landingsfartøjet "Philae" bringes ned på kometens overflade. Philae skal bl.a. bore i overfladen for at få mere konkret viden om, hvad kometer egentlig består af. Rosetta og Philae vil følge kometen det næste halvandet år når den passerer tæt forbi Solen.

Kilde: Tycho Brahe Planetarium nyheder, <http://www.planetarium.dk> ; ESAs Rosetta-side, http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta

Ekstra stærke cellulosetråde

MATERIALEFYSIK. Det kan næppe undre, at svenske forskere beskæftiger sig med cellulosefibre. Nu har et par forskere på KTH, Stockholm beskrevet en metode, som kan omforme cellulose (fibriller) til tråde med stor styrke. I forhold til vægten skulle de endog være stærkere end stål og aluminium. Uimidelbart lyder det som noget med fremtiden for sig.

Cellulose udgør hovedparten af cellevægge i planter. Her danner cellulosen små tråde, de såkaldte fibriller.



Her en principtegning af den måde fibrillerne orienteres på. De skal ligge parallelt med hinanden før de 'limes' sammen. Den orange pil markerer hvor fibrillerne i stor uorden kommer ind i kanalen. Lidt længere inde ses to blå pile, som er (jet)vandstråler. Dette vand indeholder salte, som får fibrillerne til at klæbe sammen.

Ser man helt ned i kanalen kan man ane, at de tre væskestrømme har fået fibrillerne til at ligge parallelt. Processen afsluttes med tørring af fibrene, hvilket tager nogle minutter.

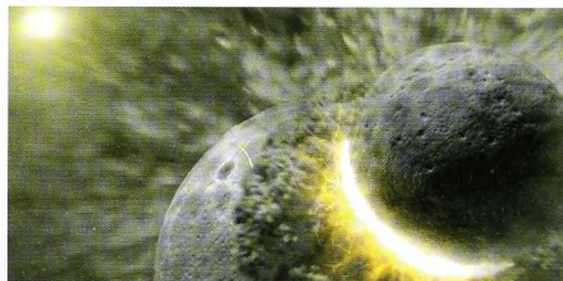
Nu kan de tynde tråde så flettes til en tykkere tråd. Forskerne har på denne måde fremstillet et prøvestykke med en længde på 10 cm. Produktionsmæssigt skulle længden i sig selv ikke være noget problem.

Kilder: Karl Håkansson et al., Hydrodynamic alignment and assembly of nano-fibrils resulting in strong cellulose filaments, *Nature Communications*, 5, article no 4018, 2014.

Månens fødsel

PLANETFYSIK. Den fremherskende opfattelse af Månens dannelse er, at en planet på størrelse med Mars (navngivet: Theia) stødte sammen med Jorden. Computersimuleringer understøtter dette synspunkt og at det meste af Månen skulle komme fra Theia. Forskerne har derfor formuleret dette spørgsmål: Hvis 70-90 % af Månen stammer fra Theia burde det så ikke manifestere sig i isotopfordelingen på Månen hhv. Jorden?

For at komme en besvarelse lidt nærmere har man undersøgt fordelingen af de to iltisotoper ^{16}O og ^{17}O i de prøver, som Apollo-missionerne bragte med tilbage til Jorden. De udførte målinger (som ikke var lette at udføre) har vist en lille forskel mellem Jorden og Månen. Vurderingen er, at forskellen er lille, men signifikant. Det tilføjes, at der også mellem Solsystemets planeter er forskelle på isotopsammensætningen.



Måneprøverne synes også at godtgøre, at Theia skulle have været præget af de såkaldte Enstatit-kondritter. Det finder man også i meteoritter, som er dannet nær Solen og ikke i asteroidebæltet. På nuværende tidspunkt synes konklusionen at være, at Jorden og Theia har bidraget lige meget til Månens fødsel.

Kilder: D. Herwartz et al., Identification of the giant impactor Theia in lunar rocks, *Science*, 2014 <http://dx.doi.org/10.1126/science.1251117> ; Daniel Herwartz, Universität Göttingen, <http://www.uni-goettingen.de/de/daniel-herwartz/315865.html>

Piazzis flyvende stjerne

Af Michael Quaade, Niels Bohr Institutet

61 Cygni er umiddelbart en uanselig stjerne i bagkanten af stjernebilledet Svanens ene vinge. I en astronomisk kikkert er det tydeligt at det er en dobbeltstjerne. De to komponenter er 30 buesekunder eller 1/120 grad fra hinanden. I 1804 opdagede den italienske astronom Guiseppe Piazzi at 61 Cygni flytter sig så hurtigt, at retningen til den ændres en vinkel på 5" om året. Det er den bevægelse, der kaldes stjernens egenbevægelse. Det er så langsomt at vi normalt ikke lægger mærke til at 61 Cygni flytter sig på himlen. Alligevel var det dengang den hurtigste egenbevægelse af en stjerne, der nogensinde var målt og Piazzi kaldte den for "den flyvende stjerne".

I disse år kan vi med lidt tålmodighed se bevægelsen af 61 Cygni [1]. Lige ved siden af 61 Cygni A – den klareste af de to komponenter i dobbeltstjernen – står der nemlig en svagere stjerne som man kan se på billedet. Afstanden mellem de to stjerner er i 2014 10" og 61 Cygni bevæger sig år for år væk fra den svage stjerne – mod venstre på billedet. Allerede næste år vil afstanden mellem de to stjerner være øget mærkbart og i 2016 vil den være fordoblet i forhold til i dag. I 2018 vil afstanden mellem 61 Cygni A og den svage stjerne være 30" ligesom afstanden mellem 61 Cygni A og B. 61 Cygnis hastighed er omkring 100km/s.

61 Cygni var den første stjerne, som det lykkedes at måle afstanden til. I 1838 lykkedes det den tyske astronom Friedrich Wilhelm Bessel at måle afstanden til den. Hans metode var at måle stjernens årlige parallakse. Den metode udnytter at Jorden bevæger sig i en bane rundt om Solen i en afstand af knap 150 millioner km. Det betyder, at den tilsyneladende position af en given stjerne – set fra Jorden – ændres en smule når man ser på den på to tidspunkter med et halvt års mellemrum. På det halve år har Jorden jo flyttet sig 300 millioner km fra den ene 'side' af sin bane til den anden.

Man kan få et indtryk af fænomenet ved at holde en finger op foran ansigtet og se på den med skiftevis det ene og det andet øje – så kan man se at fingeren ser ud til at flytte sig i forhold til baggrunden.

Det betyder at stjernen ses i en retning, der er drejet en ganske lille vinkel i forhold til den observerede retning et halvt år tidligere. Det er altid ganske små vinkler, det drejer sig om – selv for de allernærmeste stjerner er parallaksen en vinkel på under ét buesekund. For 61 Cygnis vedkommende er den knap en tredjedel buesekund. Det var denne meget lille vinkel som Bessel som den første foretog en måling af i 1838.

Bessel valgte netop 61 Cygni fordi dens store egenbevægelse kan tages som et tegn på at den er forholdsvis tæt på os. Det svarer til at en bil på gaden ser ud til at bevæge sig meget hurtigere forbi os end en flyvemaskine på himlen. 61 Cygnis egenbevægelse omkring 50 gange større end dens parallakse – hvilket ikke har gjort

arbejdet nemmere for Bessel.

Hipparcos satellitten [2] målte i årene 1989 til 1993 med stor nøjagtighed positionerne af godt 100.000 stjerner – og hermed deres parallakser. Den har målt parallakserne for 61 Cygni A og B til henholdsvis 0,28713" og 0,28542". Når man først har parallaksen π kan afstanden d beregnes som den reciprokke værdi:

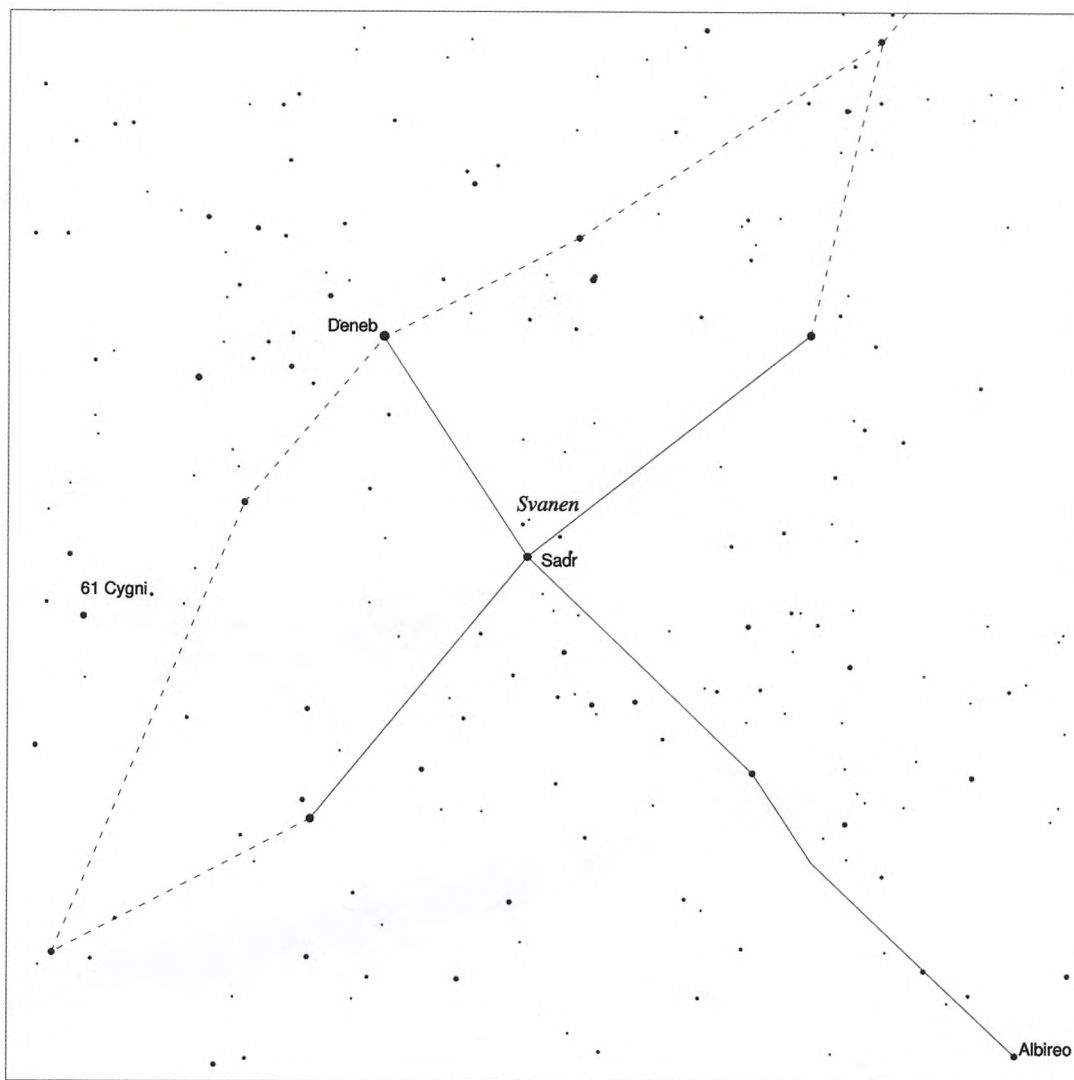
$$d = \frac{1}{\pi}$$

Her får vi afstanden i *parsec* når parallaksen angives i buesekunder. Afstanden til 61 Cygni er på den måde omkring 3,5 parsec eller 11,4 lysår. Det minder om den måde, en landmåler finder afstanden til et pejlemærke i naturen ved at måle retningen til det fra to forskellige punkter med kendt indbyrdes afstand.

Tycho Brahe forsøgte også at måle parallakser for stjernerne. Da han arbejdede med sine astronomiske målinger i slutningen af 1500-tallet kendte han til Kopernikus' verdensbillede med planeter, der bevæger sig i baner omkring Solen. Hvis Kopernikus havde ret, ville retningen til stjernerne ændres i året løb. Selv om Tycho Brahe målte stjernepositionerne bedre end nogen anden tidligere havde gjort, kunne han ikke se nogen tegn på en årlig parallakse.

Han konkluderede – fornuftigt nok – at Jorden derfor stod stille i rummet. På det grundlag opstillede han sit verdensbillede, hvor Jorden er i midten af himmelkuglen hvor stjernerne befinder sig. Solen bevæger sig i hans model rundt om Jorden én gang i døgnet. Alle de andre planeter bevæger sig i baner omkring Solen, som på den måde nærmest kan siges at trække planetbanerne med rundt i sin bane om Jorden.

I dag ved vi godt at Tycho tog fejl på dette punkt. Det er Solen, der med sin store masse holder alle planeterne i bane om sig med sin tyngdekraft. Tychos fejltagelse bestod i, at han ikke kunne måle de uhyre små parallaksevinkler. Hans bedste målenøjagtighed [3] var i nærheden af et bueminut – 60" – så han har slet ikke kunnet måle parallakserne, der jo er under 1".



Figur 1. Stjerne kort over stjernebilledet Svanen – ét af de få stjernebilleder, der ligner det, det er opkaldt efter. 61 Cygni ses til venstre på kortet. Kortet er fremstillet af Michael Quaade med XEphem programmet – se xephem.com.



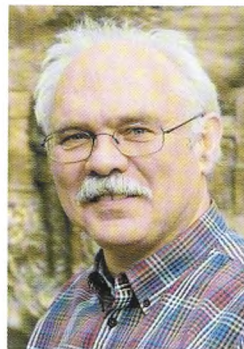
Figur 2. Dobbeltstjernen 61 Cygni fotograferet gennem Wieth-Knudsen Observatoriets 40cm kikkert. Bemærk den svage baggrundsstjerne lige til højre for den øverste klare stjerne. Foto: Michael Quaade.



Figur 3. Albireo, der også befinder sig i Svanen er en af himlens smukkeste dobbeltstjerner. den er ligeledes fotograferet gennem Wieth-Knudsen Observatoriets 40cm kikkert. Foto: Michael Quaade.

Litteratur

- [1] MacRobert, Alan : *The Flight of 61 Cygni*, Sky and Telescope, August 2014, side 50.
- [2] Hipparcos kataloget: <http://archive.ast.cam.ac.uk/hipp/hipparcos.html>
- [3] Wesley, W.G.: *The Accuracy of Tycho Brahe's Instruments*. *Journal for the History of Astronomy*, Vol. 9, side 42.



Michael Quaade er kommunikationsmedarbejder ved Niels Bohr Institutet og arbejder primært med initiativer overfor gymnasie- og folkeskoleelever. Han har i en årrække været formand for Astronomisk Selskab.

Bag kulisserne i LHC

Af Christian Buhl Sørensen, Syddansk Universitet og CERN

Et eksempel på ingeniørarbejdet bag sikkerhedssystemer i Large Hadron Collider (LHC) forklares; et feasibility study om måling af abort gap intensiteten med diamantdetektorer vha. interaktioner mellem neon og protonerne i LHC.

Indledning

Jeg vil med denne artikel fortælle om den anden side af LHC. Man hører ofte om de resultater, der produceres i de store eksperimenter (cern'sk for detektorer) som ATLAS, MOEDAL og LHCb – senest indikationerne af Higgs-partiklen. Man hører i mindre grad om den fantastiske ingeniørbedrift, der ligger bag at vedligeholde og udvikle verdens største maskine: The Large Hadron Collider. LHC er en 27 km lang partikelaccelerator, der ved hjælp af superledende magneter og elektriske felter, accelererer protoner og tunge ioner op til en hastighed kun ca. 12 km/t fra lysets. Herefter bliver de bragt til kollision i detektorerne, og den partikelregn der kommer deraf, fortæller ind imellem noget om det mest grundlæggende i atomers opbygning og natur.

Jeg har det privilegium at være ansat et års tid hernede som "Technical Student" i én af de sektioner af CERN, der tager hånd om at udvikle de systemer, der overvåger og beskytter LHC, og jeg har derved førstehåndserfaring med det enorme arbejde der ligger bagved at levere partikler med så høj energi til kollisioner i detektorerne.

Ét af de vigtigste sikkerhedssystemer er muligheden for at tømme ringen for protoner. Det sker eksempelvis, hvis der måles for høje strålingsniveauer i tunnellen, hvis vakuummet bliver for dårligt et sted i ringen, eller modstanden i én af de mere end 1.500 superledende magneter bliver for høj. I alt er der ca. 25.000 forskellige signaler, der kan lede til at ringen bliver tømt.

Da der i hver af de to stråler er lagret omtrentlig 362 MJ, kræver det omtanke at tømme ringen. 362 MJ er omtrentlig den energi, der skal til at smelte et halvt ton kobber, og mere end rigeligt til at skære huller i kryostater, superledende magneter og de stålrør, der udgør vakuummet. Måden man får strålen ud af ringen er ved hjælp af en ultra-hurtig magnet (kickeren), der afbøjer strålen ud mod de-fokuseringsmagneter og 850 tons grafit, beton og stål, der absorberer protonerne. Det tager ca. 3 μ s at få kickeren op på fuld styrke, og i denne tid skal der være en partikelfattig periode for at undgå skader på acceleratorens elementer. Strålen er delt op i ca. 2808 pakker, som hver indeholder ca. $1,15 \cdot 10^{11}$ protoner. Pakkerne er 1,5 ns lange og er fordelt med 25 ns imellem sig. Derudover er der forskellige frie perioder fra de forrige accelerators, der leverer partikler til LHC.

De 3 μ s er der taget højde for i fordelingen af partikler i ringen ("abort gap'et"), men der er enkelte

partikler, der får en smule højere eller lavere hastighed, og bevæger sig ud i abort gap'et, og det nødvendiggør konstant overvågning af partikeltætheden.

Sædvanligvis bliver det gjort ved at holde øje med intensiteten af synkrotronstrålingen fra de superledende magneter, idet abort gap'et passerer forbi. Sidste periode hvor acceleratoren kørte, blev ét af spejlene (der fanger fotoner fra synkrotronstrålingen i det synlige spektrum) i systemet skubbet ud af plads og gjorde målingen umulig. Løsningen blev at rense abort gap'et præventivt hvert 15. minut, med et forhøjet partikeltab til følge.

Hvad gør vi så?

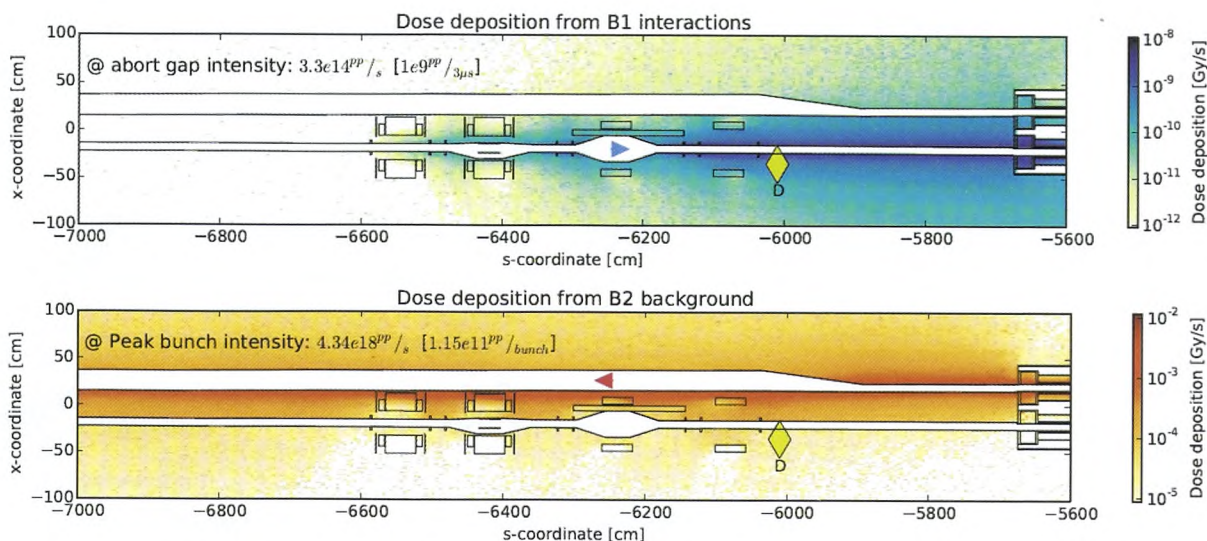
Mit arbejde har drejet sig om at beregne, hvor gode mulighederne er for en anden metode til måling af abort gap intensiteten. Det tunge regnearbejde bliver lavet med FLUKA, et program til at simulere partikelinteraktioner og partikeltransport. Fordi matematikken bag partikelinteraktioner er så kompliceret, bruger man Monte Carlo-simuleringer som fundament, hvor hver eneste partikel startes tilfældigt, og bevæger sig gennem geometrier og interaktioner efter nøje modellerede sandsynlighedsfordelinger.

I ringen er monteret et instrument, der kaldes BGI (Beam Gas Ionisation monitor). BGI'en måler, hvor bred strålen er, ved at partikelstrålen ioniserer neonatomer, der lukkes ind i vakuumrøret. Elektroner fra ioniseringen trækkes ud og detekteres på en fosforplade.

De inelastiske sammenstød mellem protoner og neonatomer giver en regn af partikler i tunnellen, som kan detekteres med diamanter. Når partikler passerer igennem en meget tynd skive diamant, danner de en mængde elektron-hul par, som kan måles. Det er muligt at detektere enkelte partikler med en opløsning i tid på 600 ps. Den meget høje opløsning i tid gør, at man vil kunne måle hvor mange interaktioner, der har fundet sted i den tid abort gap'et passerer forbi – igen proportionalt med antallet af partikler.

Problemet med metoden er, at mængden af partikler, påvirkes af et støjbidrag fra den anden stråle, der bevæger sig igennem et bedre, men stadig ikke perfekt, vakuum 40 cm derfra. Det giver anledning til 10-20 gange flere partikler, som også detekteres.

Figur 1 viser, hvor meget dosis omgivelserne absorberer i to tilfælde. Absorberet dosis er omtrentlig proportional med partikelintensiteten. Bemærk forskellen i størrelsesordener! Den gulgrønne diamant er den optimale position for diamantdetektoren.



Figur 1. Det blå plot viser, hvor meget dosis, der absorberes når abort gap'et passerer forbi mod højre, og det røde plot viser, hvor meget dosis, der absorberes på vegne af et partikelbunt, der passerer forbi i den anden stråle.

Yderligere forbedringer

Hvis man introducerer en referencedetektor, der i gennemsnit modtager lige så mange partikler fra den anden stråle, som den primære detektor gør, kan man trække de to målinger fra hinanden og opnå en noget bedre statistik. Yderligere redder man ca. 200 % mere tid at detektore i, hvis man også antager, at mængden af partikler i resten af strålen er den samme for abort gap'et.

Sidst men ikke mindst, kan man justere trykket i BGI'en. Hvis man lader det stige med en faktor 10, stiger intensiteten af partikelregnen også med en faktor 10. Dette, og det ekstra man redder med de to detektorer, gør det rent faktisk muligt at måle abort gap partikeltætheden, og reagere, hvis den er ved at blive for høj.

Livet som ingeniør på CERN

Det kan virke som et lidt obskurt indblik i 'bagsiden' af CERN, i og med at det er så specifikt. Men samtidig er det også en vigtig pointe – i så stort et projekt er der specifikke opgaver, der kræver alle slags uddannelser.

Jeg havde tidligere indtrykket af at CERN var fysikernes højborg, men i virkeligheden er fællestrækket for de, der bliver hængende, lysten. Dem der er her, har lyst til at være her. Uanset om det er software-ingeniører, brandmænd, fysikere, eller fysik-og-teknologistuderende fra SDU, som jeg, der folder sig ud.

Jeg beskæftiger mig med enormt interessante problemstillinger i et internationalt miljø uden sammenligning. Jeg har følelsen af, at man bliver anerkendt, både af folk, der har været ved CERN i 40 år og i fem måneder. Det er en vild fornemmelse at være en del af så stort et projekt, som LHC er, og der er så mange ting at berette om stedet hernede, men det vigtigste er min opfordring til at prøve det selv. Der er kortvarige og længerevarende tilbud, og det har mine varmeste anbefalinger.



Christian Buhl Sørensen er stud. M.Sc. i fysik og teknologi ved det tekniske fakultet på Syddansk Universitet og er pt. ansat som 'technical student' ved det europæiske forskningscenter for partikelfysik, CERN. Han har fokus på beskyttelsessystemer og evaluering af diaman-detektorer til overvågning af drift og forstyrrelser i strålen. Derudover i oplæring som gal videnskabsmand og sporadisk bjergbestiger.

Christian gæster SDU den 27.-28. september i forbindelse med en Fysik og Teknologi Camp for gymnasieelever. Campen er gratis. Læs mere på www.sdu.dk/fysikogteknologi/camp.

Elektronmikroskopi for gymnasieelever

Af Louise Sejling Haaning, Nanoteket, DTU Fysik

Elektronmikroskoper har hidtil været udstyr primært forbeholdt forskere. Det er slut nu. Nu får gymnasieklasser og studerende nemlig mulighed for at lave eksperimentelle øvelser med elektronmikroskoper i undervisningslaboratoriet *Nanoteket* på DTU Fysik.

Forsker for en dag

Hvordan ser en polymermembran fra en brændselscelle ud, når den forstørres 10.000 gange, og hvilket grundstof består katalysatorpartiklerne i membranen af? Det er blot nogle af de undersøgelser som gymnasieelever kan lave (figur 1), når de besøger *Nanotekets* nye topmoderne undervisningslaboratorium som indeholder elektronmikroskoper [1].



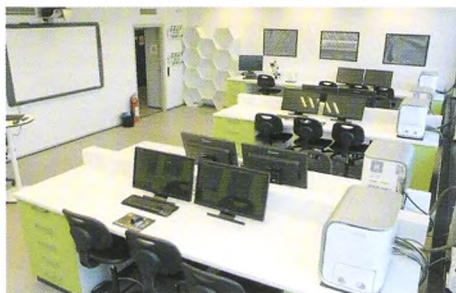
Figur 1. Elever fra Rosborg Gymnasium under indvielsen.

Formålet med det nye laboratorium er at formidle forskning inden for mikro- og nanoteknologi til gymnasieelever og studerende, og give eleverne/studerende et indblik i, hvad det vil sige at være forsker ved at lade dem arbejde med avancerede mikroskoper, som de ellers ikke normalt ville få mulighed for at bruge.

Gymnasieeleverne er meget begejstrede for den nye øvelse om elektronmikroskopi. En elev skriver, at "Det var super sjovt med god variation".

Udvidelse af *Nanoteket*

Det nye laboratorium indeholder fem skanningelektronmikroskoper (SEM), og det kan rumme op til 15 elever/studerende ad gangen, se figur 2.



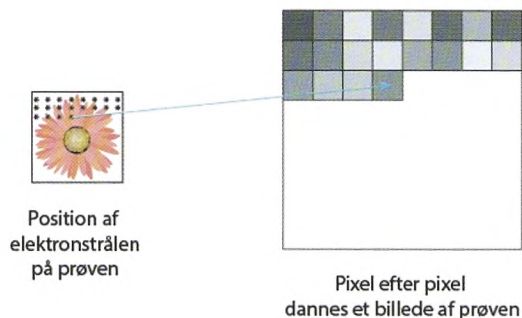
Figur 2. *Nanotekets* nye laboratorium med elektronmikroskoper.

Laboratoriet er en udvidelse af det allerede eksisterende undervisningslaboratorium *Nanoteket*, og det er etableret i samarbejde mellem DTU Fysik og DTU Cen. Projektet er støttet af VILLUM FONDEN, Otto Mønstedts Fond samt Marie & M. B. Richters Fond.

Hvad er elektronmikroskoper?

Når man skal undersøge objekter og strukturer, der er mindre end, man kan se med et optisk mikroskop, kan man bruge et elektronmikroskop. Elektronmikroskoper er derfor vigtige redskaber, som bruges inden for mange fagområder. Et SEM bruger elektroner til at danne tredimensionel-lignende billeder af overfladestrukturer helt ned på nanometerskala. Elektroner har en mindre bølgelængde end synligt lys, og det bevirker, at man kan observere detaljer på en mindre længdeskala med et elektronmikroskop i forhold til med et lysmikroskop.

Når en prøve skal visualiseres i et SEM, skanner man hen over prøven med en stråle af elektroner. Idet elektronstrålen rammer prøven, dannes der signaler, der indeholder forskellige informationer om prøven. Signalerne omsættes til en gråtone, og pixel efter pixel sammenstykes et billede af prøven, se figur 3.

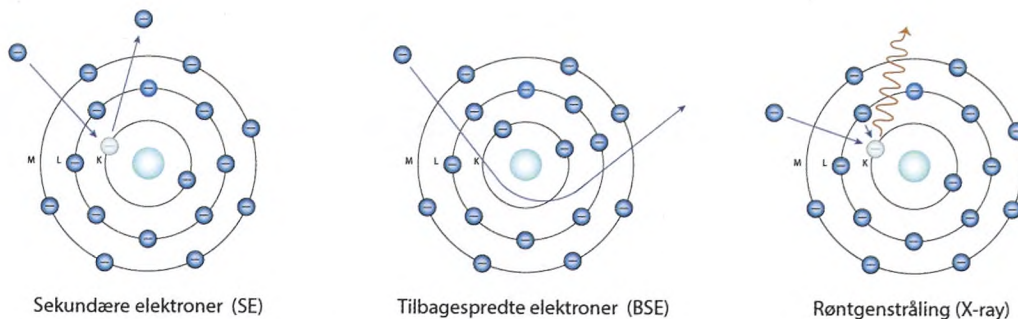


Figur 3. Dannelsen af et billede i et elektronmikroskop.



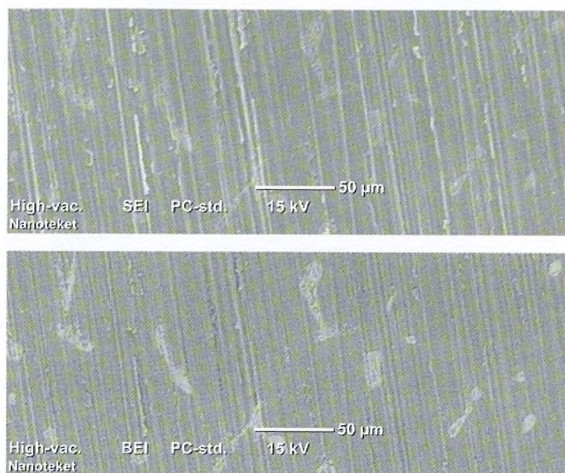
Figur 4. Et af *Nanotekets* skanningelektronmikroskoper.

Hvert elektronmikroskop (se figur 4) har tre typer af detektorer til at opfange signaler fra hhv. sekundære elektroner, tilbagespredte elektroner og røntgenstråling, se figur 5.



Figur 5. Dannelse af: Sekundære elektroner (SE), Tilbagespredte elektroner (BSE) og Karakteristisk røntgenstråling (X-ray).

Sekundære elektroner er elektroner, der giver billeder af prøvens overflade (topografi), se figur 6 (øverst). Tilbagespredte elektroner giver også billeder af overfladen, men her er kontrasten i billedet et udtryk for forskellige grundstoffer i prøven, se figur 6 (nederst). Energien af røntgenstrålingen er karakteristisk for det grundstof, som strålingen afgives fra. Man kan derfor analysere røntgenstrålingen med et energidispersivt røntgenspektrometer (EDS), og bestemme hvilke grundstoffer ens prøve består af.



Figur 6. Eksempel på forskellen mellem et sekundært elektronbillede (øverst) og et tilbagespredningselektronbillede (nederst). Prøven består af 93% Al, 4% Cu og 3% O.

Eksperimentelle øvelser om elektronmikroskopi

Nanoteket tilbyder indtil videre en gymnasieøvelse om energimaterialer, hvor elektronmikroskoperne bruges. I øvelsen skal overfladen og opbygningen af polymersolceller og polymermembraner undersøges.

Polymermembraner bruges både i elektrolyseceller og i brændselsceller. På hver side af membranen er der et tyndt elektrodelag, hvori der er katalysatorpartikler for at gøre spaltningen/dannelsen af vand mere effektiv. Ved første øjekast har polymermembranen en tilsyneladende plan overflade, men jo mere der zoomes ind med et elektronmikroskop, desto mere ujævn struktur viser det sig, at membranen har. Polymersolceller har derimod en anderledes og mere lagdelt struktur. De er bøjelige solceller, der er fremstillet ved hjælp af en tryksteknik.

I øvelsen skal gymnasieeleverne også afprøve SEM'ernes forskellige detektorer og dermed se forskellen på billederne og den information, de giver om prøverne. Eleverne lærer desuden hvordan et elektronmikroskop er opbygget, og hvordan det bruger magnetfelter fra spoler til at afbøje og samle elektronstrålen.

Til øvelsen hører der også nogle regneopgaver, og øvelsen egner sig derfor godt til, at der efterfølgende kan skrives en rapport om emnet.

En ny øvelse om farver og strukturer, hvor elektronmikroskoperne også skal bruges, forventes at være klar i løbet af efteråret 2014.

Om Nanoteket

Nanoteket har eksisteret siden 2004. Det er et undervisningslaboratorium under DTU Fysik, der til daglig drives af en fastansat chefnanotekar, en projektleder samt entusiastiske fysik- og nanoteknologistuderende (se figur 7), der brænder for at formidle spændende naturvidenskab. Det er gratis for gymnasieklasser og studerende at besøge Nanoteket, og der er årligt mere end 3.400 besøgende. Der tilbydes 15 øvelser indenfor mange forskellige emner, bl.a. solceller, brændselsceller og acceleratorfysik. En typisk øvelse varer 4 timer og den tilpasses klassens niveau (A, B og C). Ved et besøg kan man desuden bestille et underholdende og lærerigt fysikshow.



Figur 7. Ansatte i Nanoteket. Fotograf: Lisbeth Holten.

Litteratur

- [1] Nanoteket, www.nanoteket.fysik.dtu.dk



Louise Sejling Haaning, cand.polyt., arbejder som projektleder i Nanoteket, og har ansvaret for elektronmikroskopilaboratoriet.

Kirstine Meyers legat blev uddelt ved SNU's jubilæum

Af Dorte Olesen, Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Tirsdag den 19. august 2014 markerede SNU sit 190 års jubilæum – og UNF sit 70 års jubilæum – ved et festligt arrangement på DTU. Ved denne lejlighed uddeltes det sjældne og meget prestigefyldte Kirstine Meyer legat til Pernille Yde for hendes forskning indenfor biofysiske computermodeller med særligt henblik på inflammation og diabetes. Her bringes nogle billeder fra dagen.

Prestigefyldt legat til kvindelig ph.d. fra Niels Bohr Institutet

Pernille Yde er 30 år og forsvarede i februar i år sin ph.d.-afhandling "Spatial Structures and Regulation in Biological Systems" ved Niels Bohr Institutet. Pernille har efter studentereksamen fra Allerød Gymnasium i 2003 studeret fysik og biofysik på Københavns Universitet, og både her og under sit ph.d.-studium i biofysik vist stor dygtighed og entusiasme. Hun har demonstreret et overbevisende talent for forskning og har allerede en imponerende publikationsliste. I sin studietid har hun været udvekslingsstuderende på Humboldt Universitetet i Berlin og under ph.d.-forløbet har hun arbejdet på Cambridge University hos den kendte Knowles Group.

Pernille Yde har også vist særdeles gode evner for formidling gennem foredrag og posterpræsentationer ved danske og internationale konferencer.

SNU's præsident Dorte Olesen sagde: "Pernille Yde har udmærket sig både indenfor biofysisk forskning og på formidlingsfronten. Hun opfylder derfor til fulde forudsætningen for at modtage Kirstine Meyer legatet – at være en lovende ung dansk forsker indenfor kemi eller fysik". Legatet er et hæderslegat, der ikke kan søges.



Figur 1. Professor Mogens Høgh Jensen motiverede tildelingen af Kirstine Meyer legatet.

Efter en kort motivering for tildelingen af professor, dr.scient. Mogens Høgh Jensen holdt Pernille Yde et foredrag med titlen "Hvordan ved immunforsvaret hvor det brænder?".



Figur 2. Pernille Yde holder foredrag om immunsystemet.

Efter foredraget fik Pernille Yde overrakt legatet.



Figur 3. Præsident for SNU, Dorte Olesen, og modtager af Kirstine Meyer legatet, Pernille Yde.

Science slam

Tidligere på dagen var der seks deltagere i en "Science Slam" konkurrence, arrangeret af UNF, hvor hver deltager havde 8 minutter til at formidle sin forskning på en spændende måde. Alle tilhørerne gav de seks "slamme-re" point. Vinderen blev cand.scient. i biologi Morten Dall fra Rigshospitalet, der talte om emnet "Kan gluten-proteiner i blodet bidrage til sukkersygeudvikling?"



Figur 4. Vinderen af Science Slam blev biolog Morten Dall. I baggrunden ses nogle af de andre slammere.

De øvrige deltagere talte om emner der spændte vidt. Et oplæg handlede om at fremhæve succeshistorierne i energipolitikken, et andet handlede om hvordan man kan regne på hemmeligheder. Et tredje udtrykte begejstringen for astronomi. Et fjerde handlede om en formel for kombinatorik og et femte om nerveceller og

aktionspotentialer.

Historier fra KVANT

Mens pointene blev talt sammen var der reception.

Efter pausen fulgte flere oplæg om SNU's historie og UNF's historie. Jens Olaf Pepke Pedersen fortalte om nogle glimt af KVANTs historie.



Figur 5. Reception.

Fisk – breddeopgave 60 med didaktisk kommentar

Af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, NSM, RUC.

Mit formål med artikelserien om breddeopgaver er – udover at gøre opmærksom på RUCs fysikuddannelse – dobbelt: Dels udvælger jeg opgaverne, så de kan have interesse som fysikproblemer i egen ret. Dels udvælger jeg dem med henblik på at kunne knytte didaktiske overvejelser til dem af interesse for fysikundervisere. I første omgang i forhold til universitetsundervisning. Men i anden omgang kunne der måske også trækkes paralleller til andre undervisningsniveauer.

Her bringes løsning og kommentar til opgaven fra forrige nummer samt to nye opgaver. Opgaven i sidste nummer af KVANT var denne breddeopgave (nr. 60 i rækken her i KVANT):

Breddeopgave 60. Fisk

Som tommelfingerregel svømmer store fisk hurtigere end ligedannede små fisk. Forklar hvorfor.

Løsning

Hvis vi kalder den maksimale effekt en fisk kan levere til at bevæge sig med for P , modstanden imod fiskens bevægelse i vandet for D , og fiskens maksimalt opnå-

lige fart for v , gælder

$$P = D \cdot v \quad (1)$$

Hele effekten går til at overvinde bevægelsesmodstanden, når fisken har opnået sin maksimale fart og ikke mere bruger energi på at accelerere. Ligningen udtrykker, at energien per tid, P , leveret af fiskens muskler, via fiskens vekselvirkning med vandet omsættes til energitilførslen per tid, $D \cdot v$, til vandet.

En nærliggende antagelse om den maksimale effekt er, at den er proportional med fiskens muskelmasse. Så gælder $P \propto r^3$ for ligedannede fisk med r som en karakteriserende længde for den enkelte fisk.

Bevægelsesmodstandens afhængighed af r og v udover af fiskens form er i almindelighed indviklet, med

ydergrænserne $D \propto \eta \cdot r \cdot v$ (ved laminar strømning af vandet omkring fisken) og $D \propto \rho \cdot r^2 \cdot v^2$ (ved fuldt udviklet turbulent kølvand bag fisken) for v henholdsvis meget lille og v meget stor. Her er η vandets viskositet og ρ dets vægtyfylde.

Indsættes $P \propto r^3$ sammenholdt med $D \propto r \cdot v$ i ligning (1) fås $v \propto r$. Indsættes $P \propto r^3$ sammenholdt med $D \propto r^2 \cdot v^2$ i ligning (1) fås $v \propto r^{\frac{1}{3}}$. I begge tilfælde stiger v med r . Uanset om vi befinder os i den laminare grænse eller den fuldt udviklede turbulente grænse ses den maksimale svømmefart at stige med størrelsen, alt andet lige. Det er derfor nærliggende at antage, at det også – som tommelfingerregel – gælder i almindelighed.

Kommentar

I KVANT nummeret fra marts 2008 løste og kommenterede jeg følgende breddeopgave om luftmodstand:

Børn og voksne kommer i reglen ikke lige hurtigt ned ad bakke på cykel. Hvem kommer hurtigst ned? Begrund svaret.

Jeg fortalte om, hvordan der i breddekurset under fysikstudiet på RUC undervises i hydrodynamik ved hjælp af dimensionsanalyse. Herunder om, hvordan der kan argumenteres for formlerne $D \propto \eta \cdot r \cdot v$ og $D \propto \rho \cdot r^2 \cdot v^2$ for modstanden imod bevægelsen af en genstand i væske eller luft i henholdsvis den laminare og den fuldt udviklede turbulente grænse, alene ved dimensionsanalyse kombineret med grundlæggende fysiske overvejelser. I artiklen: J. H. Jensen, *Introducing fluid dynamics using dimensional analysis*, *Am. J. Phys.* **81** (9), 688-694 (2013), har jeg udvidet og uddybet KVANT-artiklens betragtninger.

Her vil jeg sammenholde de to breddeopgaver om henholdsvis fisks svømning og børn og voksnes cykling.

Det er kun, hvis η , ρ og r er holdt konstante, at størrelsen af v alene er afgørende for, hvornår vi kan forvente laminar strømning, turbulent kølvand eller noget midt imellem. I almindelighed er det den dimensionsløse kombination af η , ρ , r og v , Reynolds tal, $Re = \rho \cdot r \cdot v / \eta$, der er afgørende. Det er derfor interessant at lave overslag over størrelsen af Reynolds tal for henholdsvis cykling og fisks svømning.

For luft ved stuetemperatur er $\eta/\rho = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Udstrækningen $r = 1,5 \text{ m}$ og farten $v = 36 \text{ km/time} = 10 \text{ m/s}$ giver så 10^6 for Reynolds tal. I betragtning af, at hverken voksne eller børn tilsammen med deres cykler udgør særligt strømlinjede genstande, må der med så stort et typisk Reynolds tal for cykling regnes med, at vi har fuldt udviklet turbulent kølvand efter cyklerne og tilsvarende hastighedskvadratisk bevægelsesmodstand, $D \propto \rho \cdot r^2 \cdot v^2$. I frigear på cykel ned ad bakke vil farten vokse indtil den når den konstante frigeersfart, der får den modsatrettede luftmodstand til at være lige så stor som komponenten af tyngdekraften langs med vejen, K_{gp} :

$$K_{gp} = D. \quad (2)$$

Da K_{gp} er proportional med massen af person plus cykel og dermed proportional med r^3 , medfører ligning

(2), sammenholdt med $D \propto \rho \cdot r^2 \cdot v^2$, $v \propto \sqrt{r}$ for den konstante frigeersfart. Så svaret på cykelopgaven er, at den voksne kommer hurtigst ned ad bakken.

For vand ved stuetemperatur er $\eta/\rho = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. En fisk med en fart og en størrelse som en cyklist vil derfor give anledning til et Reynolds tal på $15 \cdot 10^6$, altså 15 gange så stort som cyklistens. Det stiller overordentlig store krav til, hvor strømlinjet fisken er, hvis ikke den skal miste megen energi til et turbulent kølvand. For meget små fisk forholder det sig helt anderledes. Fx giver $r = 10^{-3} \text{ m}$ og $v = 10^{-3} \text{ m/s}$ et Reynolds tal på 1, hvor man skal forvente laminar strømning omkring fisken uanset dens form. I den grænse har vi $D \propto r \cdot v$ med sikkerhed og følgelig, at fiskens maksimale svømmehastighed er proportional med dens udstrækning, $v \propto r$. Det er i denne grænse, at det mest udpræget gælder, at større fisk kan indhente og æde mindre fisk.

Fiskeopgaven og cykelopgaven minder om hinanden. Det er først og fremmest forskellen imellem formelen i ligning (1) og formelen i ligning (2), der adskiller de to opgaver. I breddekurset på RUC bestræber vi os på ikke at stille opgaver, der med små modifikationer er gentagelser af allerede stillede og øvede opgaver i opgavesamlingen. De studerende skal trænes i fysisk problemløsning ved selv at skulle præcisere for dem nye problemer, fremfor at kunne reproducere kendte problemløsninger.

Men hvad menes der med et nyt problem fremfor et, hvor løsningsstrategien i forvejen er kendt? De to opgaver er modstillet her som illustration af, hvad vi i praksis anser for en tilstrækkelig stor forskel til, at den nye opgave udfordrer de studerende til mere end reproduktion af den gamle. Når og/eller hvis de studerende når frem til at se de to opgaver som variationer over samme tema, er meget af målet med undervisningen nået.

Breddeopgave 61 og 62. Elastisk fotonspredning på atomer og puck kollisioner.

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningerne til disse to opgaver fra breddekurset på RUC (fra sommereksamen 1977 og sommereksamen 2013, nr. 61 og 62 i rækken her i KVANT):

En foton spredes elastisk på et atom (atomet er i sin grundtilstand før og efter spredningen), således at fotonens bevægelsesretning efter spredningen danner en vinkel med den oprindelige. Hvordan afhænger forskellen mellem fotonens bølgelængde før og efter spredningen af spredningsvinklen? Begrund svaret.

En ishockey puck i fart på isen støder ind i en hvilende puck magen til. Puckerne kan være roterende før og efter sammenstødet, og der kan både ske ændringer af deres rotationsenergier og udvikles varme og indre svingninger i de to pucker. Hvordan afhænger vinklen imellem bevægelsesretningerne af de to pucker efter sammenstødet af, om den samlede translatoriske kinetiske energi er øget, uændret eller formindsket ved stødet? Begrund svaret.

Løsninger og kommentar bringes i næste nummer.

Spillere hjælper kvantecomputeren på vej

Jens Jakob W.H. Sørensen, Mads Kock Pedersen og Jacob Friis Sherson, AU Ideas Center for Community Driven Research

Vi vil ved hjælp af et online socialt computerspil forsøge at løse en aktuell og meget ressourcekrævende teknologisk udfordring – at designe verdens kraftigste kvantecomputer. I Quantum Moves skal spillerne på en sjov og nem måde udforske og udvikle kvantecomputerens fulde potentiale. Spillet er foreløbigt blevet spillet mere end 350.000 gange, hvilket har leveret enorme mængder af data til en grundig sammenligning af spillerenes og computeralgoritmnernes effektivitet i at løse udfordringerne. Foreløbige resultater viser, at den menneskelige hjernes evne til multidimensioneel processering og intuition tillader store dele af spillerne at udkonkurrere computerne. En anden drøm i scienceathome.org projektet beskrevet i denne artikel er at levere spilbaseret undervisning på gymnasieniveau og gennem det helt nye læringsunivers, studentResearcher.org, at uddanne den almindelige befolkning til ikke bare at løse men også at foreslå nye forskningsudfordringer.

Introduktion

I et laboratorium er det ofte nødvendigt at arbejde med komplekse problemer som ikke kan beskrives analytisk med matematik. Forskere kan så systematisk ændre dele i deres eksperiment og håbe på at finde en god løsning. En computer kan i princippet regne sig frem til en god løsning, men det kan tage flere år. Den tredje vej ville være at forskerne anvendte deres forståelse og intuition til at guide computeren, som kan tage forskerens (forhåbentlige) gode bud på løsninger og optimerer dem til perfektion. Hvis mange folk – ikke kun forskere – bidrog med løsninger som computeren forbedrer kan man udvælge de bedste. Ved at analysere mønstre i de bedste løsninger kan man ikke kun løse sit problem men opnå en ny indsigt, der muliggør løsningen af en lang række relaterede problemer. Dette er essensen bag den mest ambitiøse version af det nye fænomen citizen science.

Bruger-drevet forskning/citizen science

Citizen science er, når manden på gaden bliver inddraget i løsningen af konkrete forskningsudfordringer [1]. Selvom feltet er relativt ungt, er antallet af projekter, som benytter sig af citizen science, i eksplosiv vækst. De gør det alle på forskellige måder og med hvert deres mål for øje. Projekterne spænder fra SETI@HOME, hvor man hjælper med at lede efter liv i rummet ved at donere den computerkraft, som man ikke bruger på sin computer [2], til eBird der lader fuglespottere indberette de fugle, som de observerer for at holde øje med trækmønstrene [3].

Et af de mest populære citizen science projekter til dato er Galaxy Zoo. Det hele startede da Kevin Schawinski i 2007 som en del af sit ph.d.-studie blev bedt om at kigge på mere end 900.000 billeder taget af galakser og klassificere om det var en spiral galakse eller ej. Det var en enkel opgave men krævede meget tid og var ifølge ham selv utrolig kedeligt, og efter en uges hårdt arbejde havde han kun nået 50.000 galakser. Det fik ham til at tænke på, om man ikke kunne gøre det på en anden måde. Da computere ikke er gode til at genkende objekter i et billede, lavede han i stedet en

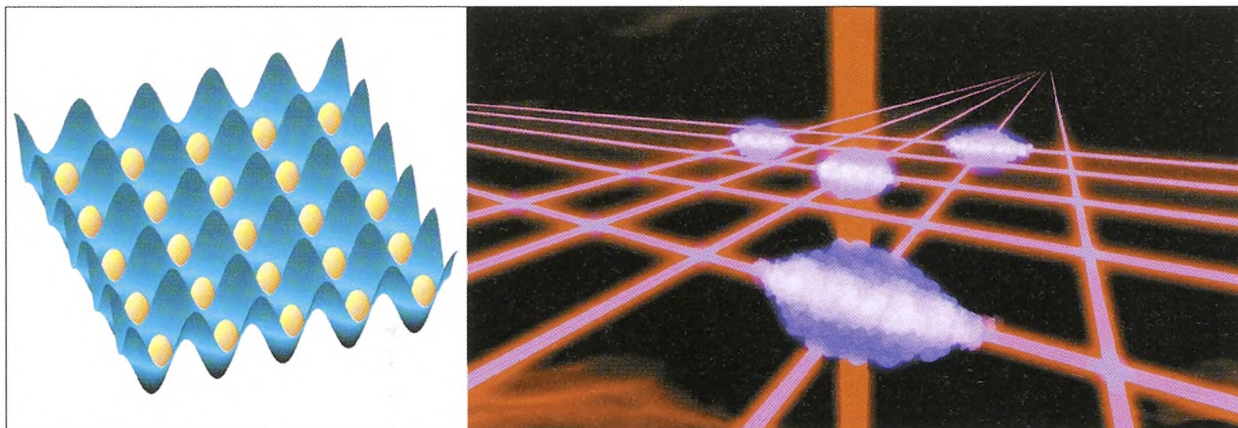
hjemmeside hvor alle kunne gå ind og få præsenteret et af billederne, og så skulle de bare afgøre om det var en spiral eller ej. Til hans egen store overraskelse blev projektet en kæmpe succes; 24 timer efter at de havde lanceret projektet klassificerede brugerne mere end 70.000 galakser i timen, og i dag har projektet mere end 1 million brugere som hjælper med at klassificere langt mere end de oprindelige 900.000 galakser [4].

Den opgave som brugerne bliver stillet i Galaxy Zoo hører måske ikke hjemme blandt de mest krævende, hvilket var et gennemgående træk for alle Citizen Science projekter indtil FoldIt blev lanceret i 2008. De var startet på samme måde som SETI@HOME ved bare at være en pauseskærm, som man installerede og så prøvede en computeralgoritme om den kunne finde den optimale måde et bestemt protein kunne foldes på. Efter et stykke tid begyndte de at høre fra en del af deres brugere om de ikke kunne få lov til at folde proteinerne selv, da de mente at de løsninger, som computeren afprøvede, var helt håbløse og at de kunne gøre det meget bedre selv. Da forskerne bag projektet ikke selv var tilfredse med deres computeralgoritme, begyndte de at lave et computerspil, hvor man kunne folde proteiner, og kæmpe imod de andre spillere. Spillet har indtil nu været en succes og igennem spillet har forskerne været i stand til at udvikle nye algoritmer til proteinfoldning som er de gamle langt overlegne [5].

Vi vil skabe en citizen science tilgang til kvantemekanik. Vi fokuserer særligt på problemer indenfor kvantecomputeren.

Kvantecomputere

Hvert år bliver computerkomponenter mindre og mere kraftfulde. Ingeniører bliver i højere grad nødt til at kompensere for atomfysikkens særlige spilleregler (fx tunnelering) formuleret i kvantemekanikken, når de skal udvikle nye, mindre og hurtigere computere. I stedet for at kompensere for kvanteeffekterne vil kvantecomputeren udnytte dem til at skabe regnekraft på en helt ny skala. Vi giver her en kort introduktion til kvantecomputerens særlige egenskaber, da vi tidligere har beskrevet konceptet i [6].



Figur 1. Til venstre: Atomer fanget i en lysfælde. De enkelte atomer i fælden er kvantebits. Til højre: En visualisering af dynamikken i Quantum Moves. Atomerne er repræsenteret ved blå skyer. Et atom er blevet fanget i den røde laserstråle. Ved at flytte atomer på en passende måde kan de realisere en kvantecomputer.

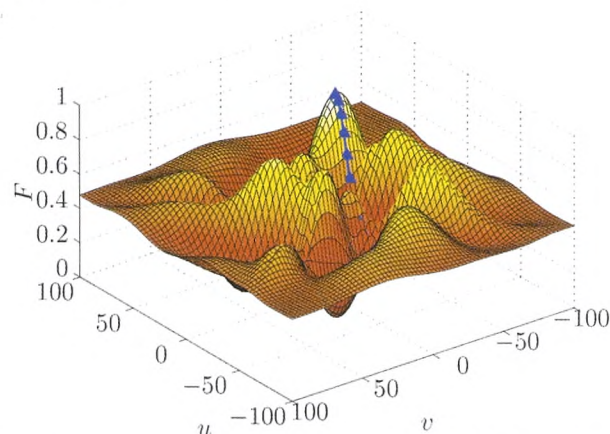
Superpositionsprincippet er fundamentalt i kvantefysikken: atomer kan eksistere i flere forskellige tilstande samtidig. I en kvantecomputer benyttes enkelte kvantepartikler (fx atomer) som kvantebits, der kan være 0 og 1 på samme tid. Det betyder, at n kvantebits kan være i 2^n forskellige tilstande samtidigt. Denne eksponentielt hurtige vækst i kapacitet gør, at selv en lille kvantecomputer med nogle hundrede eller få tusinder kvantebits (modsat milliarder i en klassisk computer) kan foretage enorme mængder af beregninger på en gang, og dermed udkoncurrere alle nuværende computere tilsammen.

På Fysisk Institut i Aarhus arbejder vi i øjeblikket på at bygge en kvantecomputer, hvor vi bruger neutrale atomer som kvantebits. Atomerne kan fanges i en fælde af lys, som giver et potentiale-landskab meget lig en æggebakke (se figur 1). Derved skabes en kunstig krystal af lys, og med det rette valg af laserlys vil atomerne søge mod fordybningerne i æggebakken. Vi har tidligere vist, at kvantecomputeren kan initialeres ved at lægge præcis et atom i hver brønd [7]. Det eneste der mangler for at det er en kvantecomputer, er teknikken til at samle atomer op, flytte dem rundt og aflevere dem i hvile i en ny brønd [8]. Vi er kommet et stykke af vejen ved at skabe en såkaldt lyspincet; en laser stråle, der er så fokuseret, at den kun rammer et enkelt atom i krystallen [7]. Som med lyskrystallen vil det rigtige valg af laserens bølgelængde betyde, at atomet tiltrækkes til positionen med størst lysintensitet, og vi kan samle atomet op og flytte det rundt.

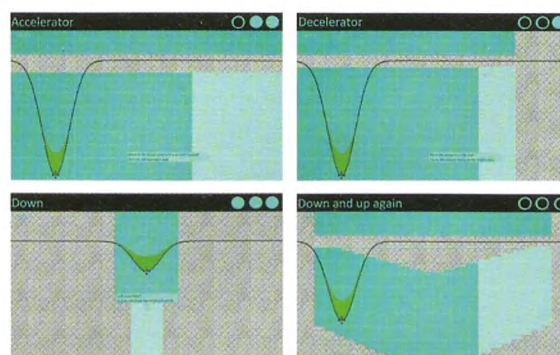
Transporten af atomet skal foregå ekstremt hurtigt for at bevare kvantebitsenes tilstande. Hvis vi flytter atomet på den forkerte måde vil atomet ikke være i hvile når pincettens bevægelse stopper og kvanteberegningen vil fejle. Det svarer til at gå meget hurtigt mens man holder et glas med vand. Hvis man ikke passer på, skulper det over – en simpel men meget udfordrende opgave.

Oprindeligt forsøgte vi med computerberegninger til at løse problemet. På computeren beskrives problemet i termer af to kontrolparametre: positionen og styrken af

lyspincetten til ethvert tidspunkt i bevægelsen. I analogien med vandet beskriver kontrolparametrene måden man bevæger glasset på. Computeren opererer ved at finjustere alle kontrolparametrene så hver ændring giver en lidt bedre score. Computeren foretager mange successive opdateringer indtil den får den ønskede score (se figur 2).



Figur 2. Et fiktivt kontrollandskab af kontrolparameterne u og v . Længs z -aksen ses overlappet mellem start- og sluttilstanden, som kvaliteten af et par af kontrolparametre (u, v) . De blå trekanten viser de successive opdateringer i kontrollandskabet som en computer foretager.

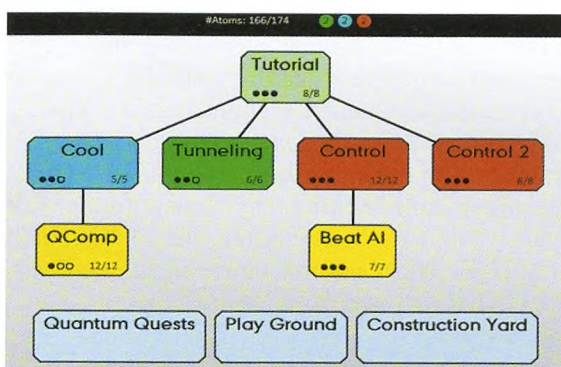


Figur 3. Et udvalg af banerne i Control-programmet, som træner spillerne i hvordan ændringer i lyspincettens intensitet og position påvirker atomets udbredelse.

For realistiske problemer er kontrollandskabet uhyggeligt kompliceret med mange falske maksima. Metodens kvalitet er derfor stærkt afhængig af startpunktet og hvor hurtigt computeren skal flytte atomet. Computerens løsninger var ofte meget komplicerede og uden nogen klar fysisk mening, og vi var overbeviste om at der måtte findes bedre løsninger. Derfor har vi udviklet spillet Quantum Moves, hvor spillere kan få lov til at styre laserens position og intensitet (kontrolparametrene som er x - og y -akserne i figur 3) som funktion af tiden. For hvert spil gemmes det fulde trajektorie af kontrolparametre og når den globale high-score er høj nok, kan spillernes musebevægelser oversættes direkte til den bevægelse laserstrålen skal følge i laboratoriet.

Quantum Moves

Quantum Moves er blevet udviklet med inspiration fra online casual games. Ligesom i Angry Birds skal spillerne opnå en bestemt score for at låse de næste baner op. Banerne er samlet i forskellige labs med hvert sit formål – se figur 4.



Figur 4. Hovedskærmen i Quantum Moves. Her ses det program spillerne skal igennem før de kommer til de videnskabelige udfordringer.

Efter en kort introduktion til spillet føres spillerne videre gennem fire *skill-labs*, som træner de basale færdigheder. Til sidst kommer de *videnskabelige labs*, QComp og Beat AI, hvor spillerne skal forsøge at

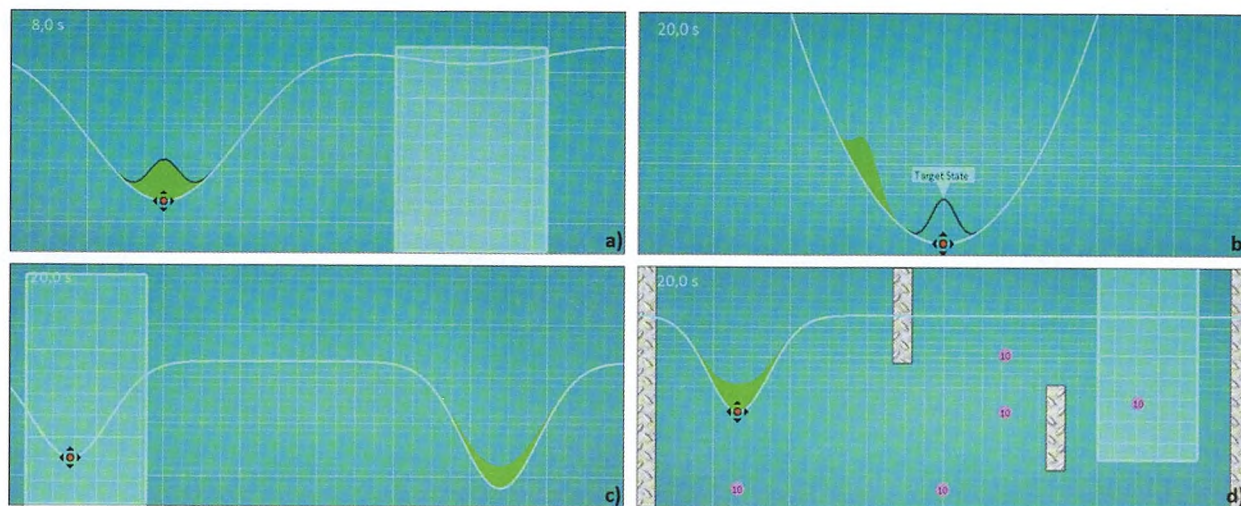
slå computeren. I Skill-labs skal spillerne opbygge en basal forståelse af de kvantemekaniske effekter, som de kan udnytte til at styre atomet med pincetten. Spillerne sendes derfor igennem et temmelig omfattende træningsprogram før de videnskabelige udfordringer.

På figur 3 ses banerne i Control-programmet. Her lærer spillerne hvordan ændringer i laserens intensitet påvirker atomet. Hvis intensiteten er meget høj så kan man lettere flytte atomet uden at det *skvulper*. I vand-analogien kan det forstås på to måder; dels svarer det til at man lettere kan flytte vand hurtigt i et halvfyldt glas end i et fyldt og dels til, at det er nemmere at flytte vand i en beholder med stejle kanter end i et fladt fad. I det sidste tilfælde er substansen simpelthen for modtagelig overfor pludselige bevægelser. De andre Skill-labs træner spillerne i at anvende tunnelering af atomet mellem forskellige brønde og i at bevæge laserens så ryster sig i atomet forsvinder.

I QComp findes de udfordringer som vi lige nu står overfor at skulle løse for at kunne bygge en kvantecomputer. I Beat AI præsenteres spillerne for lidt mere abstrakte kvantefysiske udfordringer. Formålet med disse baner er, at sammenligne spillernes succesrate med computerens. Spillerne anvender meget kompliceret mønstergenkendelse og intuition til at løse banerne i forhold til den relativt simple computeralgoritme beskrevet ovenfor. Det giver spillerne et globalt overblik i forhold til computeren. Hvor spillerne udkonkurrer computeren, identificerer vi så, hvilke strategier spillerne har fundet frem til. I ånd med forskerne i laboratoriet beskrevet i introduktionen vil denne viden forhåbentligt hjælpe udviklingen af nye og forbedrede optimeringsalgoritmer og dermed gøre visse former for kunstig intelligens lidt mere intelligent.

Foreløbige resultater fra Quantum Moves

Selvom vi kun har frigivet en beta udgave af spillet er det gennem det seneste år blevet spillet mere end 350.000 gange af over 3.000 spillere. Eksempler på de udfordringer, hvor vi sammenligner spillerne med computerne, er de fire baner vist på figur 5.



Figur 5. De fire baner i spillet som vi har analyseret. a) Transport, b) QShakeIt, c) BringHomeWater og d) Wiggle. Den turkise kurve viser den potentielle energi og brønden på denne kurve angiver positionen af laserpincetten. Det grønne vand viser atomet – eller mere præcist atomets bølgefunktion.

Den første bane, Transport, beskriver en af de centrale udfordringer i at udnytte atomerne i lyskrystallen til en kvantecomputer. Her skal spillerne flytte atomet fra venstre side til det blå målområde i højre side, og atomet skal ligge stille til sidst. Spillernes hurtige bevægelse af laseren vil ryste atomet og tilføje atomet energi. Spillerne skal derfor svinge laseren således at energien fjernes fra atomet igen. For at lære spillerne dette, introducerede vi QShakeIt (anden bane). Her er laserens intensitet konstant (krumningen på parabeln), men ved at svinge laseren fra side til side kan spillerne få atomet til at ligge stille i bunden af laseren. I den tredje bane BringHomeWater skal spillerne hente et atom og bringe det tilbage i hvile.

At foretage en grundig sammenligning af spillere og computer kræver enorme mængder af computerberegninger, og vi er langt fra færdige med de mange analyser. Af de tre ovennævnte spil har vi i første omgang koncentreret os om BringHomeWater. Foreløbige beregninger viser, at ca. 15 % af spillerne var bedre end computeren. Når løsningerne må være langsomme nok er computeren meget hurtig til at finde løsninger, men når løsningerne skal være hurtige fejler computeren. Dette hænger sammen med at kontrollandskabet bliver betydeligt mere kompliceret for de korte tider, hvor forskellen imellem strategierne bag de gode løsninger er meget stor. Efter få forsøg kan mennesker derimod bevidst eller ubevidst identificere disse gode strategier. Spillerne kan fx se en god strategi og insistere på denne selvom de først får dårlige resultater. Ved at give spillernes løsninger til computeren har vi udviklet en helt ny Man-Machine optimeringsalgoritme, som har sat os i stand til at finde løsninger som var tre gange hurtigere end de rent computerbaserede løsninger. De bedste spillere benytter i BringHomeWater en af to strategier. I den første flyttes den venstre laser til den højre side af atomet, før atomet bliver samlet op. De to laserpincetter skal så lægges oven i hinanden på det første stykke på vej hjem, hvilket gør det muligt at få en stor startacceleration af atomet. Imens atomet bringes tilbage svinges laseren således at rystelser i atomet fjernes. Den anden strategi er at bringe laseren utroligt tæt på atomet og lave en hurtig kvantetunnelering, hvorefter atomet bringes tilbage. De bedste spillere kan gøre dette på under et sekund i spillet.

I spillet Wiggle har vi prøvet at stille en helt ny type af problemer ved at indføre forhindringer, hvor man dør og får en score på 0 hvis atomet rammer. Det viser sig at optimeringsalgoritmerne har meget svært ved at løse den type problemer, det er fordi kontrol-landskabet er helt fladt, da alle de veje hvor atomet vil ramme en forhindring vil give scoren 0. Computeren vil derfor ikke vide i hvordan den skal forandre startgættet for at finde en løsning. Til gengæld kan vores spillere se forskellige grader af død, man kan være "helt-håbløst-død", eller "lige-ved-at-klare-det-død". Spillerne kan derved bruge den ekstra information til at løse problemet.

Disse resultater illustrerer altså tydeligt, hvor fantastisk effektiv den menneskelige hjerne kan være til at løse komplekse problemer, hvis disse kan bringes på

en tilstrækkeligt grafisk form til at udnytte vores fulde potentiale.

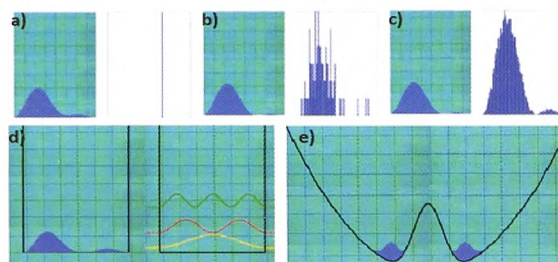
Spil-baseret undervisning

Som nævnt ovenfor, mener vi, at det er utroligt vigtigt at give spillerne så stor en forståelse af den kvantefysiske proces som muligt. Det er en stor didaktisk udfordring, som vi i de sidste to år har øvet os på ved at designe små læringsforløb af 2-20 timers varighed og implementere dem i gymnasieundervisningen ved ca. 10 testklasser [9]. Hvert forløb var designet med to store fokusområder for at øge motivationen:

1. Brugen af spil og grafiske illustrationer i undervisningen
2. Give et klart link fra elevernes pensum til vores forskningsudfordring

Vi har deltaget i gymnasieforløb med fokusområderne klassisk fysik, kvantefysik, datalogi, algoritmer og formidling. Efter hvert forløb foretager vores hold af didaktikere en evaluering med eleverne, og resultaterne bruges i udviklingen af de næste forløb.

Figur 6 giver eksempler på vores grafiske applikationer til at introducere basale kvantefysiske fænomener som sammenhængen mellem bølgefunktionen og målinger, formen af stationære tilstande i forskellige potentialer som fx en partikel i en brønd og til sidst opførslen af et atom ved en energibarriere for at illustrere konceptet bag kvantetunnelering, der bl.a. er essentiel i BringHomeWater-udfordringen og er ansvarlig for radioaktivitet og fusionsprocesser i Solen.



Figur 6. Grafiske applikationer fra undervisningen. a,b,c) En målings-applikation som viser hvordan man ved flere målinger på identisk præparerede bølgefunktioner kan genskabe bølgefunktionen fra målingsresultaterne. d) Superpositions-applikation, hvor brugerne kan skabe superpositioner af stationære tilstande, og se hvordan superpositionerne udvikler sig i tid. e) En interferens-applikation hvor man kan se resultatet af, at samle to adskilte bølgefunktioner i den samme brønd.

Udover de noget abstrakte forløb i kvantefysik har vi også forløb i klassisk fysik. Det viser sig nemlig at atomets bevægelse i lyspincetten minder rigtig meget om et pendul eller en fjeder i bevægelse. Ved at forklare de klassiske Newtonske ligninger for bevægelserne kan vi altså opbygge en intuition for potentiel og kinetisk energi, som kan bruges til løsninger af kvanteproblemet. Inspireret af professions-simuleringsspillet drabs-sag Melded [6] har vi udviklet en aktivitet med tre eksperter: En teoretiker, en eksperimentalfysiker og en simuleringseksperter. Eleverne arbejder først i en af

rollerne og mødes derefter med en repræsentant fra hver af de andre roller, hvorefter de skal sammenligne erfaringer og udfærdige et samlet præsentationsprodukt. I de tidlige forløb var elevernes egen vurdering af det faglige udbytte meget lavt. Siden da har vi fokuseret intenst på at inddrage deres eget pensum så meget som muligt, hvilket på det seneste har givet udslag i højere rapporteret læringsudbytte.

Det er som sagt vigtigt at give spillerne en så dyb forståelse af problemets karakter som muligt, og jo større kognitiv indsats problemet kræver jo sværere bliver denne udfordring; vores udfordring ligger i den tunge ende af sværhedsgraden for citizen science projekter. Stort set alle nuværende citizen science projekter ligger i bunden af skalaen over brugerinnovation i den forstand, at det er forskerne, der stiller problemerne og spillerne der løser dem. Det vil vi gerne ændre i fremtiden ved at uddanne vores spillere i en grad, der sætter dem i stand til at formulere deres egne forskningsproblemer. Til det formål er vi ved at udvikle et online læringsmiljø, studentResearcher.org, hvor vi tager al vores erfaring fra gymnasiebesøgene og udvikler online individuelle læringsforløb, der ideelt set skal kunne tilpasse sig i form og niveau til den enkelte, uanset om det drejer sig om en ufaglært tømrer, en pensioneret politibetjent eller en fysikstuderende på universitetet. Ligesom med arbejdet med at bygge en stor-skala kvantecomputer er det didaktiske projekt naturligvis enormt krævende, og vi tager kun små skridt mod drømmen af gangen, men med hjælp fra de mange fysikinteresserede mennesker rundt omkring i verden er vi sikre på at begge drømme nok skal gå i opfyldelse engang.

Vil du være med?

Vil du være med til at udvikle The Quantum Moves?

- Så meld dig som beta-tester. Skriv en mail til: coderteam@phys.au.dk
- Hvis du underviser i fysik/matematik/datalogi og har lyst til at bruge spillet i din undervisning eller opbygge et undervisningsforløb omkring spillet så skriv en mail til sherson@phys.au.dk.

Besøg os på vores hjemmeside: www.scienceathome.org

Litteratur

- [1] Societize Project (2013). Green Paper on Citizen Science: Citizen Science for Europe – Towards a better society of empowered citizens and enhanced research. En rapport skrevet af Societize Projekt for EU i 2013.
- [2] David P. Anderson, Jeff Cobb, Eric Korpela, Matt Lebofsky, and Dan Werthimer (2002). Seti@home: an experiment in public-resource computing. *Communications of the ACM*, **45**(11):56-61.

- [3] B.L. Sullivan (2006). More than memories: From your backyard to places across North America, eBird keeps track of sightings. *BirdScope* 20:1.
- [4] Galaxy Zoo. The Story So Far, <http://www.galaxyzoo.org/#/story>.
- [5] FoldIt About, <http://fold.it/portal/info/about>
- [6] Sidse Damgaard Hansen, Rikke Magnussen og Jacob Friis Sherson. Demokratiseret forskning og spilbaseret undervisning, *Kvant* nr. 2, 2012.
- [7] Jacob F. Sherson, Christof Weitenberg, Manuel Endres, Marc Cheneau, Immanuel Bloch, & Stefan Kuhr. Single-atom-resolved fluorescence imaging of an atomic Mott insulator. *Nature* **467**, 68-72 (2010).
- [8] Christof Weitenberg, Stefan Kuhr, Klaus Mølmer, & Jacob F. Sherson. Quantum computation architecture using optical tweezers. *Phys. Rev. A* **84**, 032322 (2011).
- [9] Rikke Magnussen, Sidse Damgaard Hansen, Tilo Planke, & Jacob Friis Sherson. Games as a Platform for Student Participation in Authentic Scientific Research. *EJEL* **12**, 258-269 (2014).



Jacob Friis Sherson er lektor ved Institut for Fysik og Astronomi (IFA), Aarhus Universitet, og er leder af det tværfaglige AU Ideas Center for Community Driven Research (CODER). Han har gennem både eksperimentelt og teoretisk arbejde med kolde atomare gasser bidraget til udviklingen mod en stor-skala kvantecomputer.



Jens Jakob W.H. Sørensen er ph.d.-studerende i fysik og arbejder med udvikling af de computeralgoritmer som bruges til løsning af banerne i Quantum Moves. Han interesserer sig også for fysikken bag atomerne i lyskrystallen.



Mads Kock Pedersen er kandidatstuderende i fysik og har i sit speciale arbejdet med at analysere spillernes data fra Quantum Moves. Han er fagligt ansvarlig for udviklingen af den nye læringsplatform studentResearcher.org.

DFS- og Kif-årsmøder og KIF-prisen

Dansk Fysisk Selskabs årsmøde åbner Lysets Internationale År 2015

Det forskudte årsmøde fra 2014 finder sted den 22.-23. januar 2015 på DTU i Lyngby med DTU Fotonik som vært og vil markere åbningen af Lysets Internationale År i Danmark. Af samme grund vil der på mødet blive lagt vægt på lys og elektromagnetisk strålings betydning indenfor alle grene af fysik.

Der er allerede planlagt foredrag af Sune Svanberg (Lund Universitet), én af pionererne i europæisk laserfysik, "How the laser shed light on the world – the ongoing revolution?" og af Chris Barty (teknisk direktør i NIF, Lawrence Livermore National Laboratory) om verdens største lasereksperiment, National Ignition Facility, der skal bringe laserfusion et stort skridt fremad.

Det endelige program med mange flere internationalt kendte foredragsholdere samt mulighed for tilmelding vil foreligge indenfor de næste måneder. Følg med på Dansk Fysisk Selskabs hjemmeside: www.dfs.nbi.dk.

Kif Årsmøde den 13. november

Netværk for Kvinder i fysik (Kif) holder årsmøde den 13. november 2014 på Rockefeller Komplekset på Juliane Maries Vej 30, 2100 København Ø. Der vil være foredrag med bl.a. Svend Aage Madsen, chefpsykolog, Rigshospitalet, samt postersession med korte spotlightpræsentationer. Klokken 14.00-15.00 bliver der afholdt generalforsamling for Kifs medlemmer. Dagen afrundes med en selvbetalt middag, som plejer at være særdeles hyggelig og givende. Både Kifs årsmøde og generalforsamling er åbne for alle interesserede, mens kun medlemmer er stemmeberettigede til generalforsamlingen.

Der er i år flere af vores bestyrelsesmedlemmer, som trækker sig, og der er derfor mulighed for en plads i bestyrelsen. Vi vil på det stærkeste opfordre til, at man overvejer dette ☺

Registrering til Kifs årsmøde foregår via Kifs hjemmeside www.kif.nbi.dk. Sørg for at tage kollegaer og studerende eller medstuderende med!

Netværk for Kvinder i Fysiks hæderspris – KIF-prisen 2014

Formål. KIF-prisen er en hæderspris, der uddeles årligt for at skabe opmærksomhed omkring kvinders betydning for fysik. Prisen skal være med til at synliggøre kvindelige fysikere som rollemønstre såvel på universiteter og gymnasier som i samfund og erhvervsliv.

I anledning af det internationale Lysets År 2015 uddeles 2014-prisen ved DFS' årsmøde til tre kandidater som hver modtager et diplom og 5.000 kr.

Hvem kan indstilles?

Kandidaterne skal beskæftige sig med et fysikrelateret fag, og skal have gjort sig bemærket indenfor ét eller flere af følgende områder:

- En yngre kvinde (før lektorniveau), som viser særligt potentiale eller har gjort noget bemærkelsesværdigt indenfor forskning i fysik
- En kvinde, som udviser et ekstraordinært engagement og en særlig tæft som fysiklærer
- En kvinde eller mand, som har gjort noget særligt for at synliggøre kvinder eller fremme kvinders muligheder indenfor fysik ved fx mentorskab eller en politisk indsats.

Indstillingsprocedure

Kandidater til prisen kan indstilles af en overordnet, vejleder, kollega, medstuderende, studerende underordnet eller kandidaten selv. Indstillingerne skal indsendes til KIFprisen@ruc.dk og skal være modtaget senest kl. 12, fredag den 21. november 2014. Indstillingen skal indeholde følgende bilag: Begrundelse for indstillingen (max 2 sider), Kandidatens CV inkl. navn og kontaktførmation (max 1 side) samt evt. publikationsliste.

Udvælgelse

Alle kandidater vil blive bedømt af en ekstern komité bestående af lektor Kristine Niss, RUC, professor Nils O. Andersen, KU, og lektor Kari Tanderup, AU.

Oplysninger vedrørende prisen

Eventuelle spørgsmål kan stilles til KIFprisen@ruc.dk. De besvares af et medlem af KIFs bestyrelse. Prismodtagerne vil blive orienteret skriftligt (pr. email) og deres navne offentliggøres på Dansk Fysisk Selskabs årsmøde den 23. januar 2015 på DTU, hvor prisoverrækkelsen vil ske. Prisvinderne vil blive inviterede til at holde et foredrag ved årsmødet.