

KVANT

Maj
2013

2

Tidsskrift for Fysik og Astronomi · 24. årgang

- NEWTONS VERDEN
- HOROLOGION I ATHEN
- DANMARK 50 ÅR I RUMMET
- HVORFOR GULD ER DET ÆDLESTE METAL
- KOSMOLOGISKE NEUTRINOER
- SATURN PÅ SOMMERHIMLEN
- SOLPLETTER I 2012
- 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](https://www.facebook.com/KVANT.fysiktidsskrift)
ISSN (trykt) : 0905-8893
ISSN (web) : 2245-4942

Udgives af

Astronomisk Selskab,
Dansk Fysisk Selskab,
Dansk Geofysisk Forening,
Selskabet for Naturlærens 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,
Ørsted Lab, Københavns Universitet
Svend Erik Rugb
Torben Westerberg (korrektur)

Foreningsrepræsentanter

Torben Lund Skovhus (SNU),
Teknologisk Institut

Abonnementspris : 180 kr/år.

Kvant udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber.
Henvendelser vedr. abonnement til forretningsfører Lene Körner tlf. 35 32 07 62 (koerner@kvant.dk).

Annoncepriser

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, tlf. 22 67 26 42.

Tryk

HCB Tryk ApS, Brønderslev.
Oplag: 2200.

Produktionsplan

Nr. 3-13 udkommer ca. 15. september
Nr. 4-13 udkommer ca. 15. december
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages to måneder før.

Indhold:

Danmark 50 år i rummet – set fra en astrofysikers synspunkt <i>Niels Lund</i>	3
Er der nogen der kunne tænke sig en halv neutrino? <i>Signe Riemer-Sørensen</i>	9
Hvorfor guld er det ædleste metal – et studie med tæthedsfunktionalteori <i>Lasse B. Vilhelmsen og Anton M.H. Rasmussen</i>	12
Solen i 2012 <i>Sven Ove Thimm</i>	16
Foreningsnyt – foredrag i efteråret	19
KVANT-nyheder <i>Sven Munk</i>	20
Horologion i Athen <i>John Rosendal Nielsen</i>	21
Aktuelle bøger <i>Anja Skaar Jacobsen og Michael Cramer Andersen</i>	27
Newtons verden <i>Carl Henrik Koch</i>	30
Rekyl – breddeopgave 54 med didaktisk kommentar <i>Jens Højgaard Jensen</i>	33
Saturn på sommerhimlen <i>Michael Quaade</i>	35
Planck måler kosmisk mikrobølgebaggrundsstråling <i>Sven Munk og Michael Cramer Andersen</i>	Bagsiden

Billedet på forsiden viser kometen med det mundrette navn Panstarrs C/2011 L4, der har været en smuk – men subtil – oplevelse på himlen i foråret 2013. Kometen har rejst i millioner af år fra Oort-skyen som strækker sig ud i det interstellare rum og dette er første gang den besøgte Solsystemet. I Maj måned falmer kometen hastigt på sin vej ud af Solsystemet for ikke at vende tilbage igen før om ca. 100.000 år. På nippet til de lyse nætter hvor yderligere observationer ikke længere er mulige passerede kometen – som set fra Jorden – tæt forbi en svag interstellar gaståge ved navn Ced214. Dette kunne kun opleves på én eneste aften, nemlig den 30. april. Heldigvis havde vi flot vejr med en klar himmel og svag vind.



Billedet er lavet med en 100mm linsekikkert fra en baghave i København. Retningerne er: Vest nedad og syd til venstre. Gastågen er fremhævet ved hjælp af ekstra eksponeringer gennem særlige filtre der kun tillader rødt lys fra hydrogen- og svovlatomer at passere. Panstarrs kometens kerne har en diameter på kun ca. 1 km og halen er lavet af støvpartikler med samme størrelse som i røg. Til vinter vil vores himmel blive prydet af en meget større komet, C/2012 S1 ISON. Foto: Mikael Svalgaard, www.leif.org/mikael.

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 Fysik og DTU Nanotech.

Danmark 50 år i rummet

– set fra en astrofysikers perspektiv

Af Niels Lund, DTU Space

Dansk rumforskning startede med et raketskud fra Nordnorge i sommeren 1962. Den første opsendelse blev hurtigt fulgt af andre, og i 1968 kom så Danmarks første danske satellitinstrument i bane om Jorden. Samtidigt udvidedes forskningsfeltet fra Jordens atmosfære til at omfatte hele Universet. I dag indgår også geofysik, jordobservation og rumteknologi med betydelig vægt i forskningsprogrammet for DTU Space.

Den 18. august 1962 gik Danmark ind i rumalderen med et dansk/norsk raketskud fra Andenes i Nordnorge, se figur 1. Formålet med eksperimentet var at studere forholdene i den øvre atmosfære (ionosfæren). Ionosfæres tilstand var af stor praktisk betydning dengang, fordi al radiokontakt mellem Danmark og Grønland foregik via radio ved bølgelængder, som var stærkt påvirkede af forholdene i ionosfæren.

Den videnskabeligt og organisatorisk drivende kraft i Danmark var professor Jørgen Rybner (1902-1973), leder af Ionosfærelaboratoriet på Danmarks Tekniske Højskole, se figur 2. Det dansk-norske raketprogram som blev indledt i 1962 var meget aktivt med 12 opsendelser i de første fire år.



Figur 1. Den første dansk-norske sonderaket affyres fra Andenes i august 1962.

Afgørende for Ionosfærelaboratoriets tekniske succes med ruminstrumentering var civilingeniør Ove E. Petersen, der havde erfaringer fra rumvirksomheder i USA. Allerede til den første raket havde man på Ionosfærelaboratoriet udviklet et effektivt instrument, der både kunne måle tætheden af fri elektroner omkring raketten og samtidig præcist kunne bestemme afstanden til raketten. Dette "Slant Range"-instrument blev i mange år en stor "eksportartikel" for Ionosfærelaboratoriet - det danske udstyr blev nærmest et fast element på videnskabelige raketlaster bygget i Europa i disse år. Indtægterne fra salget af Slant Range-instrumenterne udnyttede Ove Petersen til at opbygge en slagkraftig teknisk afdeling ved Ionosfærelaboratoriet.



Figur 2. Jørgen Rybner (th) med den norske projektleder Odd Dahl, Andenes, 1962.

De små sonderaketter accellererer meget voldsomt ved afskydningen. Der blev derfor stillet meget store krav til raketinstrumenterne. Pladsen var meget begrænset, så et kompakt design var nødvendigt. Det var før de integrerede kredses tid, så kredsløbene var sammensat af diskrete komponenter: transistorer, spoler, kondensatorer og modstande. I begyndelsen blev kredsløbene loddet sammen, men senere gik man over til svejsning, som krævede stor omhu i fremstillingen, men sparede plads og vægt, se figur 3.

Også hvad angår mekaniske konstruktioner opbyggede man på Ionosfærelaboratoriet ingeniørmæssig ekspertise og et veludstyret og professionelt værksted. "Værkstedet er Instituttets mest velordnede lokale, det kan jeg lide!", som den verdenskendte russiske forsker

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](https://www.facebook.com/KVANT.fysiktidsskrift)
ISSN (trykt) : 0905-8893
ISSN (web) : 2245-4942

Udgives af

Astronomisk Selskab,
Dansk Fysisk Selskab,
Dansk Geofysisk Forening,
Selskabet for Naturlærens 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,
Ørsted Lab, Københavns Universitet
Svend Erik Rugh
Torben Westerberg (korrektur)

Foreningsrepræsentanter

Torben Lund Skovhus (SNU),
Teknologisk Institut

Abonnementspris : 180 kr/år.

Kvant udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber.
Henvendelser vedr. abonnement til forretningsfører Lene Körner tlf. 35 32 07 62 (koerner@kvant.dk).

Annoncepriser

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, tlf. 22 67 26 42.

Tryk

HCB Tryk ApS, Brønderslev.
Oplag: 2200.

Produktionsplan

Nr. 3-13 udkommer ca. 15. september
Nr. 4-13 udkommer ca. 15. december
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages to måneder før.

Indhold:

Danmark 50 år i rummet – set fra en astrofysikers synspunkt <i>Niels Lund</i>	3
Er der nogen der kunne tænke sig en halv neutrino? <i>Signe Riemer-Sørensen</i>	9
Hvorfor guld er det ædleste metal – et studie med tæthedsfunktionalteori <i>Lasse B. Vilhelmsen og Anton M.H. Rasmussen</i>	12
Solen i 2012 <i>Sven Ove Thimm</i>	16
Foreningsnyt – foredrag i efteråret	19
KVANT-nyheder <i>Sven Munk</i>	20
Horologion i Athen <i>John Rosendal Nielsen</i>	21
Aktuelle bøger <i>Anja Skaar Jacobsen og Michael Cramer Andersen</i>	27
Newtons verden <i>Carl Henrik Koch</i>	30
Rekyl – breddeopgave 54 med didaktisk kommentar <i>Jens Højgaard Jensen</i>	33
Saturn på sommerhimlen <i>Michael Quaade</i>	35
Planck måler kosmisk mikrobølgebaggrundsstråling <i>Sven Munk og Michael Cramer Andersen</i>	Bagsiden

Billedet på forsiden viser kometen med det mundrette navn Panstarrs C/2011 L4, der har været en smuk – men subtil – oplevelse på himlen i foråret 2013. Kometen har rejst i millioner af år fra Oort-skyen som strækker sig ud i det interstellare rum og dette er første gang den besøger Solsystemet. I Maj måned falmer kometen hastigt på sin vej ud af Solsystemet for ikke at vende tilbage igen før om ca. 100.000 år. På nippet til de lyse nætter hvor yderligere observationer ikke længere er mulige passerede kometen – som set fra Jorden – tæt forbi en svag interstellar gaståge ved navn Ced214. Dette kunne kun opleves på én eneste aften, nemlig den 30. april. Heldigvis havde vi flot vejr med en klar himmel og svag vind.

Billedet er lavet med en 100mm linsekikkert fra en baghave i København. Retningerne er: Vest nedad og syd til venstre. Gastågen er fremhævet ved hjælp af ekstra eksponeringer gennem særlige filtre der kun tillader rødt lys fra hydrogen- og svovlatomer at passere. Panstarrs kometens kerne har en diameter på kun ca. 1 km og halen er lavet af støvpartikler med samme størrelse som i røg. Til vinter vil vores himmel blive prydet af en meget større komet, C/2012 S1 ISON. Foto: Mikael Svalgaard, www.leif.org/mikael.



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 Fysik og DTU Nanotech.

Danmark 50 år i rummet

– set fra en astrofysikers perspektiv

Af Niels Lund, DTU Space

Dansk rumforskning startede med et raketskud fra Nordnorge i sommeren 1962. Den første opsendelse blev hurtigt fulgt af andre, og i 1968 kom så Danmarks første danske satellitinstrument i bane om Jorden. Samtidigt udvidedes forskningsfeltet fra Jordens atmosfære til at omfatte hele Universet. I dag indgår også geofysik, jordobservation og rumteknologi med betydelig vægt i forskningsprogrammet for DTU Space.

Den 18. august 1962 gik Danmark ind i rumalderen med et dansk/norsk raketskud fra Andenes i Nordnorge, se figur 1. Formålet med eksperimentet var at studere forholdene i den øvre atmosfære (ionosfæren). Ionosfæres tilstand var af stor praktisk betydning dengang, fordi al radiokontakt mellem Danmark og Grønland foregik via radio ved bølgelængder, som var stærkt påvirkede af forholdene i ionosfæren.

Den videnskabeligt og organisatorisk drivende kraft i Danmark var professor Jørgen Rybner (1902-1973), leder af Ionosfærelaboratoriet på Danmarks Tekniske Højskole, se figur 2. Det dansk-norske raketprogram som blev indledt i 1962 var meget aktivt med 12 opsendelser i de første fire år.



Figur 1. Den første dansk-norske sonderaket affyres fra Andenes i august 1962.

Afgørende for Ionosfærelaboratoriets tekniske succes med ruminstrumentering var civilingeniør Ove E. Petersen, der havde erfaringer fra rumvirksomheder i USA. Allerede til den første raket havde man på Ionosfærelaboratoriet udviklet et effektivt instrument, der både kunne måle tætheden af fri elektroner omkring raketten og samtidig præcist kunne bestemme afstanden til raketten. Dette "Slant Range"-instrument blev i mange år en stor "eksportartikel" for Ionosfærelaboratoriet - det danske udstyr blev nærmest et fast element på videnskabelige raketlaster bygget i Europa i disse år. Indtægterne fra salget af Slant Range-instrumenterne udnyttede Ove Petersen til at opbygge en slagkraftig teknisk afdeling ved Ionosfærelaboratoriet.



Figur 2. Jørgen Rybner (th) med den norske projektleder Odd Dahl, Andenes, 1962.

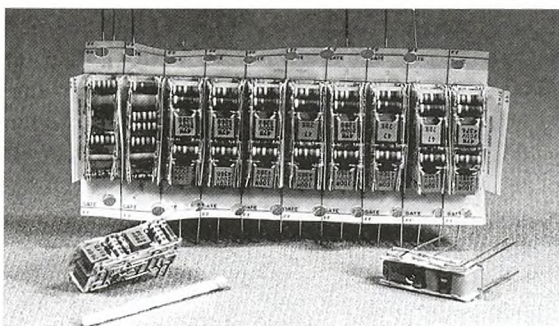
De små sonderaketter accellererer meget voldsomt ved afskydningen. Der blev derfor stillet meget store krav til raketinstrumenterne. Pladsen var meget begrænset, så et kompakt design var nødvendigt. Det var før de integrerede kredses tid, så kredsløbene var sammensat af diskrete komponenter: transistorer, spoler, kondensatorer og modstande. I begyndelsen blev kredsløbene loddet sammen, men senere gik man over til svejsning, som krævede stor omhu i fremstillingen, men sparede plads og vægt, se figur 3.

Også hvad angår mekaniske konstruktioner opbyggede man på Ionosfærelaboratoriet ingeniørmæssig ekspertise og et veludstyret og professionelt værksted. "Værkstedet er Instituttets mest velordnede lokale, det kan jeg lide!", som den verdenskendte russiske forsker

Peter Kapitza sagde under et senere besøg på Rumforskningsinstituttet.

Ny teknologi som glas- og kulfibermaterialer, honeycombpaneler og limede metalstrukturer vandt indpas i konstruktionerne.

I årene efter 1962 havde Ionosfærelaboratoriet etableret sig som det anerkendte centrum for den danske rumforskning. Men potentialet for videnskabelig forskning fra rummet var langt bredere end Ionosfærelaboratoriet var skabt til at dække. På initiativ af professor Bernard Peters (1910-1993) - dengang ansat ved Niels Bohr Institutet - blev der i 1963 oprettet en forskningsgruppe med fire medarbejdere på laboratoriet - blandt disse forfatteren til denne artikel. Den ny gruppe skulle udvikle instrumenter til studiet af den kosmiske stråling.



Figur 3. Svejste elektronikmoduler til sonderaketter, 1965.

I første omgang udviklede vi et instrument beregnet til flyvning i ballon. Her holdt digitalteknologien for alvor sit indtog på laboratoriet, både selve instrumentet og datatransmissionen blev digitaliseret. Første flyvning kom i 1968.

Efter forslag fra professor Hans Lottrup-Knudsen blev det i 1966 besluttet at udskille rumaktiviteterne på Ionosfærelaboratoriet til et nyoprettet "Dansk Rumforskningsinstitut" (DRI), mens de jordbaserede aktiviteter (i Grønland) forblev på det gamle laboratorium.

Professor Rybner var på det tidspunkt gået af, og Rumkomiteens formand, Haldor Topsøe, opfordrede professor Peters til at lede det nye institut, se figur 4. I 1968 blev DRI formelt udskilt fra Danmarks Tekniske Højskole. Peters ønskede, at det nye institut skulle koncentrere sig helt om grundforskning, og efter kort tid forlod Ove E. Petersen instituttet og tiltrådte en stilling som direktør for Elektronikcentralen.

I oktober 1968 opsendtes ESRO-I (Aurora), der blev den første satellit med danskbyggede instrumenter. Ionosfærelaboratoriet var ansvarlig for elektronikken til tre af satellittens ni eksperimenter – et faktum, som viser den respekt, der stod om laboratoriets tekniske kunnen. Kiruna Geofysiske Observatorium stod for detektordelen af et af eksperimenterne. Formålet med satellitten var at kortlægge partikelstrålingen i polaregionerne. De tre instrumenter målte retnings- og energifordelingen af elektroner og protoner i strålingsbælterne.

Som direktør for Rumforskningsinstituttet lagde Peters stor vægt på at hvert nyt projekt sigtede præcist mod at besvare et vigtigt spørgsmål. "Gå aldrig i gang

med et projekt, som er en fiasko, selv hvis det lykkes", sagde han. Peters havde i 1948 selv været med til at opdage, at kosmisk stråling består af mange forskellige grundstoffer, ikke blot af protoner og elektroner. Han håbede nu gennem nøjagtige målinger af grundstofsammensætningen at kunne løse gåden om strålingens oprindelse. Dette spørgsmål havde plaget forskerne lige siden Victor Hess opdagede strålingen i 1912 (Se box).

I 1969 stod vi på Ionosfærelaboratoriet med nye ideer og ny teknologi, som gav os håb om stærkt forbedrede målinger af strålingens sammensætning. Resultaterne fra vores ballonflyvninger var meget lovende, og en stærk fransk gruppe foreslog, at vi sammen skulle indgive et forslag til et stort instrument på en kommende NASA satellit, High Energy Astronomy Observatory (HEAO). Der kom vi i konkurrence med betydelige amerikanske grupper, men takket være et nyt aspekt vi havde indført i vores dataanalyse, lykkedes det at få det dansk-franske eksperiment udvalgt. Vi havde fundet en metode, som tillod at udlede ikke blot grundstoffordelingen, men også fordelingen af isotoper fra målingerne. Vi havde vist, at vi kunne udnytte Jorden og dens magnetfelt som et massespektrometer, og dermed studere også massefordelingen af partiklerne, se figur 6.



Figur 4. Bernard Peters, 1969.



Figur 5. Opsendelse af kosmisk strålings-instrument fra Texas, 1974.

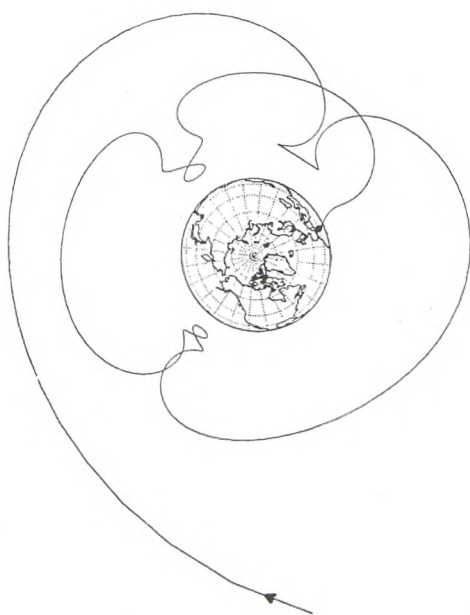


Figur 6. Dansk-fransk kosmisk strålings-instrument monteres i HEAO satellitten, Californien 1978.

Kosmisk Stråling

Kosmisk stråling blev opdaget for hundrede år siden af østrigeren Victor Hess. Det er en meget energirig partikelstråling fra rummet, faktisk den eneste materielle stofprøve fra Verden udenfor Solsystemet, som vi har adgang til at studere direkte.

Den kosmiske stråling består af ca 1 % elektroner og 99 % atomkerner, helt blottet for elektroner. Alle partiklerne er således elektrisk ladede, og deres vej gennem rummet er komplekse spiralbaner styret af rummets magnetfelter. Vi kan derfor ikke direkte 'se' hvor de kommer fra. Strålingens oprindelse er et mysterium. I 1934 blev det foreslået at strålingen kom fra eksploderende stjerner, supernovaer. Det var stadig den almindelige forestilling i 1979. Vores forhåbning til HEAO var, at grundstofsammensætningen i strålingen kunne hjælpe os med at finde de typer af stjerner, hvorfra strålingen kommer.



Figur 7. Beregnede partikelbaner i Jordens magnetfelt, 1980.

I løbet af HEAO-missionen registreredes 20 millioner atomkerner fra lithum til zink. (Instrumentet var ikke følsomt for de letteste grundstoffer, brint og helium). Men overraskende nok lignede blandingen faktisk den blanding vi finder i Solsystemet – Solsystemets grundstoffer er et sammensurium af stoffer fra mange forskellige stjerner. Der var ingen markant overvægt af supernovamateriale her. Naturen er ikke altid samarbejdsvillig!

En af hovedårsagerne til at vi fik vores instrument med på HEAO var, at vi havde opfundet en metode til at analysere isotoperne ved at udnytte Jordens magnetfelt. Partiklerne i den kosmiske stråling slår nogle gevaldige herresving, når de passerer igennem Jordens magnetfelt. Det ser meget kompliceret ud, men vi havde opdaget, at nogle af sløjferne kunne fortælle noget om partiklernes masser – isotopmasserne. Vores metode udnyttede, at en del af de partikler vi observerede på en bestemt geografisk position, havde gennemløbet sløjfer med et karakteristisk dyk ca. 100 længdegrader længere østpå, se figur 7. Vi kunne beregne, at visse partikelenergi ikke kunne nå frem til f.eks. Frankrig, fordi de ramte Jordens atmosfære over Kina. I vores energidata kunne vi påvise dette dyk – og det falder forskellige steder afhængigt af isotopmassen.

Vores data fra HEAO viste, at ikke blot grundstofferne, men også isotopsammensætningen i den kosmiske stråling fulgte mønsteret fra Solsystemet for de fleste grundstoffer. Ilt var næsten ren ilt-16, jern var næsten rent jern-56, osv. Kun neon skilte sig markant ud ved, at en tung neonisotop, neon-22, forekom langt hyppigere i den kosmiske stråling end i Solsystemet.

Fra tidligere undersøgelser var det klart, at den kosmiske stråling forholdsmeæssigt indeholder omtrent 10 gange flere tunge grundstoffer (tungere end brint og helium) end Solsystemet. Det kunne godt passe med en oprindelse fra supernovaer. Men HEAO-resultaterne viser klart, at hverken grundstof- eller isotopsammensætningen i øvrigt passer med supernovahypotesen. Sammenhængen med supernovaer er i hvert fald ikke entydig. Neon-22 overskuddet tyder på en sammenhæng med en speciel stjernetype, Wolf-Rayet stjerner, med meget stærke stjernevinde. Denne konklusion er i dag bekræftet ved nye undersøgelser.

Bygningen af HEAO-elektronik og -detektorer blev afsluttet allerede i 1978, og vi måtte overveje, hvad der skulle følge efter. Det var klart for os, at HEAO ville blive en slutsten i vores studier af kosmisk stråling. Det ville ikke være muligt for et institut af vores størrelse at gå i gang med et mere avanceret (større) projekt i den retning – vi så ikke nogen mulighed for – med et smart trick – at lave et bedre instrument uden væsentligt at forøge størrelsen. HEAO havde holdt os beskæftiget i mere end ti år, vi ønskede nu finde et mindre projekt, stadig af central interesse – men noget vi kunne gennemføre på mindre end ti år.

De "kosmiske gammaglimt" tiltrak sig vores opmærksomhed. Hvad var det? Hvordan kunne vi komme på sporet af kilderne?

Gamma-glimt I

I 1973 offentliggjorde amerikanske forskere en meget fascinerende opdagelse. VELA-spionsatellitterne, der skulle overvåge sovjetiske atombombesprængninger havde ikke set glimt af gammastråling fra Jorden – men mange glimt fra Verdensrummet!

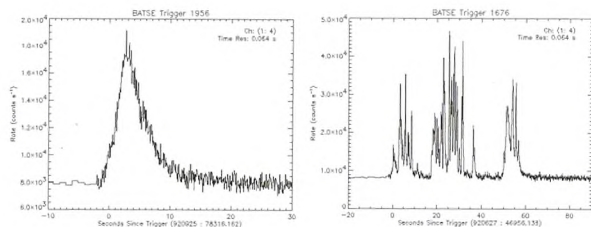
Disse begivenheder kaldtes Kosmiske Gamma Glimt (Cosmic Gamma Ray Bursts, GRB). De enkelte VELA-instrumenter var ikke retningsfølsomme, men ved at sammenholde data fra flere VELA-satellitter kunne retningen bestemmes groft – med en usikkerhed på omkring 10 grader.

VELA kunne fastslå, at glimtene ikke kom fra Jorden eller Solen – eller fra Mælkevejens plan! Opdagelsen startede en jagt, der skulle vare 30 år, for at finde oprindelsen til disse glimt.

Kosmiske gammaglimt er korte, meget intense glimt af røntgen- og gamma-stråling. Varigheden er fra få millisekunder til minutter. Under udbruddet overstråler kilden alle andre kilder til gammastråling på himlen – inklusive Solen!

Alene intensiteten adskiller dem således fra alle andre kendte kilder til gammastråling. Tidsforløbene for de enkelte glimt er ganske uforudsigeligt; de varierer fra jævnt stigende og faldende forløb til en tilsyneladende tilfældigt glitren, se figur 8.

Glimtenes lysstyrke antydede, at kilderne ikke kunne være langt borte. Men allerede de første, grove VELA-data udelukkede Solen og planeterne og positionerne viste heller ikke nogen væsentlig koncentration mod Galaksens plan. Figur 11. Dette sidste var virkelig mærkeligt – andre stærke røntgen- og gammakilder var alle koncentreret mod Galaksens plan.



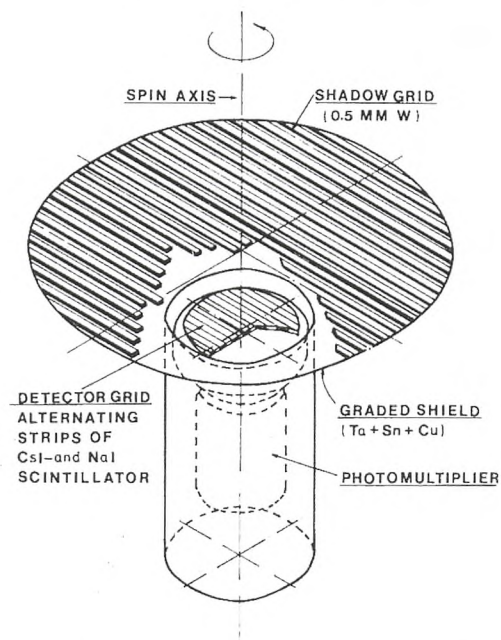
Figur 8. Tidsforløbene af de kosmiske gamma-glimt er yderst forskellige

Det var et grundlæggende problem for forståelsen af gamma-glimt, at de tidlige instrumenter ikke kunne sige noget om retningen af de ankommende fotoner. Tidsforløbet og spektret kunne studeres i detalje, retningen var kun dårligt bestemt. De bedste retningsbestemmelser fik man ved måling af tidsforsinkelsen mellem detektion af glimt på flere rumsonder forskellige steder i Solsystemet. Det var en metode, som indebar lange ventetider, og der var mange muligheder for fejl i retningsbestemmelserne. Teoretikerne havde gyldne dage – hurtigt havde vi flere teorier, end vi havde observerede glimt!

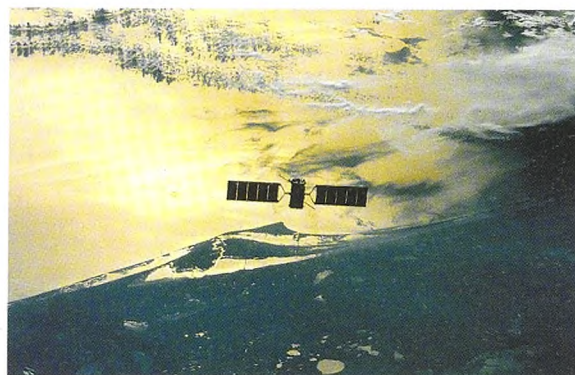
I 1977 begyndte vi på Rumforskningsinstituttet at lege med tanken om et instrument, der i sig selv kunne bestemme retningen til gammaglimt-kilden. Vi var inspireret af et japansk balloninstrument, der byggede på

en kendt ide til positionsbestemmelse af røntgenkilder. Det japanske instrument benyttede roterende dobbeltgittere til at tidsmodulere røntgensignalet. Men fordi gamma-glimt selv udviser hurtige tidsvariationer brugte japanerne tre detektorer: to med dobbeltgitter og én uden gitter, den sidste benyttedes som reference for de to andre.

Vi indså, at vi kunne modificere konstruktionen, så vi med blot én detektor kunne opnå det samme som japanerne – og oven i købet vinde i følsomhed, fordi vi kun brugte ét skyggegitter, mens den klassiske konstruktion brugte et dobbeltgitter.



Figur 9. WATCH instrumentet i snit. Øverst skyggegitteret, derunder den stribe scintillatormosaik. Nederst fotorøret, der registrerer lysglimtene fra scintillatoren. Ballonversion af WATCH, 1979.



Figur 10. EURECA satellitten over Kennedy Spacecenter i Florida, 1992. Billedet er taget fra rumfærgen Atlantis kort efter at EURECA var blevet frigivet.

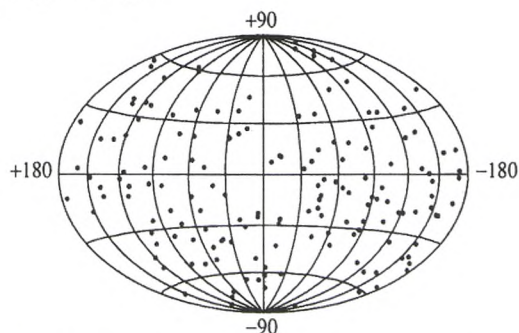
Vi demonstrerede vores "WATCH"-instrument ved ballonflyvninger fra Spitzbergen i 1979 og 1980. På den baggrund lykkedes det os i 1982 at sikre os plads på en planlagt ESA satellit, EURECA. EURECA var et projekt til studiet af krystaller og planter opførsel under vægtløse forhold. Så planen var, at EURECA

skulle sendes op med en rumfærge i 1987 og hentes ned ved en ny rumfærgeflyvning efter 6 måneder i rummet.

Vi var godt i gang med at bygge vores WATCH instrument til EURECA, da Challenger rumfærgen eksploderede. Alle rumfærgeflyvninger blev indstillet, og ingen vidste om EURECA nogen sinde ville blive sendt op. Men i sommeren 1986 dukkede et spændende alternativ op. Et fransk-russisk satellitprojekt, "Granat", kom i bekneb for en "all-sky monitor", et instrument der kunne overskue hele himlen, og som kunne hjælpe hovedinstrumenterne til hurtigt at observere nye røntgenkilder. Det var lige, hvad vi kunne med WATCH, og vi blev tilbudt plads til fire WATCH enheder på Granat-satellitten.

WATCH var det første instrument fra DRI med en mikroprocessor (8086) og omfattende on-board software. Specielt Granat-missionen var en udfordring, fordi vi kom med 'på afbud', og de andre instrumenter allerede havde udfyldt al datapladsen på satellittens taperecorder. Granat gik i en meget excentrisk bane og havde kun jordkontakt hver fjerde dag. Vi skulle derfor gemme fire døgn's data i instrumenterne, der hver havde en RAM-hukommelse på 512 kbyte – inklusive plads til software naturligvis. Det betød en gennemsnitlig datarate på 37 bits/s!

En ny mekanisk udfordring var det roterende skyggitter. Det skulle holdes jævnt roterende (60 RPM) under hele missionen. Bevægelige dele i rummet havde ofte givet problemer på tidligere flyvninger – lejerne havde en uvane med at sætte sig fast efter lang tid i rummets vakuum. Men her fik vi god hjælp fra ESAs teknologiafdeliger.



Figur 11. Gamma-glimt fordeles sig jævnt henover hele himlen. Her vist som observeret med Konus instrumenterne på de russiske Venera-11 til -14 sonder, 1979-83.

Granat blev sendt op med en Proton-raket i december 1989. Efter lange overvejelser besluttede NASA sig for at overholde aftalen med ESA, og EURECA blev opsendt med rumfærgen Atlantis i juli 1992 og atter hentet tilbage til Jorden i juni 1993. Og WATCH virkede! Vi så gammaglimt, og vi fik gode positioner. Men vi fandt aldrig nogen optiske eller radio kilder. Åbenbart var selv WATCH positionerne ikke gode nok?

Vi fik dog mange andre gode resultater. Vi opdagede nye røntgenkilder, som de store instrumenter på Granat kunne studere i detalje, og vi fandt en meget usædvanlig sort-hul kilde i vores egen Mælkevej, som lige siden opdagelsen har underholdt astronomerne med en utrættelig blafren og blinken.

Gamma-glimt II

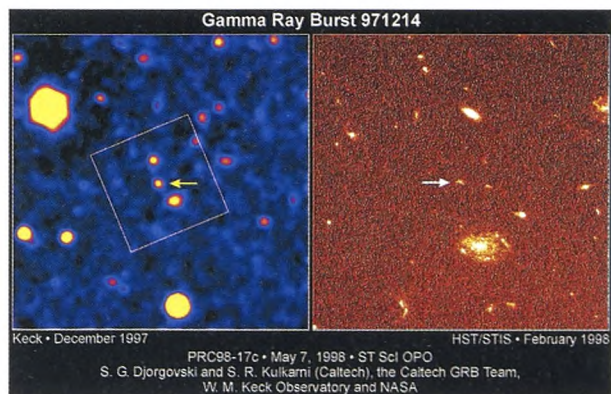
Dansk Rumforskningsinstitut var naturligvis ikke ene om at ville løse gammaglimtenes gåde.

En russisk gruppe fra Joffe-Institutet i Leningrad havde allerede i 1978 vigtige resultater fra et nyt instrument, KONUS, på to Venus-sonder. Deres instrument var mere følsomt end tidligere instrumenter, og de kunne bestemme retninger om bord med nogle graders usikkerhed. Men sådan "straks-positioner", selv om de var grove, var alligevel et stort fremskridt. Desuden havde russerne to uafhængige instrumenter, så de kunne kontrollere deres systematiske fejl.

Men KONUS bekræftede, hvad allerede VELA havde antydnet: kilderne er spredt jævnt over himlen! Og der var stadig ikke nogen usædvanlige optiske eller radio-kilder der sprang i øjnene på de positioner KONUS angav.

Forvirringen øgedes, da et superstærkt gammaglimt kom fra Mælkevejens nærmeste nabo, den Store Magellanske Sky – og denne gang var der bid: på positionen fandt man resterne af en gammel supernova – men hvor var logikken i, at det stærkeste glimt kom fra en kilde langt uden for vores Mælkevej? Og KONUS viste også, at den nye kilder glimtede flere gange – det var aldrig før set med andre gammaglimt???

Også i USA var man ivrig efter at finde gammaglimtenes oprindelse. Nogle år efter Granat opsendte NASA satellitten "Gamma Ray Observatory" med "BATSE" eksperimentet om bord. BATSE udnyttede den samme teknik som russerne havde brugt i Konus, en simpel teknik, som gav hurtige positioner, men med betydelig usikkerhed. Men i forhold til alle tidligere instrumenter var BATSE kæmpestort og kom derfor til at sætte en standard for gamma-glimt forskningen i mange år. Men heller ikke BATSE evnede at løse gamma-glimt gåden.



Figur 12. Det er "eftergløden" fra et gamma-glimt, der afslører den meget fjerne og lyssvage værtsgalakse. På grund af de mange forgrundsgalakser kræver det en meget nøjagtig positionsbestemmelse af det oprindelige gammaglimt at opspore værtsgalaksen. Her kan eftergløden i røntgenområdet ofte være en stor hjælp, da den normalt står langt tydeligere frem på røntgenhimen. Keck teleskopets synsfelt (til venstre) er kun ca 1 % af arealet af en typisk WATCH error box, og Hubble synsfeltet (til højre) er mindre end 0,1 %.

Gamma-glimt III

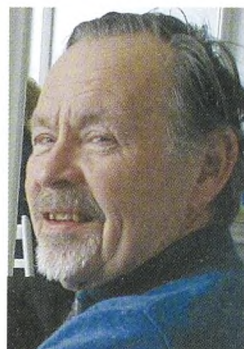
Endelig, efter 30 års jagt lykkedes det i 1997 for den Italiensk-Hollandske SAX-satellit at knække gåden om gammaglimtenes oprindelse. SAX satellitten benyttede et nyere og nøjagtigere røntgenkamera end WATCH, og endnu vigtigere, SAX-operatørene kunne dreje satellitten og efter få timer observere den omtrentlige glimtposition med en egentlig røntgenkikkert. For første gang observeredes det, vi nu kalder gammaglimtets "efterglød". Dermed kunne der angives en præcis position, og endelig kunne de optiske astronomer fra Jorden se ganske svage optiske glimt og dermed påvise, at glimtene kommer fra meget fjerne galakser, se figur 12.

Det forklarer hvorfor glimtene er jævnt spredt over himlen, men det var i begyndelsen svært for flertallet af astronomerne at acceptere, fordi det forudsatte en ny og ukendt mekanisme til at kanalisere en stor del af eksplosionsenergien fra en supernovae eksplosion ind i en fokuseret stråle – rettet netop mod os! Gamma-glimt forskningen er bestemt endnu ikke ved vejs ende!

I dag hedder Dansk Rumforskningsinstitut "DTU Space" og er gennem en fusion med to institutter, "Måling og Instrumentering" og "Mikrobølger og Telemåling" ved Danmarks Tekniske Universitet vendt

tilbage til udgangspunktet lige ved siden af det gamle Ionosfærelaboratorium. "Måling og Instrumentering" er anerkendt Verden over for sine stjerne-kameraer, og "Mikrobølger og Telemåling" for sine studier af havis og iskapper ved hjælp af radartechnologi.

Siden starten i 1962 har instituttet bidraget til 17 satellitprojekter; hertil kommer de ca. 50 missioner hvortil "Måling og Instrumentering" har leveret stjerne-kameraer. Forskningsfeltet er i dag meget bredt, og spænder fra studiet af Jorden og dens omgivelser, over Solsystemet og vores Mælkevej til Universets fjerneste egne og tidligste stadier. Rumforskning er ikke længere et lille, specielt hjørne i forskningslandskabet, men en integreret del af den moderne videnskab.



Niels Lund er emeritus lektor på DTU Space. Han har siden 1962 arbejdet med instrumenter til rumforsøg. Har især interesseret sig for oprindelsen af den kosmiske stråling og af de kosmiske gamma-glimt.

Danske bidrag til satellitprojekter 1968-2012

Nr.	Satellit	Hovedansv.	DK bidrag	Forskningsområde	Levetid
1	ESRO-I	ESRO	3×partikelexp.	Magnetosfærefysik	1968-1970
2	HEOS A2	ESRO	VLF-bølgeexp.	Magnetosfærefysik	1972-1974
3	GEOS 1-2	ESA	Partikelexp. VLF-bølgeexp.	Magnetosfærefysik	1977-1980
4	HEAO 3	NASA	Isotopexp.	Kosmisk Stråling	1979-1980
5	Giotto	ESA	Partikelanalyse	Halleys Komet	1985-1986
6	Viking	Sverige	Bølgeexp.	Magnetosfærefysik	1986-1987
7	Hipparcos	ESA	Analyseprogr.	Astrometri	1989-1993
8	Granat	Sovjet	4×WATCH	Gammaastronomi	1989-1994
9	EURECA	ESA	1×WATCH	Gammaastronomi	1992-1993
10	ISO	ESA	Jordudstyr	Infrarødastronomi	1995-1998
11	Ørsted	Danmark	Stjernekompass Magnetometer Partikelexp.	Geofysik	1999-...
12	SAC-C	Argentina	Stjernekompass Magnetometer	Geofysik	2000-2005
13	Cluster	ESA	Partikelexp.	Magnetosfærefysik	2000-...
14	INTEGRAL	ESA	Røntgenkamera	Gammaastronomi	2002-...
15	Planck	ESA	Spejlsystem	Mikrobølgeastronomi	2008-...
16	NUSTAR	NASA	Røntgenkikkert	Gammaastronomi	2012-...
<i>På bedding:</i>					
17	SWARM	ESA	Analyseprog.	Geofysik	2013(?)
18	Rumstation	ESA	ASIM exp.	Atmosfærefysik	2014(?)

Samt ikke at forglemme: DTU stjerne-kameraer har siden 1999 været med på mere end 50 satellitter!

Tabel 1. Oversigt over væsentlige satellit-projekter (instrumenter), som DTU Space har bidraget til. Listen indeholder langt fra *alle* danske bidrag til rumprojekter – DTU har bidraget meget til ESAs jordobservationsprogram, flyvemedicinsk klinik til fysiologistudier på bemandede missioner, KUs marsgruppe (Jens Martin Knudsen/Morten Bo Madsen m.fl.) til flere NASA Mars missioner, Jørgen Christensen Dalsgårds gruppe i Århus til studiet af solsvingninger baseret på SOHO data osv osv.

Er der nogen der kunne tænke sig en halv neutrino?

Af Signe Riemer Sørensen, University of Queensland

Neutrinoer er de letteste partikler vi kender til, og alligevel står de bag nogle af de største mysterier i moderne fysik: Vi ved ikke hvad de vejer, og vi kan ikke rigtig blive enige om, hvor mange slags der findes.

Neutrinoer

Neutrinoer er de letteste partikler (med masse) vi indtil videre har målt i laboratorieeksperimenter. Hvis du holder din hånd op mod Solen, vil ca. én milliard neutrinoer passere uhindret igennem den, i løbet af et enkelt sekund. De er altså ikke spor sjældne, men alligevel ved vi ikke ret meget om dem. De kaldes ofte spøgelsespartikler, da de for det meste passerer uforstyrret igennem selv de tætteste materialer. Det skyldes deres meget lille masse og meget svage vekselvirkning og det gør det ekstremt udfordrende at måle dem eksperimentelt.

De fleste af de neutrinoer der findes i dag, blev dannet helt tilbage under Big Bang. Andre neutrinoer dannes hele tiden fx ved kernereaktioner i Solens indre, atomkraftværker, partikelacceleratorer, almindelige atmosfæriske fænomener, under stjernedannelse, fra stjerne-sammenstød og døende stjerner, især supernova-ekspllosioner.

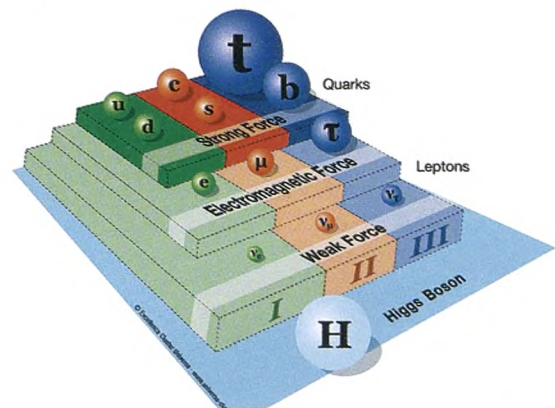


Figur 1. Hvis du holder din hånd op mod Solen vil ca. én milliard neutrinoer passere uhindret igennem den i løbet af et enkelt sekund (www.thegreenergrass.org).

Partikelfysik

Standardmodellen for partikelfysik er den teori, der beskriver alle de fundamentale partikler og kræfter, som binder verden sammen: Naturens små Lego-klodser og hvordan de sidder sammen. Indtil videre har teorien kunnet forklare alle laboratorie-eksperimenterne, og den forudsagde endda Higgsbosonen som i juli 2012 blev annonceret fundet ved Large Hadron Collider (CERN, Schweiz).

I teorien findes der tre forskellige familier af neutrinoer, som hver er knyttet til én af de tre elektron-lignende partikler (ladede leptoner): Elektron-neutrinoen, muon-neutrinoen, og tau-neutrinoen. I Standardmodellen er neutrinoerne helt masseløse lige som fotonerne. Alligevel har man i laboratorieeksperimenter målt en effekt der hedder neutrino-mixing eller neutrino-oscillationer, hvor neutrinoer af én type kan skifte identitet og blive til en anden type. Denne mixing kan kun finde sted hvis de forskellige typer af neutrinoer har forskellige masser. Eksisterende neutrino-oscillations-eksperimenter kan ikke måle hver enkelt neutrino-types masse, men kun forskellene mellem dem. Derfor kender vi ikke neutrinoernes masse, men ved bare, at de skal veje mindre end en 1/250.000 del af en elektron. De målte masseforskelle er 100-1000 gange mindre.



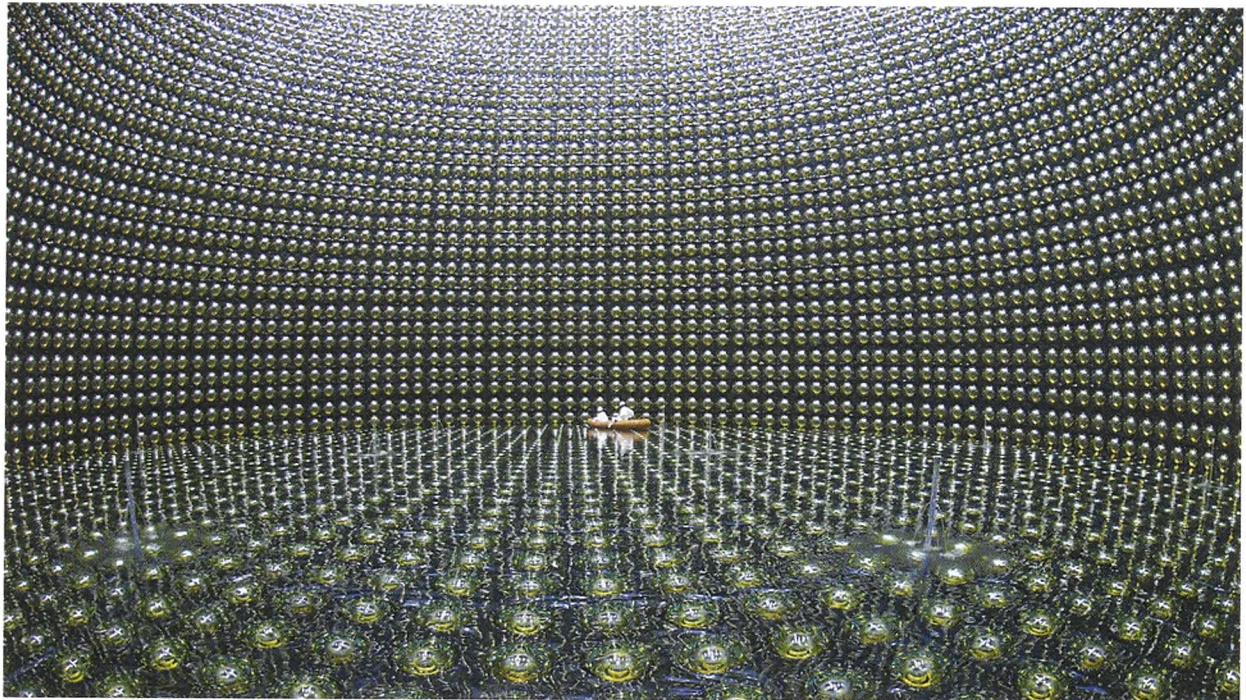
Figur 2. Partiklerne i Standardmodellen. Kvarkerne bliver holdt sammen af gluoner (ikke vist) og danner fx protoner og neutroner. De elektronlignende partikler vekselvirker via den elektromagnetiske kraft, der formidles af fotoner (ikke vist), mens neutrinoerne udelukkende vekselvirker gennem den svage kernekraft som formidles af Z- og W-bosonerne (ikke vist). Higgsbosonen på det nederste niveau blev fundet ved Large Hadron Collider i 2012 (<http://www.universe-cluster.de>).

Masseforskelle

For nylig begyndte de store neutrino-oscillations-eksperimenter, såsom Super-Kamiokande (Japan), Kamioka Liquid Scintillator Antineutrino Detector (Japan), Liquid Scintillator Neutrino Detector (USA) og Mini Booster Neutrino Experiment (USA), at være uenige om de præcise værdier af masseforskellene. Med tre typer af neutrinoer, vil man forvente, at måle to uafhængige masseforskelle. Alt afhængig af hvilke fysiske vekselvirkninger et givent eksperiment er følsomt

overfor, så vil man måle én af de to masseforskelle. I stedet for kun to forskelle, skal man nu bruge tre eller fire forskelle for at kunne forklare alle data på en gang. Omvendt ved vi også fra den nu nedlagte Large Electron Positron collider (CERN), at der kun findes tre

typer af neutrinoer, der kan vekselvirke via den svage kernekraft. Så for at forklare tre eller fire masseforskelle må vi ty til scenarier med 3+1 eller 3+2 neutrino typer, hvor de ekstra neutrinoer ikke vekselvirker svagt – men stadig mixer! De kaldes derfor “sterile”.



Figur 3. Super-Kamiokande eksperimentet i Japan er ét af de steder, hvor man har målt neutrino-oscillationer. Neutrinoer bevæger sig lige så let gennem vand, som vi gør gennem luft, så det er nødvendigt med store underjordiske anlæg, for at måle deres egenskaber. Læg mærke til de to personer i båden, der er ved at pudse en af de 11.146 fotomultiplikator-rør (<http://www.sinet.ad.jp>).

Neutrinoer og Universet

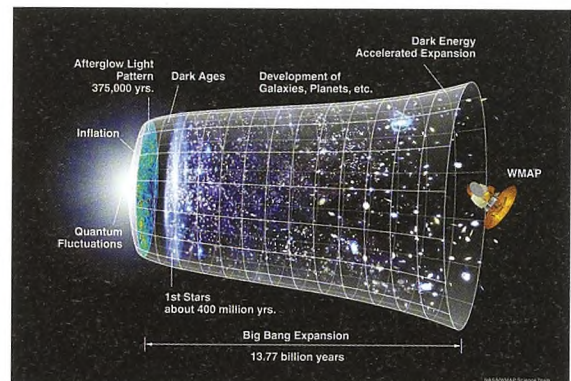
Hovedparten af neutrinoerne i Universet blev dannet kort tid efter Big Bang, og fordi de så sjældent vekselvirker med noget som helst, er de her stadig i dag. Selv om de næsten ingenting vejer, så gør deres enorme antal, at de alligevel bidrager til Universets samlede energiindhold, som er det, der bestemmer, hvor hurtigt Universet udvider sig, på et givent tidspunkt.

Hvis der også fandtes sterile neutrinoer i det tidlige univers, ville de ændre udvidelsen en lille smule, men selv en lille ændring har målbare konsekvenser:

- De første grundstoffer blev dannet i løbet af de første tre minutter efter Big Bang under den periode der kaldes kernesyntesen. En hurtigere udvidelseshastighed under kernesyntesen vil øge dannelsen af helium.
- I de første ca. 380.000 år efter Big Bang var Universet en uigennemsigtig partikelsuppe. Først da Universet blev gennemsigtigt, kunne fotonerne bevæge sig frit i form af den kosmiske mikrobølgebaggrund. Fotonernes bevægelsesmængde udvaskede en del af de oprindelige tæthedsfluktuationer, som senere ville være blevet til galakser. En hurtigere udvidelseshastighed vil lede til færre overlevende tæthedsfluktuationer. Denne effekt kan observeres i fluktuationerne mellem kolde og varme pletter i mikrobølgebaggrunden.

- Tilstedeværelsen af ekstra partikler med hastigheder nær lysets, såsom neutrinoer (både almindelige og sterile), vil også udviske tæthedsfluktuationer direkte, idet deres hastigheder er høje nok til at de kan forlade tyngdepotentialerne fra tæthedsfluktuationerne. Det vil afspejles i fordelingen af galakser vi ser i dag.

Det, at en enkelt partikel kan lede til alle tre nævnte effekter, er dybt fascinerende, og det giver os en unik chance for at krydschecke alle målinger.



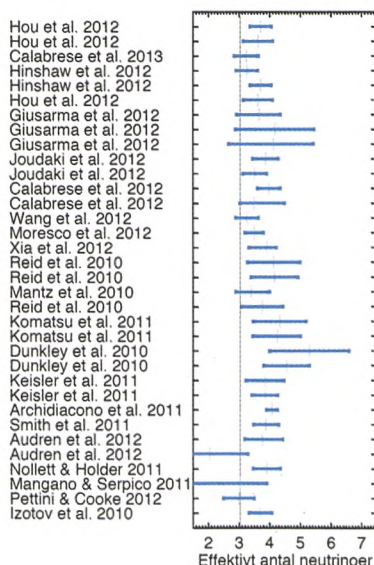
Figur 4. Den kosmiske mikrobølgebaggrund (til venstre) blev udsendt da Universet kun var ca. 380.000 år gammelt, og den observeres i dag bl.a. af satellitterne WMAP (<http://map.gsfc.nasa.gov/media/060915>) og Planck.

Kosmologiske målinger

Allerede i 2009 offentliggjorde teamet bag Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) satellitten en analyse af den kosmiske mikrobølgebaggrundsstråling, hvor mere end tre neutrino typer var statistisk foretrukket. Resultatet var dog også fuldt ud konsistent med tre neutrino typer. WMAP har observeret hele himlen, men ikke med ret god rumlig opløsning. De jordbaserede *South Pole Telescope* og *Atacama Cosmology Telescope* har til gengæld rigtig god rumlig opløsning, men kan så kun observere mindre dele af himlen. Til sammen giver de tre datasæt en god dækning af temperaturfluktuationerne i mikrobølgebaggrunden. Begge de to jordbaserede teleskoper fandt i deres første analyser en ret ekstrem præference for ekstra neutrino typer. Selv om efterfølgende resultater er mindre ekstreme, så er der stadig en svag præference for mere end tre typer.



Figur 5. The South Pole Telescope er et mikrobølgeteleskop som befinder sig ved den amerikanske base på Sydpolen (<http://www.space.com/17173-south-pole-telescope.html>).



Figur 6. Hovedparten af de publicerede kosmologiske målinger af antallet af neutrinoer foretrækker lidt mere end tre effektive neutrino typer (det antal almindelige neutrinoer der skal til, for at foreklare den målte udvidelseshastighed).

Siden de første resultater fra de jordbaserede teleskoper, i september 2011, har der været offentliggjort mere end 30 artikler med diverse kosmologiske målinger af antallet af neutrino typer, og med en klar præference for mere end tre typer. De fleste af artiklerne er dog baseret på de samme målinger af

den kosmiske mikrobølgebaggrund kombineret med forskellige andre datasæt. Der findes kun to helt uafhængige målinger, nemlig dem der er baseret på den kosmiske mikrobølgebaggrundstråling, og dem der er baseret på grundstofkoncentrationerne af fx deuterium og helium, dannet under kernesyntesen. Sidstnævnte målinger er konsistente med tre neutrino typer, men med usikkerheder, der er store nok til, også at inkludere fire typer neutrinoer.

Halve neutrinoer

Det man i virkeligheden måler i den kosmiske mikrobølgebaggrundstråling er ikke antallet af neutrino typer, men udvidelseshastigheden i det tidlige univers. Det udtrykker man så i et enkelt tal som svarer til antallet af almindelige neutrinoer, der er nødvendige, for at forklare den målte udvidelseshastighed. Det behøver ikke være et heltal, da oprindelsen ikke nødvendigvis har noget med neutrinoer at gøre. Det er nu alligevel fristende at tro, at partikelfysikerne og kosmologerne har set de samme ekstra neutrinoer. Desværre er det nok ikke tilfældet, da den masseforskel partikelfysikerne skal bruge for at forklare deres resultater, vil få neutrinoerne til fuldstændigt at udviske alle "galakse-frø" i det tidlige univers. Situationen er dog stadig uklar, da forskellige postulerede fysiske mekanismer kan påvirke vores målinger i begge retninger.

Planck-satellitten har i løbet af de sidste år målt temperaturfluktuationerne i den kosmiske mikrobølgebaggrundstråling med uovertruffen nøjagtighed og følsomhed, hvilket er ideelt til at forbedre målingen af antallet af neutrino typer. Teamet bag Planck afslørede deres resultater i marts 2013 inklusiv en svag præference for mere end tre neutrino typer, men også konsistent med "kun" tre, så spørgsmålet om hvorvidt dét laboratorieeksperimentet måler, er en ekstra neutrino eller en fejl, kan altså på nuværende tidspunkt ikke afgøres endegyldigt fra kosmologiske data. Uanset om oprindelsen af de ekstra neutrinoer er en uforstået systematisk effekt eller reel ny fysik, så vil vi helt sikkert lære noget nyt mens vi undersøger sagen.

Litteratur

- [1] Signe Riemer-Sørensen, David Parkinson, Tamara M. Davis (2013), What is half a neutrino? Reviewing cosmological constraints on neutrinos and dark radiation, *PASA*. <http://arxiv.org/abs/1301.7102>
- [2] *Minute Physics* video på YouTube, "What is a Neutrino?", www.youtube.com/watch?v=IAAmAbJvJg&list=PLED25F943F8D6081C&index=50
- [3] *Build a Universe* (interaktivt CMB-analyseprogram på WMAPs web-side med lærerressourcer), http://map.gsfc.nasa.gov/resources/camb_tool.



Signe Riemer-Sørensen arbejder for University of Queensland i Australien, hvor hun arbejder med bestemmelse af de kosmologiske parametre ud fra kortlægning af galakser.

Hvorfor guld er det ædleste metal

– et studie med tæthedsfunktionalteori

Af Lasse B. Vilhelmsen og Anton M.H. Rasmussen, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

De fleste er klar over, at guld er ædelt, og nogle er måske også klar over at dette skyldes at guldoverflader ikke indgår i kemiske reaktioner med molekyler fra luften. I denne artikel undersøger vi de kvantemekaniske årsager til dette fænomen. Det viser sig, at metallers kvantemekaniske egenskaber er utroligt svære at udregne i praksis, og derfor må vi bruge både den snedige beregningsmetode *tæthedsfunktionalteori* (DFT) og supercomputere for at nå frem til en konklusion.

Introduktion

Fra Niels Bohr udgav sin atommodel for 100 år siden, gik der kun godt 10 år, før Erwin Schrödinger fremsatte, hvad der idag er kendt som Schrödingers ligning. Denne ligning kan benyttes til at beskrive alle ikke-relativistiske kvantemekaniske systemer og benyttes i atomfysikken og kemien til at beskrive elektroner bundet omkring atomkerner. Udfordringen ved Schrödingers ligning er, at den er en andenordens koblet differentialligning i $3N$ variable, hvor N er antallet af elektroner. Vil man således beskrive f.eks. et O_2 molekyle (indeholdende 16 elektroner) skal man løse en differentialligning i $3 \times 16 = 48$ variable. Denne udfordring blev opdaget tidligt og bl.a. udtrykt af Paul Dirac, en af kvantemekanikkens fædre: “...a large part of physics and the whole of chemistry are thus completely known, and the difficulty is only that the exact application of these laws leads to equations much too complicated to be soluble. It therefore becomes desirable that approximate practical methods of applying quantum mechanics should be developed...” [1]

Siden da er der sket udvikling på to fronter, der tilsammen gør det muligt at lave en kvantemekanisk beskrivelse af systemer med flere tusinde elektroner. Den første udvikling er rent praktisk, nemlig at man ikke længere er begrænset til pen og papir. Gigantiske ligningssystemer kan idag løses på kort tid i supercomputere bygget netop til løsning af videnskabelige problemer. Den anden udvikling omhandler approksimationer og løsningsteknikker til Schrödingers ligning. Disse metoder indeholder nok fysik til at give en korrekt beskrivelse af mange fysiske og kemiske systemer, men de kan løses langt hurtigere end en direkte løsning af Schrödingers ligning.

Vi vil i denne artikel fokusere på en bestemt løsningsteknik til Schrödingers ligning kaldet tæthedsfunktionalteori (forkortet DFT fra det engelske Density Functional Theory). DFT er en løsningsteknik oprindeligt udviklet til at beskrive faste stoffer, men den har vist sig særdeles anvendelig i beskrivelsen af kemiske reaktioner på overflader. Teorien bag DFT blev udviklet i løbet af 1970'erne, men først fra midten af 1990'erne

var computere blevet hurtige nok til at man rutinemæssigt kunne udføre disse typer af beregninger. Dette er også grunden til at nobelprisen i kemi for udviklingen af DFT først blev givet i 1998 [2].

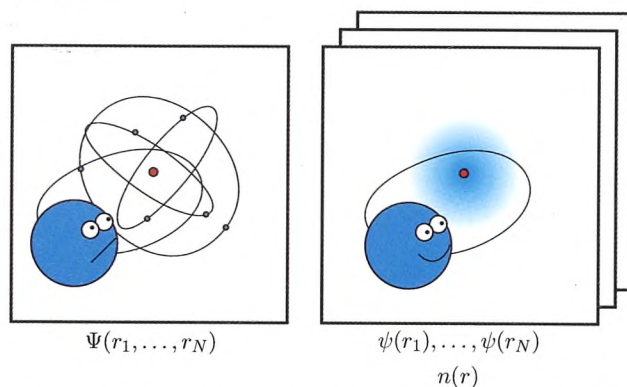
Som eksempel på hvordan DFT kan anvendes, ser vi på vores forståelse af guldoverflader. Guld er som bekendt det ædleste af metaller, men det var først i 1995 at man ved hjælp af DFT kunne udføre beregninger af de elektroniske egenskaber, der viser sig at være afgørende for molekylers binding på metaloverflader og dermed afgørende for metallens ædelhed.

Før vi går efter guldet, starter vi med i næste sektion at give en introduktion til DFT.

Baggrunden for tæthedsfunktionalteori

DFT er udviklet til at beskrive bindingen imellem atomer. En binding opstår når elektronerne i de yderste baner omkring hvert atom opnår en lavere energi ved at ændre deres baner, idet de vekselvirker med valenselektronerne i de nærliggende atomer.

Når man løser Schrödingers ligning er målet at bestemme energien og den tilhørende bølgefunktion Ψ , der beskriver systemets tilstand. Bølgefunktionen er en funktion af alle elektronernes koordinater, $\Psi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_N)$, og vi kan således ud fra Ψ spørge til en hvilken som helst placering af de N elektroner i systemet.



Figur 1. Til venstre er illustreret hvordan alle elektroner beskrives samtidig når Schrödingers ligning løses. Til højre er vist hvordan hver pseudo-elektron i DFT kun har kendskab til den samlede tæthed $n(\mathbf{r})$.

I DFT bestemmer man derimod den totale elektron-tæthed, $n(\mathbf{r})$, der kun er en funktion af de tre rumlige koordinater $\mathbf{r} = (x, y, z)$. Tætheden $n(\mathbf{r})$ fortæller os, hvor stor sandsynligheden er for at observere en vilkårlig elektron et givent sted i rummet. Den indeholder dermed ikke information om opførslen af hver enkelt elektron i systemet. På trods af dette, viser det sig at der er en direkte korrespondance mellem elektrontætheden og systemets totale energi. Det åbner muligheden for at udregne systemets energi ud fra $n(\mathbf{r})$, uden at udregne den komplicerede bølgefunktion $\Psi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_N)$.

For at beskrive kemiske bindinger har det dog vist sig at en simplificeret beskrivelse af de enkelte elektronbaner er praktisk. Denne beskrivelse foregår stadig via Schrödingers ligning, men istedet for at beskrive alle elektroner samtidigt i én bølgefunktion, kan man løse Schrödingers ligning N gange, én gang for hver såkaldt pseudo-elektron. Pseudo-elektronerne vekselvirker da med hinanden igennem $n(\mathbf{r})$. Det beregningsmæssige arbejde er nu ændret fra en differentialligning i $3N$ variable, til N differentialligninger i 3 variable hver – dette er et langt nemmere problem.

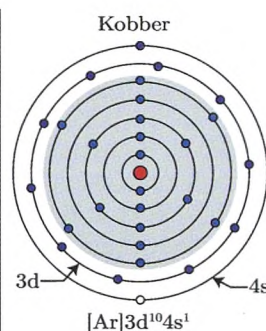
Billedeligt kan det ovenstående forstås som illustreret i figur 1. Ved løsningen af den fulde Schrödinger ligning skal hver enkelt elektron have styr på hvor alle andre elektroner er. I DFT derimod skal hver enkelt pseudo-elektron kun have styr på den totale ladningsfordeling, altså summen af alle elektroner i systemet (inklusiv den selv). En af ulemperne ved denne simple beskrivelse er, at DFT ikke korrekt kan beskrive elektroner, der er meget stærkt kobledede. Det viser sig dog, måske noget overraskende, at en stor klasse af materialer og reaktioner bliver beskrevet særdeles nøjagtigt med DFT. Det er således muligt at beskrive de fleste kemiske reaktioner med en nøjagtighed på omkring 0,1 eV (1 eV = $1,602 \cdot 10^{-19}$ J). Til sammenligning er bindingsenergien i f.eks. et H_2 molekyle cirka 4,5 eV.

Hvorfor guld er det ædleste af metaller

Det er et kendt fænomen at guld- og sølvtøj ikke let korroderer. Det skyldes at guld og sølv er såkaldte ædelmetaller, der ikke reagerer med f.eks. ilt fra luften. Sølvtøj skal dog pudses oftere end guld og guld bliver generelt betragtet som det ædleste af alle metallerne.

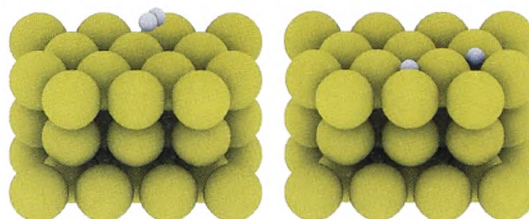
For at opnå en forståelse for hvorfor guld er det ædleste af metallerne, kan vi sammenligne beregninger for adsorptionen (dvs. bindingen) af et simpelt molekyle på en guldoverflade og på andre metaller i nærheden af guld i det periodiske system [4]. Figur 2 viser et udsnit af det periodiske system. Vi kan se at hvis vi går højre-venstre ændres fyldningen af d-skallen og hvis vi går op-ned ændres antallet af skaller. For at se på betydningen af d-skallens fyldning (d^9 mod d^{10}) vil vi sammenligne beregninger for platin og guld, og for at undersøge betydningen af antallet af skaller (3d imod 5d) vil vi sammenligne guld og kobber.

Nr. 27 Kobalt (Co) [Ar]3d ⁷ 4s ²	Nr. 28 Nikkel (Ni) [Ar]3d ⁸ 4s ²	Nr. 29 Kobber (Cu) [Ar]3d ¹⁰ 4s ¹
Nr. 45 Rhodium (Rh) [Kr]4d ⁹ 5s ¹	Nr. 46 Palladium (Pd) [Kr]4d ¹⁰ 5s ¹	Nr. 47 Sølv (Ag) [Kr]4d ¹⁰ 5s ¹
Nr. 77 Iridium (Ir) [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁶ 6s ¹	Nr. 78 Platin (Pt) [Xe]4f ¹⁴ 5d ⁹ 6s ¹	Nr. 79 Guld (Au) [Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹

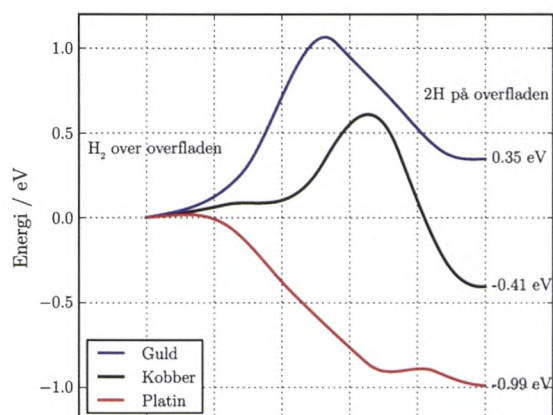


Figur 2. Udsnit af det periodiske system i nærheden af guld. Angivet er atomnummeret, navnet på atomtypen og den elektroniske konfiguration. Den elektroniske konfiguration er angivet så tallet i potens angiver antallet af elektroner i den givne konfiguration. F.eks betyder [Ar]3d¹⁰4s¹ at der er ti 3d elektroner, én 4s elektron og en kerne svarende til ædelgasen argons elektronstruktur [3].

Som testmolekyle vil vi benytte H_2 , det simpleste (neutrale) molekyle vi kan forestille os. På figur 3 er vist hvordan H_2 under bindingen til guldoverfladen bliver splittet til to hydrogenatomer. Dette sker fordi det er favorabelt for hvert hydrogenatom at være i direkte kontakt med tre metalatomer. Det viser sig at for både guld, kobber og platin binder hydrogen på samme plads i overfladen. Bemærk hvordan der i figur 3 kun er indtegnet tre lag af overfladen. Det skyldes at man i DFT gerne vil beskrive så få atomer som muligt for at spare beregningstid. Det viser sig at 3–6 lag atomer til at beskrive en metalkrystal er nok til at give en korrekt beskrivelse af små molekylers binding til overfladen.



Figur 3. Illustration af H_2 der binder til en guldoverflade. Til venstre er H_2 molekylet lige over overfladen og til højre er H_2 molekylet splittet til to hydrogenatomer der hver binder til overfladen.



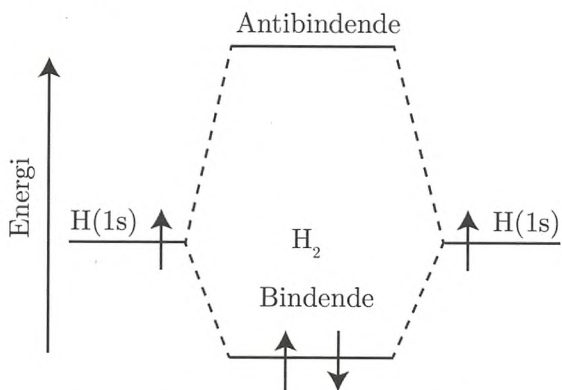
Figur 4. Energien langs adsorptionsvejen for et H_2 molekyle ned på hhv. guld, kobber og platin.

På figur 4 er plottet energien af det samlede system under H_2 's adsorptionsproces. Når H_2 molekylet er langt fra overfladen (til venstre) er energien af interaktionen per definition 0 eV. En negativ energi betyder at H_2 molekylet vinder energi ved at binde til overfladen (en eksoterm reaktion), hvorimod en positiv energi betyder at det koster energi at binde molekylet til overfladen (en endoterm reaktion). Vi kan se at helt som ventet bliver H_2 ikke bundet på guldoverfladen, hvorimod det bliver stærkt bundet til platin og kun svagt til kobber.

Guld kontra platin

Lad os nu se nærmere på forskellen imellem guld og platin. Hvis vi igen ser på det periodiske system i figur 2 kan vi se at forskellen imellem de to metaller er antallet af 5d-elektroner. Fra atomfysik ved vi at der i en d-skal kan være 10 elektroner. Vi ser derfor at guld har en fyldt d-skal, hvorimod platin har en plads ledig i sin.

Før vi kommer til betydningen af fyldningen af d-skallen i adsorptionsprocessen er det instruktivt først at se på hvad der sker når et H_2 molekyle bliver dannet i vakuum. På figur 5 er vist et energidiagram for dannelsen af H_2 fra $2H$. Når de to atomer føres sammen dannes to nye tilstande ved en såkaldt hybridisering af de atomare elektrontilstande. De to nye tilstande er hhv. en bindende tilstand og en antibindende tilstand. Den bindende hedder en bindende tilstand fordi den har lavere energi end de oprindelige tilstande, og tilsvarende har den antibindende tilstand højere energi end de oprindelige tilstande. Hver af disse tilstande kan indeholde to elektroner, og fordi vi kun har to elektroner i alt, bliver begge elektroner fyldt i den bindende tilstand, idet de mest stabile tilstande altid bliver fyldt først. Bemærk at den antibindende tilstand bliver forskudt mere op i energi end den bindende tilstand bliver forskudt ned. Dette vil blive et vigtigt resultat senere.

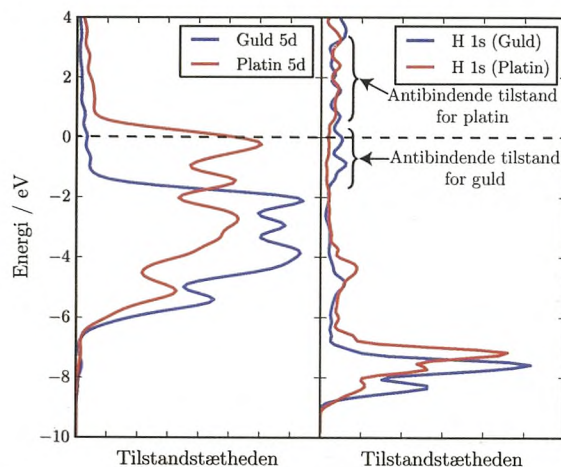


Figur 5. Energidiagram der viser at 1s elektronerne i hydrogen kan danne en ny tilstand med lavere energi ved at danne et H_2 molekyle. Bemærk at den antibindende tilstands energiskift op er større end den bindende tilstands energiskift ned.

Det samme billede kan overføres til adsorptionen af H på en metaloverflade. Der bliver stadig dannet en bindende og antibindende tilstand under adsorptionen, men disse tilstande bliver nu ikke dannet ved

en hybridisering imellem to atomare tilstande, men istedet mellem 1s tilstanden fra hydrogenatomet og den samlede tilstand af overfladen. Fordi en metaloverflade indeholder et stort antal elektroner, er der et stort antal tilstande i overfladen. Man har derfor ikke længere at gøre med enkelte tilstande med en given energi, men derimod såkaldte bånd af tilstande. I disse bånd er der et varierende antal tilstande for hver energi og denne variation kaldes for tilstandstætheden.

På figur 6 er vist tilstandstætheden for 5d-elektronerne (venstre) og for hydrogens 1s-elektron efter hydrogen er blevet adsorberet på overfladen (højre). Energiaksen er justeret så alle tilstande med negativ energi er fyldte.



Figur 6. Venstre: Den del af tilstandstætheden der har karakter af 5d-elektronerne i guld og platin. Højre: Den del af tilstandstætheden der har karakter af 1s elektroner i hydrogen. Pile angiver positionen af den antibindende tilstand (se figur 5).

Det første vi kan se fra tilstandstætheden er at 5d-elektronerne danner et sammenhængende bånd, der starter omkring -6 eV. Fordi d-båndet kun er delvist fyldt for platin, passerer dette bånd forbi 0 eV, således at nogle tilstande kan være fyldte og nogle tomme. For guld, hvor båndet er fyldt, er hele båndet placeret under 0 eV.

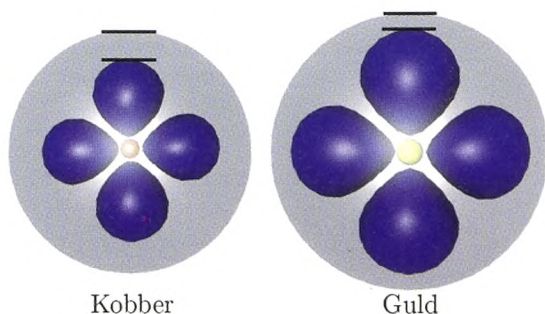
Fordi de nye tilstande, der bliver dannet under adsorptionen af H, opstår ved en hybridisering med bl.a. d-båndet, er d-båndets placering afgørende for energien af de nye tilstande. Man kunne i den sammenhæng forestille sig, at det vil være en fordel hvis d-båndet ligger ved en lav energi, så energien af de nye tilstande ville blive tilsvarende lave. Vi husker dog fra dannelsen af H_2 i figur 5 at den antibindende tilstand bliver skiftet mere op i energi end den bindende bliver skiftet ned. Hvis d-båndet ligger så lavt at både den bindende og antibindende tilstand bliver fyldt, vil nettoresultatet derfor være en højere energi. Altså er bindingen ustabil. Dette er netop hvad der sker for guld. På tilstandstætheden for hydrogen 1s på guld og platin (til højre på figur 6) er indtegnet hvor den antibindende tilstand er placeret. Vi ser at for guld er denne tilstand blevet trukket ned under 0 eV og tilstanden er dermed fyldt. For platin derimod ligger tilstanden ved en positiv energi og er dermed ikke fyldt.

Ovenstående er således forklaringen på hvorfor ædelmetallerne er ædle: Fordi valens d-skallen er fyldt, ligger den så lavt i energi, at både bindende og antibindende tilstande bliver fyldt, når et molekyle interagerer med disse metaller. Den fyldte antibindende tilstand gør adsorptionen kostbar.

Guld kontra kobber

Nu har vi argumenteret for hvorfor guld, sølv og kobber er mere ædle end platin: Deres fyldte d-bånd gør reaktioner med molekyler energikrævende. Det kan derfor virke overraskende at H_2 alligevel kan binde til kobber, som vist på figur 4. Dette kan forstås ved at opdele bindingen imellem hydrogenatomet og metaloverfladen i to bidrag. Det ene bidrag er hydrogens vekselvirkning med d-båndet, som vi allerede har set på. Det andet bidrag stammer fra vekselvirkningen med metallets s-bånd. Vekselvirkningen med s-båndet giver for både guld, platin og kobber anledning til en væsentlig binding med omtrent samme styrke for alle tre metaller. Til gengæld påvirker denne stærke vekselvirkning med s-båndet vekselvirkningen med d-båndet forskelligt for forskellige metaller.

For at forstå dette sammenspil vil vi sammenligne guld og kobber. På figur 7 er vist valens s-tilstanden og én af valens d-tilstandene for kobber (venstre) og guld (højre). Vi kan se at for kobber ligger d-tilstanden begravet dybere bag s-tilstanden. Dette betyder at et molekyle, der vekselvirker med kobber, vil opnå et stort overlap med s-tilstande, før der kan opnås overlap med d-tilstandene. For guld har d-tilstandene en større udstrækning, og overlap med s-tilstanden medfører derfor et stort overlap med d-tilstandene. Dette overlap mellem hydrogens 1s og gulds 5d-tilstande bliver faktisk for stort, i den forstand at energien stiger. Dette skyldes Paulis udelukkelsesprincip, der siger at elektroner ikke kan optræde i samme tilstand (hvilket også er årsagen til at elektronerne i et atom ikke alle kan henfalde til den laveste 1s-tilstand).



Figur 7. Den semi-transparente kugle viser 4s-orbitalen (kobber) og 6s-orbitalen (guld). Indenfor er vist en af 3d (kobber) og 5d (guld) orbitalerne. Alle orbitaler er tegnet ved samme tæthed.

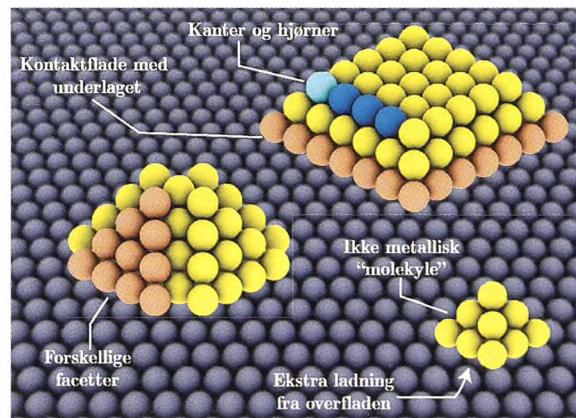
Forklaringen på hvorfor kobber er mindre ædelt end guld, er dermed at finde i den forskellige fysiske udstrækning af 3d- og 5d-elektronerne: gulds 5d-elektroners store udstrækning er i vejen, når bindingen til s-båndet etableres, og det koster energi.

Når guld bliver småt

Vi har i det foregående set hvordan DFT-beregninger kan benyttes til at forklare hvorfor guld er et ædelmetal. Overraskende nok har det vist sig at små guldpartikler på 1-3 nm er særdeles reaktive og dermed ikke længere ædle. Dette har været eksperimentelt kendt siden slutningen af 1980'erne, men nu 25 år senere er nanometrisk guld stadig et særdeles aktivt forskningsfelt. Det skyldes deres potentielle anvendelser indenfor katalyse [5].

For mange kemiske reaktioner eksisterer en energibarriere, der skal overkommes for at reaktionen kan forløbe. En katalysators opgave er at mindske denne energibarriere, så reaktionen kan forløbe hurtigere eller med lavere energiforbrug. På figur 4 kan vi se, at H_2 kan splittes på en platinoverflade nærmest uden barriere. Derimod er der en barriere på omkring 1,1 eV for at splitte H_2 ned på en guldoverflade. Platin er dermed en god katalysator i reaktionen $H_2(\text{gas}) \rightarrow 2H(\text{adsorberet})$, hvorimod guld ikke er det.

En af de reaktioner, der forløber i en bilkatalysator, er omdannelsen af CO til CO_2 . Denne reaktion er vigtig, fordi CO er giftigt at indånde, hvorimod CO_2 er ganske ufarligt. Det har vist sig, at små guldpartikler er særdeles gode som katalysatorer for netop denne reaktion, men en fyldestgørende forklaring på hvorfor det er tilfældet, er stadig ikke opnået. Det skyldes, at denne ellers simple reaktion udført på små guldpartikler påvirkes af mange faktorer samtidigt.



Figur 8. Illustration af de forskellige aspekter der skal medregnes når nanometriske guldkrystaller undersøges.

På figur 8 er illustreret nogle af de mekanismer, der kan spille ind når vi skal undersøge en katalytisk proces på en nanopartikel. Modsat reaktioner på overfladen af en perfekt metalkrystal har vi i nanopartiklerne mange forskellige typer atomer. Vi har atomer på hjørner, kanter og forskelligt orienterede overflader. Vi har atomer i toppen af partiklen eller på kontaktfladen imellem metalpartiklen og den overflade partiklen er placeret på. Disse atomer er alle placeret i forskellige omgivelser og de kan bidrage forskelligt i den katalytiske proces. I tillæg til disse geometriske faktorer kommer elektroniske effekter. Fordi guldpartiklerne nu har en begrænset størrelse, er de ikke længere nødvendigvis metalliske. Der kan også ske ladningsoverførsel fra den overflade partiklen er understøttet på.

Vi kan med DFT beregninger isolere de forskellige effekter beskrevet ovenfor og se på hvordan de påvirker f.eks. barrieren for reaktionen $O_2(\text{gas}) \rightarrow 2O(\text{adsorberet})$. Netop muligheden for at isolere forskellige aspekter ved at opstille tænkte scenarier er en af de største styrker ved DFT, men samtidigt også en af de største udfordringer. Der er i DFT beregninger ikke en indbygget mekanisme der kan fortælle os om de beregninger vi laver er det rene tankespin. Det er derfor vigtigt at have eksperimentelle data at sammenligne med.

Konklusioner

Vi har i denne artikel vist, hvordan DFT beregninger kan benyttes til at opnå en øget forståelse af kemiske processer. Ved at sammenligne den beregnede tilstandstæthed for guld og platin kan vi forstå hvorfor en fyldt d-skal giver anledning til et mere ædelt metal. Ud fra forskellene i d-tilstandenes udstrækninger for kobber og guld, forklares hvorfor gulds store 5d-tilstand forhindrer guld i at reagere, og dermed gør det endnu mere ædelt.

I den sidste del af artiklen har vi kort beskrevet at små guldpartikler ikke længere er ædle og vi har forsøgt at illustrere hvor komplekst det er at undersøge disse små partikler ifht. at undersøge hele krystaloverflader.

Litteratur

- [1] Paul A. M. Dirac, Quantum Mechanics of Many-Electron Systems, *Proceedings of the Royal Society of London. Series A*, **123** (792):714–733, 1929. <http://dx.doi.org/10.1098/rspa.1929.0094>.

- [2] Walter Kohn, Nobel Lecture – Electronic Structure of Matter – Wave Functions and Density Functionals. http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1998/kohn-lecture.html, 1998.
- [3] Neil W. Ashcroft og N. David Mermin. *Solid State Physics*. Brooks Cole, 1976.
- [4] Bjørk Hammer og Jens K. Nørskov. Why gold is the noblest of all the metals. *Nature*, **376** (6537):238–240, 1995.
- [5] A. S. K. Hashmi og Graham J. Hutchings. Gold Catalysis. *Angewandte Chemie International Edition*, **45** (47):7896–7936, 2006.



Lasse B. Vilhelmsen er ph.d.-studerende i fysik ved Aarhus Universitet og arbejder til dagligt med DFT til at beskrive de katalytiske egenskaber af nanopartikler på overflader ved hjælp af en genetisk algoritme.



Anton M.H. Rasmussen er ph.d.-studerende ved Aarhus Universitet. Han anvender DFT til at undersøge, hvordan molekyler indgår i katalytiske reaktioner på metaloverflader, især hvordan reaktionerne kan kende forskel på molekyler, der er hinandens spejlbilleder.

Solen i 2012

Af Sven Ove Thimm

Astronomisk Selskab har en solsektion for folk, der er interesserede i at observere Solen. Herunder er der en lille gruppe, der regelmæssigt tæller antallet af solpletter. Solen er et interessant objekt for amatørastronomer, da den er let at observere, selv med en lille kikkert. Yderligere forandrer den sig fra dag til dag på en uforudsigelig måde, så man er altid spændt på, hvad man får at se, når man starter observationerne.

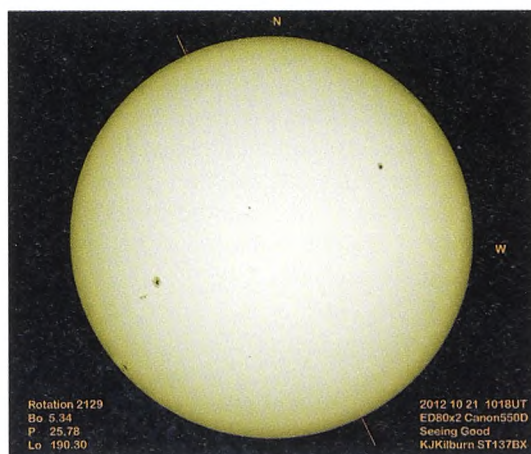
Solobservationer kræver særlige forholdsregler. Enten må man have et solfilter foran objektivet, eller man kan projicere billedet af Solen på et stykke hvidt papir, anbragt bag okularet. Sidstnævnte metode er kun egnet, hvis teleskopet kan tåle varmen. Det kan en simpel linsekikkert (refraktor) eller spejlkikkert, som ikke har for meget plastik i nærheden af objektivets brændepunkt, som regel. Kompakte astronomiske teleskoper kan derimod ikke tåle varmen. Husk i øvrigt at afmontere eller afdække en eventuel sigtekikkert, da trådkorset ellers kan brænde over.



Figur 1. Min lille 80-mm refraktor til de daglige observationer.

Selv bruger jeg en lille refraktor med solfilter (figur 1). Det er hurtigt at anbringe på et fotostativ og på under et minut er jeg klar til at observere. Om vinteren skal teleskopet dog tempereres nogle minutter, hvis den kommer fra en varm stue. Det er vigtigt at teleskopet er hurtigt at stille op, hvis man vil forsøge at følge solaktiviteten hver dag.

Bortset fra enkelte observationer af solpletter med det blotte øje, blev solpletter først observeret i forbindelse med kikkertens opfindelse i begyndelsen af 1600-tallet. Flere observatører kiggede på Solen, når den var svækket af tåge eller ved solnedgang, hvilket dog ikke var særlig sundt for øjnene. Systematiske observationer ved hjælp af projektionsmetoden blev lavet fra 1610 af Galileo Galilei og Christopher Scheiner. De skændtes i lang tid om hvem af dem der først havde opdaget solpletterne. Scheiner, der tilhørte de etablerede tilhængere af det klassiske aristoteliske verdensbillede, antog dem for at være genstande mellem Solen og Jorden, da de traditionelle himmellegemer skulle være perfekte legemer. Galilei fortolkede dem derimod helt i overensstemmelse med vor viden i dag, hvilket sammen med observationer af bjerge på Månen, legemer kredsende omkring Jupiter mm, passede fint til hans konstruktion af et nyt verdensbillede. Han var endog i stand til at konkludere, at Solen roterede om en akse. Fjendskabet mellem de to blev måske senere dyrt for Galilei. Scheiner var jesuitermunk med en vis indflydelse i den katolske kirke. Han har sandsynligvis hjulpet til med at få Inkvisitionen pudset på Galilei.

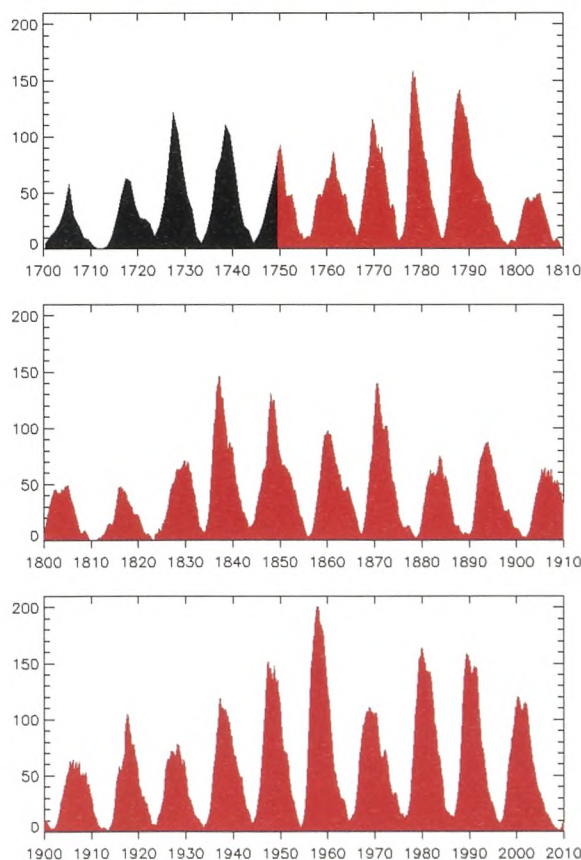


Figur 2. Foto taget af Kevin Kilburn fra solsektionen i BAA (British Astronomical Association) [1].

Siden den tid har Solen været observeret nogenlunde regelmæssigt. I sidste halvdel af 1600-tallet var pletterne stort set fraværende, men fra ca 1700 er de vendt tilbage i stigende antal. "Antallet" af pletter kan opgøres på flere måder. Den mest anvendte er det såkaldte relativtal, der blev indført midt i 1800-tallet af Rudolf Wolf, leder af observatoriet i Zürich. Solpletter viser sig oftest i grupper, som kan bestå af alt fra en til mange enkeltpletter. Relativtallet (R) fås ved at gange antallet af grupper med 10 og lægge antallet af pletter til. Billedet på figur 2 fra 21-10-2012 indeholder 4 grupper med i alt 8 pletter (gruppen midt på Solen

med to små pletter er ikke særlig tydelig). Dette giver $R = 48$. Wolfs metode bygger på, at pletter fordelt på Solen indikerer en større aktivitet end pletter, der er samlet et enkelt sted. Det giver god mening i dag, hvor vi ved at pletterne skyldes kraftige magnetfelter, hvilket ikke var helt klarlagt på den tid, så Wolf må have haft en god intuition. Dog havde han observeret korrelation mellem relativtallet og geomagnetiske forstyrrelser.

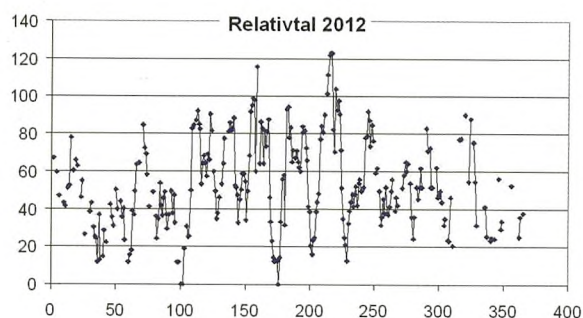
Wolf rejste rundt til observatorier i Europa og rekonstruerede relativtallet tilbage til år 1700. Han besøgte også Rundetårn, hvor Christian Horrebow, som en af de få i Europa i den periode havde foretaget systematiske observationer af Solen fra 1761 til 1776, og herunder bemærket, at antallet af solpletter varierede. Wolfs relativtal blev det "officielle" og bestemt i Zürich i en lang periode. I dag er det overtaget af SIDC (Solar Influences Data Center) i Bruxelles [2]. Nu observeres relativtal også af andre organisationer, både professionelle- og amatørstronomer. Oversigten over relativtallet i de sidste 300 år er vist på figur 3. Her ses tydeligt, at R er periodisk med den kendte "11-års-cyklus", som egentlig varierer mellem 9 og 13 år. Det ses, at også højden af cyklerne varierer stærkt. De enkelte perioder er nummererede fra 1755. Den nuværende er nr. 24.



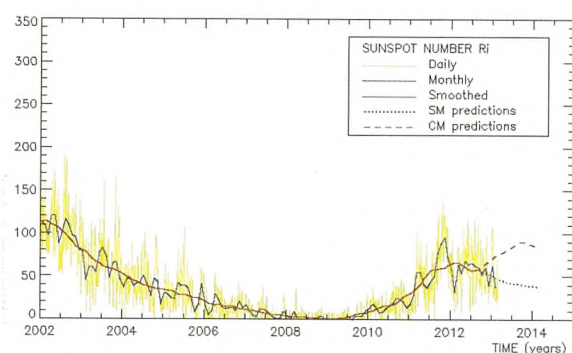
Figur 3. 300 års relativtal fra SIDC [2]. Udglattede gennemsnit (se tekst til figur 5).

Som amatørstronom er det let at bestemme relativtallet. Det jeg ser i min lille kikkert svarer nogenlunde til fotoet på figur 2. SIDC har bidrag fra 70 observatorier verden over. I solsektionen varierer det daglige antal observatorier mellem en og fire. Vore resultater ses på figur 4. Bemærk at kurven er noget hullet om vinteren,

hvilket forklares ved det lave antal observatører og de korte dage. Det ses at relativtallet varierer enormt over få dage. Figur 5 viser en graf fra SIDC fra omkring sidste maksimum til og med 2012. Her ses også de store daglige variationer (gul). En mere jævn kurve fås ved at tage månedlige gennemsnit (blå), som yderligere kan udglattes (rød). Bemærk det lange minimum mellem nr 23 og 24. I flere år var der næsten ingen solpletter, og man begyndte at skrive om, at Solen var "gået helt i stå". Cyklus 24 ser heller ikke ud til at blive særlig høj. Den har sandsynligvis allerede nået sit maksimum. Dette kan dog ikke overraske. På figur 3 kan man nemlig også se en ca. 100-års periode (den såkaldte Gleissberg periode), med et lavt antal pletter i starten af hvert århundrede. Denne periodes længde varierer i øvrigt også lidt og kan følges tilbage i tiden i fx kulstof-14 og iskerne data.

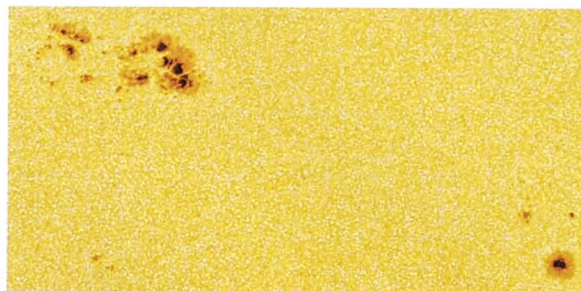


Figur 4. Solsektionens relativtal for hver dag i året. Dag 1 er nytårsdag.



Figur 5. De sidste 11 års daglige og månedlige relativtal fra SIDC [2].

Den enkelte observatørs relativtal skal i praksis ganges med en kalibreringsfaktor (k), da alle ikke har lige store kikkert og lige gode øjne. Bestemmelse af k for den enkelte observatør kan kun gøres ved at sammenligne med et stort observationsnetværk gennem længere tid. Det tilstræbes at værdien $k = 1$ svarer nogenlunde til Wolfs egne observationer. Med min lille kikkert ligger jeg kun ganske lidt over 1. Observationernes værdi stiger, når man kan beregne gennemsnit af resultater fra en stor gruppe observatører, da variationerne fra person til person kan være ganske store. Værdierne har et vist subjektivt præg, da man ofte må anvende skøn. Hvis man fx ser en lang kæde af solpletter, er det så én lang gruppe, eller to der ligger i forlængelse af hinanden?



Figur 6. Solpletter fra 9. april 2013. Udsnit af foto fra NASAs Spaceweather side [3].

Som amatørastonom kan man også have stort udbytte af at klassificere de forskellige grupper af solpletter, som kan have en meget varierende struktur. En større plet består typisk af et mørkt område, *umbra*, omgivet af et lidt lysere område, *penumbra*. På figur 6 er pletten nederst til højre et typisk eksempel. Strukturen kan også være mere kompliceret, som for gruppen øverst til venstre. Sådanne grupper kan ofte også indeholde en del småpletter, som det er vanskeligt at se i en lille kikkert, hvilket netop er begrundelsen for den ovenfor omtalte k -faktor. Et nærmere kendskab til klassifikation af solpletter kan give mulighed for at vurdere Solens magnetiske aktivitet ud fra simple visuelle observationer.

I dag kan solastronomer med avancerede jordbaserede teleskoper og talrige satellitter undersøge Solen i imponerende detaljer, og bestemme mange parametre, så man kan spørge om, hvilken værdi simple visuelle observationer egentlig har? Fælles for de højteknologiske observationer er dog, at de oftest kun strækker sig over få årtier. Det unikke ved Wolfs relativtal er, at vi har en ubrudt tidsserie over mere end 300 år! Hvis man vil studere solaktivitetens historie er dette datasæt altså vigtigt. Ved at sammenligne de R -værdier, man i dag observerer med samme metode som Wolf, med moderne bestemte parametre, kan man måske rekonstruere disse i fortiden.

Litteratur

- [1] British Astronomical Association, <http://britastro.org/baa>
- [2] Solar Influences Data Analysis Center (SIDC), <http://sidc.oma.be>
- [3] Nyheder og information om rumvejret omkring Solen og Jorden, <http://spaceweather.com>



Sven Ove Thimm er cand.scient fra Århus Universitet og underviser i fysik og astronomi på Hjørring Gymnasium. Han er specielt interesseret i Solen og sol-jord fysik og er leder af Solsektionen i Astronomisk Selskab. E-mail: sven.ove.thimm@skolekom.dk.

Foreningsnyt – foredrag i efteråret

Dato	Tid	Foredragstitel	Foredragsholder	Forening
Sep.				
2/9	19.15	Truslen fra Solen	<i>Christoffer Karoff</i>	AS (Kbh)
9/9	(*)	Truslen fra Solen	<i>Christoffer Karoff</i>	AS (Aarh)
9/9	19.30	Kepler-missionen og sfærernes musik	<i>Jørgen Christensen-Dalsgaard</i>	SNU
23/9	19.15	Pulserende stjerner (på engelsk)	<i>Vichi Antoci</i>	AS (Kbh)
30/9	(*)	Pulserende stjerner (på engelsk)	<i>Vichi Antoci</i>	AS (Aarh)
30/9	19.30	Seneste nyt fra "Curiosity" på Mars	<i>Morten Bo Madsen</i>	SNU
Okt.				
21/10	19.15	400 år med stjerne-rotation	<i>Mikkel Nørup Lund</i>	AS (Kbh)
21/10	19.30	Vekselvirkning mellem medicin og protein-receptor, analyseret ved differentialgeometri og kvantekemi	<i>Henrik Bohr</i>	SNU
28/10	(*)	400 år med stjerne-rotation	<i>Mikkel Nørup Lund</i>	AS (Aarh)
Nov.				
4/11	19.15	Exoplaneter	<i>Uffe Graae Jørgensen</i>	AS (Kbh)
11/11	(*)	Exoplaneter	<i>Uffe Graae Jørgensen</i>	AS (Aarh)
11/11	19.30	DNA double helixen og optimale helix-pakninger	<i>Jakob Bohr</i>	SNU
25/11	19.15	Stjernerød – supernovaer (på engelsk)	<i>Giorgos Leloudas</i>	AS (Kbh)
Dec.				
2/12	(*)	Stjernerød – supernovaer (på engelsk)	<i>Giorgos Leloudas</i>	AS (Aarh)
2/12	19.30	Opdagelsen af Higgs-partiklen og jagten på mørkt stof	<i>Troels C. Petersen</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, Bygn. 1530, Aud. D2, 8000 Århus C. (*) Se tid på astronomisk.dk.

SNU: Geologisk Museum, Øster Voldgade 5-7, 1350 København K (www.naturvidenskab.net).

Astronomisk Selskab

Foredragenes tema er *Stjerner*. Stjernerne udgør langt det meste af, hvad vi kan se med det blotte øje på nattehimmelen. Set i et forskningsmæssigt perspektiv er stjerner dels i sig selv et spændende og udfordrende emne og dels spiller de en meget stor rolle for mange andre objekter som stjerne-hobe, galakser og tåger. De udgør også omdrejningspunktet for planetsystemer, og hovedparten af alt det stof, som findes på Jorden er dannet inde i stjernerne. I denne foredragsrække vil vi se nærmere på resultater fra de senere års forskning i stjernerne og deres egenskaber.

Abonner på KVANT

KVANT er medlemsblad for:

- **Selskabet for Naturlærens Udbredelse**
www.naturvidenskab.net og www.facebook.com/SNU1824
- **Dansk Fysisk Selskab**
www.dfs.nbi.dk
- **Astronomisk Selskab**
www.astronomisk.dk
- **Dansk Geofysisk Forening**
www.geofysiskforening.dk

Mere Bohr-jubilæum

Niels Bohr Institutet i København har samlet en række aktiviteter på siden www.bohr2013.nbi.ku.dk, ordnet under overskrifterne:

- Skoleprojekter
- Arrangementer og udstillinger
- Film og tv
- Bogudgivelser



Danmarks Fysik- og Kemilærerforening markerer 100-året for Bohrs atommodel på flere måder. Klik ind på www.kbhsj-fysikkemi.gc-data.dk og læs mere om bl.a.: Temadag om "Niels Bohr og kvantefysik" på Niels Bohr Institutet den 22. november 2013. Hæftet "Atommodellen 100 år" kan hentes elektronisk. Man kan bestille en "Kvantekasse" med apparatur og undervisningsidéer indenfor emnerne atomer og lys. Materialet henvender sig til folkeskolens ældste klasser, men kan også bruges i l.g.

På *Energimuseet i Bjerringbro* kan man i perioden 23. marts til 31. oktober se udstillingen "Et kvantespring til fremtiden – Niels Bohrs Atommodel 100 år". Læs mere på www.energimuseet.dk.

KVANT-nyheder

Af Sven Munk, KVANT

Mystik om kosmiske positroner

PARTIKELFYSIK. I maj 2011 blev der installeret en stor partikeldetektor, "Alpha Magnetic Detector" (AMS), på den internationale rumstation ISS. Denne skulle måle kosmiske partikler med meget stor energi i intervallet 1-300 GeV. Detektoren vejer 6.900 kg og har kostet den nette sum af 2 mia. dollar. Detektoren er monteret sådan på ISS, at den "ser" væk fra Jorden. Foreløbige målinger med AMS har godtgjort, at de kosmiske positroner opfanges med samme intensitet i alle retninger og at styrken synes at være konstant over tid. Dette udsagn er baseret på registrering af 30 mia. partikler, inklusiv 400.000 positroner.

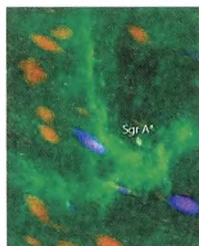


Forskere, ved bl.a. CERN, leder nu efter forklaringer på det iagttagne. Én teori er, at partikler fra det mørke stof kan annihilere parvis og derved generere positroner. Andre og mere velforståede astrofysiske processer kan også tænkes. Neutronstjerner med kraftige magnetfelter (pulsarer) kan fx danne elektron-positron-par, men sådanne positroner vil hurtigt miste energi og højst nå 100-1000 lysår. Anihilationsprocesser fra sådanne positroner vil have et loft over energien. Et vist fald i antallet af positroner med mere end 250 GeV er bemærket, men forskerne vil ikke drage forhastede slutninger.

Kilde: M. Aguilar et al, First result from the Alpha Magnetic Spectrometer on the International Space Station. Precision Measurement of the Positron Fraction in Primary Cosmic Rays of 0.5-350 GeV. *Physical Review Letters* **110**, 141102, (2013).

Stjernedannelse nær sort hul

ASTROFYSIK. Det har været en udbredt opfattelse, at nye stjerner ikke kan dannes tæt på et supermassivt sort hul. Begrundelsen lyder, at tyngdefeltet er så kraftigt, at støv og stof suges ind i det sorte hul, før det når at samle sig i så store mængder, at det rækker til en stjerne. Imidlertid har astronomer undret sig over, at der findes stjerner med en alder på under 10 mio. år nær et sort hul med 4 mio. solmasser. Det nye radioteleskop ALMA (der måler millimeter/submillimeter bølger) har gjort det muligt, at undersøge dette spørgsmål nærmere. Billedet viser strålingskilder tæt på Mælkevejens centrum. Af dette udledes, at der strømmer molekyler ud af tætte gasskyer. Sådanne strømme ses ofte i forbindelse med stjernedannelse i andre dele af galaksen. Derfor mener forskerne, at noget tilsvarende gælder, selv om det sker meget tæt på det sorte hul (afstand 2 lysår).



Kilde: F. Yusef-Zadeh et al., ALMA Observations of the Galactic Center: SiO Outflow and High Mass Star Formation near Sgr A, *Astrophysical Journal Letters* **767**, L32 (2013).

Forud for Tjeljabinsk nedslaget

ASTROFYSIK. I dagene omkring den 15. februar 2013, hvor astronomer forberedte sig på at kigge efter asteroiden 2012 DA14, der passerede tæt forbi Jorden, dukkede en meteorit, som en anden ubuden gæst, op tæt på den russiske by Tjeljabinsk.

Forskere og andre har sammenstykket et billede af hændelsen. En stenblok på 10-20 meter, i familie med de jordnære Apollo-asteroider, kom ind i atmosfæren med en hastighed på 13-19 km/s. Meteoritten blev hvidglødende 32-47 km oppe i atmosfæren. Opvarmningen førte til sidst til en eksplosion i en højde på 15-25 km. Trykbølgen medførte flere tusinde skader på mennesker og bygninger. To forskere har beregnet meteorittens bane og konkluderer, at Tjeljabinsk-meteoritten er i slægt med Apollo-asteroiderne – og ikke, som nogle har foreslået, Aten-familien (som fx 2012 DA14). Altså en ren tilfældighed, at en asteroide og en meteorit optræder samme dag.

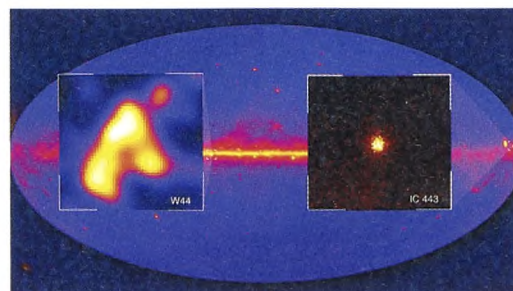
Kilde: Jorge Zuluaga og Ignacio Ferrin, A preliminary reconstruction of the orbit of the Chelyabinsk Meteoroid, (2013), <http://arxiv.org/abs/1302.5377>.

Kosmisk stråling fra supernovaer

ASTROFYSIK. Længe formodet, nu bekræftet: Det meste af den kosmiske stråling stammer fra eksploderende stjerner (supernovaer). Hovedparten af den kosmiske stråling udgøres af protoner med meget stor energi, så stor, at selv ikke de mest kraftfulde partikelacceleratorer på Jorden kan være med.

Det har hidtil været et problem, at lokalisere kilderne, da de elektrisk ladede protoner afbøjes i Mælkevejens magnetfelt. Med satellitobservatoriet Fermi, som måler gammastråling i den høje ende af energiskalaen, kunne denne begrænsning omgås. I stedet for at vente på, at protonerne ankommer til Jorden, kan Fermi måle gammastråling udsendt fra henfald af neutrale pioner, som dannes når de energirige protoner rammer protoner i den interstellare gas omkring en supernova.

Det viste billede kommer fra Fermi, hvor gammastråling markeres med rød. Ellipseformen er himmelhvalvet projiceret ind i et 2D plan. Den vandrette røde "linje" fortæller, at der er mange gammastrålings-kilder i Mælkevejens plan. Der blev sat fokus på efterladenskaberne fra to supernovaer IC 433 (i Tvillingerne) og W44 (i Ørnen). Afstanden er hhv. 5.000 og 10.000 lysår. De eksploderede formentlig for 20.000 år siden.



Kilde: M. Ackermann et al., Detection of the Characteristic Pion-Decay Signature in Supernova Remnants, *Science* **339**, p. 807 (2013), <http://arxiv.org/abs/1302.3307>. Figur kredit: NASA/DOE/Fermi LAT Collaboration.

Horologion i Athen

Af John Rosendal Nielsen, Aurehøj Gymnasium

Kært barn har mange navne, og "Vindenes Tårn" er ingen undtagelse. Det er kendt som "Horologion", "Aiolos' tempel" og for den moderne athener, "Aerides". Tårnet er en ottekantet bygning i pentelisk marmor¹, der står på den romerske agora i Athen – dvs. den torveplads der senere blev anlagt på stedet af Roms magthavere. Horologion betyder et ur, og vindenes tårn kan med rette sammenlignes med et klokketårn, der var indrettet med tidens mest avancerede ur og vejrhane. Tårnet er bygget omkring 100-50 f. Kr.² af den makedonske astronom Andronikos fra Cyrrhus, og det er utroligt velbevaret i forhold til, at det er mere end 2000 år gammelt.



Figur 1. Horologion eller Vindenes Tårn, som det ser ud fra vest i 2012. Foran tårnet ses søjlerne fra den romerske agora.

Tårnet og den romerske agora

Placering af tårnet er nord for Akropolis og øst for Athens gamle agora. Tårnet ligger således godt 200 m øst for den gamle athenske agora (vist på kortet – figur 2), hvilket kan virke underligt, da man ville formode, at en så prominent bygning ville ligge tættere på denne offentlige plads. Placeringen af tårnet er formentligt besluttet ud fra praktiske overvejelser, som hvordan man kunne få vand til tårnet. Vand var den direkte energikilde til vanduret i tårnet (se senere afsnit), men da vand ikke var nemt at få adgang til i antikkens Athen, måtte man indrette sig de naturlige kilder. En sådan kilde, Klepsydra, findes netop på nordskråningen af Akropolis, og den har været den væsentlige årsag til tårnets placering.

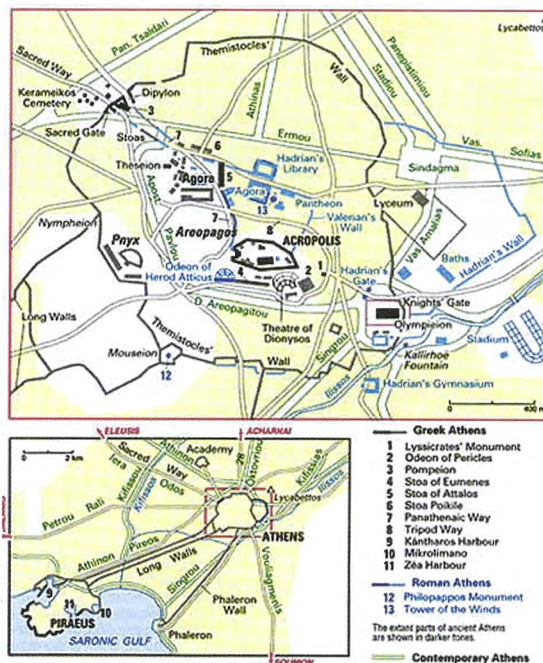
Det skal desuden bemærkes, at bygningen står på et relativt højt sted i den centrale by, hvor to gader mødes. Den ene gade udgjorde den vigtige øst-vest akse igennem byen, mens den anden gade var den mindre nord-syd-orienterede vej op til Akropolis. Dette har nok også været en afgørende faktor for valget af lokaliteten til dette prestigefyldte byggeri.

¹Marmoret kom fra Pentelikonbjerget (græsk: Πεντελικό, i antikken: Pentele, Pentelikon eller Pentelicus), der ligger nordøst for Athen. De fleste antikke bygninger i Athen er bygget i marmor fra dette brud.

²Nyere forskning af professor Kienast [1] indikerer, at dateringen af tårnet nærmere skal være omkring 100 f.Kr.

³Citatet af Varro, og det følgende citat af Vitruv, er oversat af forfatteren, med hjælp fra Christian Marinus Taisbak.

Da den romerske agora senere blev opført i tårnets umiddelbare nærhed (mindre end 20 meter vest for tårnet), blev der også opført det såkaldte Agoranomion og Exedra, hvis præcise formål ikke kendes. Agoranomion blev placeret så tæt ved det cylindriske tårn, at det umuliggjorde passage syd om tårnet. Der blev desuden opført en latrin i nærheden af tårnet, hvilket ikke kan have bidraget til områdets charme.



Figur 2. Kort over den romerske agora med Vindenes tårn (13).

De skriftlige kilder

Vitruv (ca. 75 f.Kr.-15 e.Kr.) og Varro (116-27 f.Kr.) er de eneste skriftlige kilder til Horologion, og de nævner kun tårnet i korte passager. Varro nævner kun kort Horologion, da han i 37 f.Kr. i *De re rustica* [2] beskriver, hvordan hans fugebur til fugeopdræt ved den antikke by Casinum (der lå syd for Rom) er indrettet. Varro skriver³: "Inde under kuplen på rotunden cirkulerer

morgenstjernen om dagen og aftenstjernen⁴ om natten rundt nær den lavere del af halvkuglen, og de bevæger sig på sådan en måde, at de viser, hvad klokken er. I midten af samme halvkugle er der omkring akse et kompas med de otte vinde, som i Horologion i Athen, som er bygget af Cyrrestes; og der er en viser, der fra akse peger på kompasset og løber rundt på en sådan måde, at den rører den vind, der blæser, så du er i stand til at kende den indefra.”

Bemærk at Andronikos kun bliver benævnt efter sin hjemby. Man kan spekulere på, om antallet af mennesker fra den makedoniske by Cyrrhus var yderst begrænset i Athen, og om Andronikos var tilstrækkelig berømt til at være kendt som manden fra Cyrrhus⁵. Det er ikke usædvanligt at blive nævnt efter sin hjemby i antikken – for eksempel blev Aristoteles kendt som 'Stagirites' efter sin fødeby Stageira.

Vitruv [3] er noget mere informativ. Han nævner Horologion i diskussionen om, hvor mange vinde, der findes: “Men de, som har undersøgt det mere omhyggeligt, har fastslået, at der er otte (vinde): specielt især Andronikos af Cyrrhus (i teksten står der *Cyrrestes*), der oven i købet som illustration byggede et oktagonalt marmortårn i Athen, og på hver side af ottekanten (oktogonen) lod udhugge fremstillinger af vindene vendt imod hver sin vindretning. Og over dette tårn konstruerede han en kegle af marmor, og over den havde han placeret en Triton i bronze, der holder en stav i sin højre hånd. Han havde konstrueret den sådan, at den blev drevet rundt af vinden, så den altid vendte imod vindretningen, og den holdt staven, som indikator over fremstillingen af vinden.”

I Vitruvs beskrivelse af tårnet får vi, udover at det er ottekantet, at vide, at det havde en “vejrhanne” udformet som en Triton i bronze, der havde holdt en stav i hånden. Varro beskriver desuden, at vejrhanens retning kunne aflæses inde i tårnet således, at man kunne vide vindens retning uden at forlade tårnet.

Vitruv er en af de vigtigste kilder til romersk arkitektur, konstruktion og dekoration. Vitruvs ti bøger om arkitektur er blevet studeret igennem tiderne, og værket har haft stor betydning for genopdagelsen af den klassiske stil i renæssancen. Værket *De Architectura* er desuden en vigtig kilde til belysning af astronomiens historie, da hans niende bog beskriver konstruktionen af solure. Det vil vi vende tilbage til i næste afsnit.

Det interessante i disse beskrivelser er, hvad Varro og Vitruv har *undladt* at nævne. Hverken Vitruv eller Varro kommer ind på, hvad der var inde i tårnet. Der er spor efter et vandur inde i tårnet, som ingen af dem nævner. Solurene – mindst otte af slagsen – et på hver side af tårnet, er heller ikke blevet nævnt. Varro giver kun en svag hentydning til funktionen som solur, idet han kalder tårnet for “Horologion” (ὥρολόγιον),

⁴Morgenstjernen og aftenstjernen referer formentligt til Venus før solopgang eller lige efter solnedgang. Det kan dog også referer til Saturn Jupiter, Mars, Merkur eller stjernen Sirius, der er klare nok til at blive synlige i skumringen.

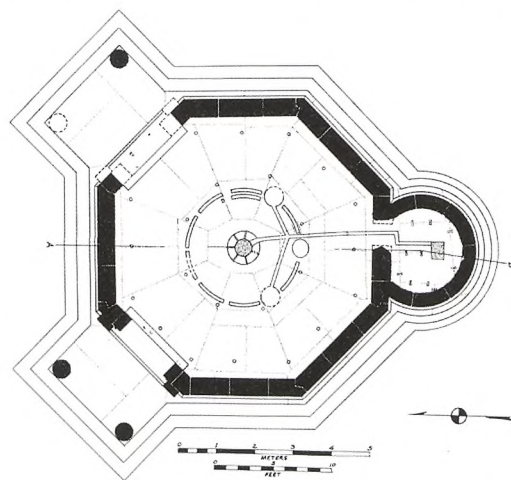
⁵Cyrrhus bliver i flere kilder nævnt som en by i Syrien, hvor Andronikos kom fra. Der findes både en by i Makedonien og i Syrien, der går under dette navn. Jeg antager (som flere samtidige kilder), at der er tale om den makedonske Cyrrhus.

⁶Opmålt af forfatteren inde i tårnet med simpelt målebånd. Der er en 1-2 cm usikkerhed på målingerne.

hvilket betyder et instrument, der måler tid. Men han giver ikke nogen nærmere forklaring på tårnets navn, og Vitruv, der ellers har et længere afsnit (bog IX, kap. 7) om solure og vandure, nævner ikke Vindenenes tårn i Athen med et eneste ord i den sammenhæng.

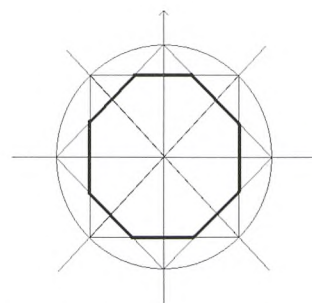
Tårnets arkitektur

Tårnet er 12 meter højt og har en diameter på ca. 8 meter. Arealet alene i ottekantede rum er på næsten 39 m², hvilket betyder, at der foruden det centralt placerede vandur omgivet af et rækværk, var plads til, at flere mennesker kunne opholde sig derinde samtidigt.



Figur 3. Tårnets grundplan med indtegning af vandkanalerne og rækværket omkring vanduret i centrum. Vanduret findes ikke længere, men man har fundet rester af rækværket.

Tårnets grundplan vidner om, at arkitekten har haft en forkærlighed for geometrien. Ottekantens sider måler indvendigt mellem 2,81 m og 2,85 m, hvilket gør konstruktionen praktisk talt perfekt ligesidet⁶. Arkitektens idé til tegning af tårnets grundplan kan nemt konstrueres ved hjælp af passer og lineal (vist nedenfor [1]).



Figur 4. Skitse af arkitektens geometriske overvejelser til tårnets grundplan. Tegn en cirkel med et kvadrat inde i, og derefter et nyt tilsvarende kvadrat, der er roteret 45 grader. Der opstår derved en ottekant, når man fjerner hjørnerne af kvadraterne. Man kan tilføje en cirkel og to kvadrater, der begge overlapper med ottekanten, til det cylindriske anneks og de to indgangspartier.

De mest kendte arkitektoniske vidnesbyrd fra antikken er religiøse bygninger i form af templer, der har overlevet frem til vores tid. Dette gør, at man kan beskrive den historiske udvikling og sætte dem i perspektiv med regionale forskelle. Horologion udgør en udfordring i arkitekturens historie, idet tårnet er et unikum med hensyn til design og strukturelle detaljer. Der er simpelthen ikke fundet et tilsvarende bygningsværk i den antikke verden, og det gør samtidig Horologion til en utroligt spændende bygning, som stadigvæk bliver studeret af forskere⁷.

De græske vinde

Ifølge Vitruv er baggrunden for opførelsen af det ottekantede tårn, at der skulle være 8 vinde. Diskussionen af antallet af vinde kan forekomme som lidt underlig set fra vores synspunkt, men i antikken diskuterede filosoferne, om antallet af vinde var 4 eller 8.

Baggrunden for denne diskussion skal findes i, at grækerne tillagde vindene egenskaber. Et eksempel er søndenvinden, der betød sygdom for befolkningen, idet vinden kommer fra Afrika over Middelhavet med varme og fugt. I Vitruvs bog I, kap. 6, 1 beskrives det, hvordan vindene kunne have indflydelse på folks helbred, og hvad der kunne gøres gennem byplanlægningen, for at undgå visse vindes uheldige påvirkninger af indbyggerne.

Vitruv nævner som eksempel Mytilene, der er en by på øen Lesbos. Byen bliver beskrevet som både storslået og elegant bygget, men dens beliggenhed var ikke klogt valgt. Når vinden kom fra syd, blev indbyggerne i byen syge. Kom vinden fra nordvest, ville de hoste, men når vinden kom fra nord, ville de ganske vist blive raske, men de kunne så ikke opholde sig i byens stræder og gader pga. kulden. Med dette eksempel argumenterer Vitruv for, at en byplanlægning uden hensyntagen til orientering i forhold til vindene ville gøre byen til et ubehageligt sted at opholde sig.



Figur 5. Der er placeret otte vindguder øverst på hver sin side af Vindenes Tårn. Her er fx vist "Boreas", der symboliserer nordenvinden.

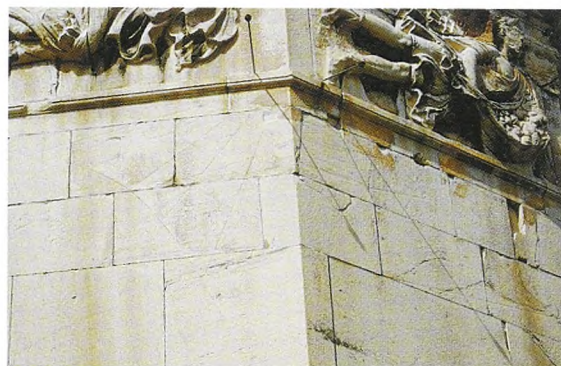
Vindene har desuden haft stor betydning for byen Athen pga. den maritime tradition. Den athenske skibsfart havde afgørende betydning for handel såvel som en

krigsflåde til forsvaret af byen. Det var derfor vigtigt, at man havde en god forståelse for årstidens herskende vindretninger og storme.

I *De Architectura* [3] afviser Vitruv, at der kun er fire vinde og benytter Andronikos' tårn som argument for, at der er otte vinde. Det oktagonale tårn med en vindgud på hver af siderne efterlader ingen tvivl om, at Andronikos også selv var overbevist om, at der var otte vinde med otte forskellige egenskaber.

De ni solure på tårnet

Under reliefferne med vindguderne kan man se streger indridset i muren, og disse er tolket som solure. Skyggen, der angiver tiden på solurene, kom fra en metalstang fastgjort til væggen⁸. De nuværende metalstænger på tårnet er af en nyere dato – tilføjet for at besøgende kan få en idé om solurenes funktion.



Figur 6. Hvis man kigger godt efter, kan man se stregerne fra solurene.

Der er otte solure – et på hver af de 8 sider. Derudover har Noble og Price i 1968 [6] fundet spor af et niende solur på det cylindriske anneks. Man kan endnu se spor af det niende solur på begge sider af det cylindriske anneks i form af linjer i marmoret. Desværre mangler den øverste del af dette cylindriske anneks, så vi kan desværre ikke se hele soluret. Det er usædvanligt at konstruere et solur på en konveks overflade i stedet for en plan overflade. Det vil dog utvivlsomt have været indenfor grækernes formåen.

I antikken var solurene formentligt fremhævet med bemaling. Det kan virke overraskende, at der også er et solur på den *nordlige* side af tårnet, da denne væg kun vil få sollys nogle få timer om morgenen og sent på eftermiddagen i sommermånederne. De otte solure er usædvanlige, da de er de største kendte solure, der er blevet graveret ind på vertikale vægge i antikken, og derudover er de konstrueret med bemærkelsesværdig præcision [5]. Selve konstruktionen af solurene er formentligt sket empirisk, hvor man har tilpasset markeringerne af timerne ved at prøve sig frem, efter placeringen af metalviserne.

En præcis opmåling af tårnet er blevet udført af det græsk-tyske forskningsprojekt anført Kienast, men opmålingerne har ikke hjulpet videre med datering af

⁷Både Hüttig [4] og Kienast [1] [5] har bl.a. lavet en større omfattende undersøgelse af Vindenes tårn, og sidstnævntes undersøgelse udgives i slutningen af 2013.

⁸En såkaldt gnomon (græsk γνῶμων) eller en viser på soluret.

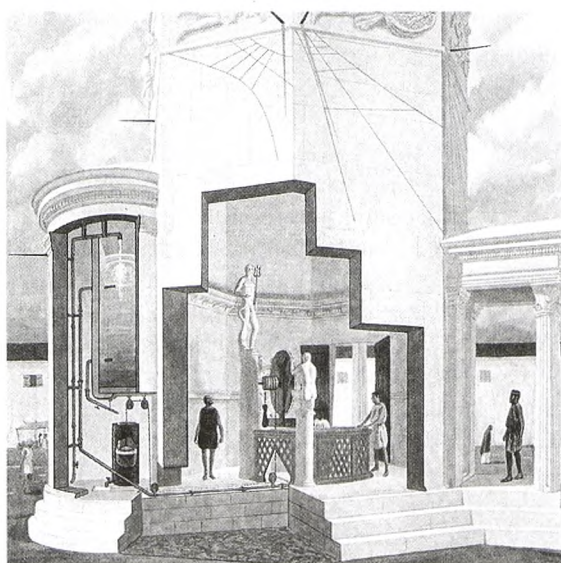
tårnet. Hüttig [4] har til gengæld foreslået at benytte længden af metalviserne på solurene til at give os en idé om tidspunktet for opførelsen af tårnet. Længden af metalviseren er en fri parameter, og man antager, at den har haft en "pæn" heltallig værdi i den antikke længdeenhed. Da flere af tårnets dimensioner er bygget på "pæne" størrelser i romerske fod (pes monetalis), er denne antagelse sandsynligvis fornuftig. En romersk fod er defineret som:

1 pes monetalis = 16 digiti = 12 unciae = 296,17 mm

Digiti ("fingre") og *unciae* er antikkens mindre måleenheder. Det er nærliggende at formode, at tårnet er bygget efter introduktionen af måleenheden i Athen af romerne. Det giver en datering på opførelsen af tårnet til omkring år 100 f.Kr.⁹.



Figur 7. Tårnets gulv er for øjeblikket dækket til med træplader, da man er i gang med en omfattende renovering af tårnet. Med Grækenlands økonomiske situation er det ikke klart, hvornår renoveringen vil være færdig. Derfor må vi nøjes med et foto af interiøret fra 1968, taget af Noble og Price [6]. På billedet ses spor af vanduret og rækværket omkring uret.



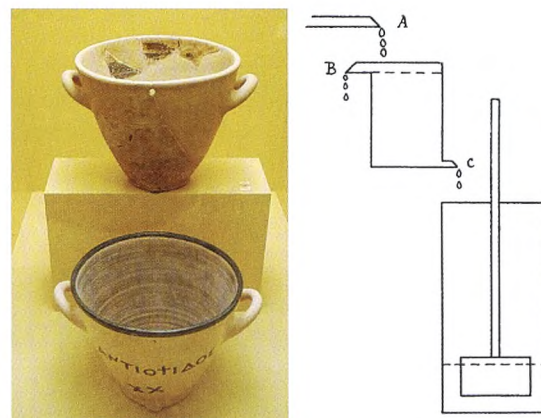
Figur 8. En kunstners (Robert C. Magis [8]) forslag til hvordan det kan have set ud i tårnet.



Figur 9. Forslag til hvordan vanduret så ud [8].

Vanduret inde i tårnet

Den første egentlige videnskabelige undersøgelse af Horologion blev udført af de to briter J. Stuart og N. Revett i perioden 1751-1754, der blev publiceret i deres bog med flere tegninger af tårnet [9]. Da James Stuart undersøgte tårnet, var gulvet dækket af en platform i træ, som de ottemaniske *dervisher* (en ottemanisk munkeorden) havde lagt ud, så de kunne udføre deres rituelle danse. Efter en rengøring af gulvet fandt Stuart og Revett spor i gulvet efter et vandur (også kendt som et klepsydra κλεψύδρα – hvilket direkte oversat betyder vandtyven).



Figur 10. Til venstre: Klepsydra til retssager: En mængde vand blev hældt op i den øverste krukke, som så løb igennem et lille hul i bunden ned i den nederste krukke. Til højre: Diagram af det første vandur. Et overskud af vand kommer ind i den øverste tank fra A, der ledes videre ad C til klepsydra. Ved B kan overskudsvandet føres væk, så vandtrykket ved C kan holdes konstant.

Vandure i antikken

Selvom vanduret for længst er forsvundet, kan vi alligevel få et indblik i, hvordan det har virket. Det er igen fra Vitruv, *De Architectura* bog IX, kap. 8, 4, hvor han beskriver, at det var Ktesibios¹⁰, der opfandt vanduret. Det skal man tage med et gran salt, da klepsydra

⁹Hüttigs datering af tårnet passer godt med en tidligere undersøgelse af Freeden [7].

¹⁰Ktesibios (285-222 f.Kr.) var græsk matematiker og opfinder i Alexandria. Han var formentligt den første leder af mouseion i Alexandria.

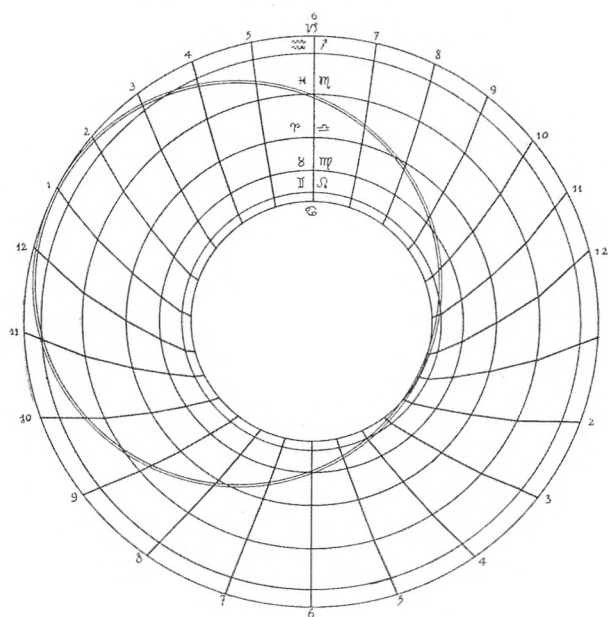
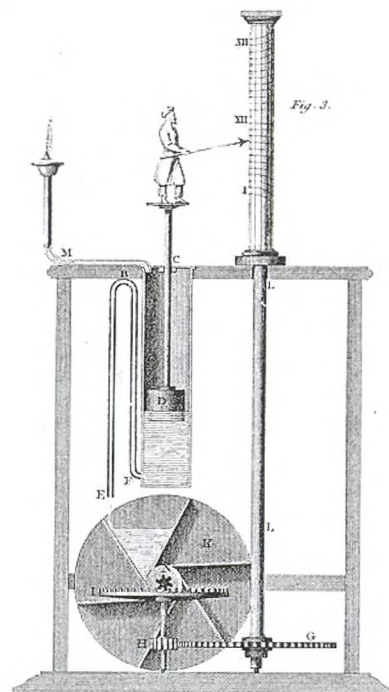
var kendt langt tidligere, idet et simpelt vandur blev benyttet til måling af taletid under retssager. De tidlige former for klepsydra var beregnet til retssagerne og var ikke et ur med inddeling af timer og minutter. Figur 10 (tv) viser et sådant klepsydra, hvor mængden af vand afhang af sagens alvor. I en mindre vigtig sag kom der kun en mindre mængde af vand i klepsydraen, mens i en sag, hvor den anklagede risikerede dødsstraf, blev krukken fyldt helt op. Hvis der var to talere, vil de få samme taletid. Der blev fyldt dobbelt så meget vand i krukken på trods af, at det tog mindre end dobbelt så lang tid at løbe ud af krukken [10].

Eksemplet med to talere illustrerer tydeligt, at man var nødt til at løse problemet med at have en konstant vandgennemstrømning, hvis klepsydraen skulle vise en inddeling af tiden såsom timer. Ifølge Vitruv var det Ktesibios, der opfandt en anordning til løsning af problemet. I stedet for at måle vandet i ét kar benyttede man sig af to kar, hvor det første, øverste kar hele tiden var fyldt med vand, mens der løb vand fra bunden af det øverste kar ned i det nederste kar, se figur 10 (th). For at sikre en konstant gennemstrømning af vand skal der tilføres mere vand til det øverste kar end der løber ned i det nederste kar.

I det nederste kar kunne en flyder placeres med en stang til aflæsning af tidspunktet. De første hydrauliske ure havde ifølge Vitruv ingen viser eller anden form for indikation af timer, men de gav snarere signaler. Han skriver, at når timen var gået, blev "statuer bevæget, søjler drejet, sten og æg faldt, trompeter blæst...". Det kan minde om de gamle kukure uden visere, hvor en gøg kommer ud, bukker og kukker, mens der slås timeslag.

Det næste problem, der skulle løses for den græske urmager, var, at den græske inddeling af dagen i timer varierede alt efter, hvilken dag det var i året. Et græsk døgn var på 24 timer, fordelt på 12 dagtimer og 12 nattimer – hele året rundt. Dette var ganske normalt i oldtiden. Både egypterne og babylonierne havde den samme inddeling af dagen. Det betød, at om vinteren var dagtimerne korte og nattimerne lange, og om sommeren var det omvendt: Lange dagtimer og korte nattimer. Der er to muligheder for teknisk at vise denne variation: Variation af vandgennemstrømningen og variation af skalaen, hvorpå tiden angives. Ktesibios forsøgte med at variere gennemstrømningen, men Vitruv antyder, at det ikke var særlig succesfuldt, mens han havde mere held med at variere tidsskalaen.

Ved at placere tidsskalaen på en cylinder, hvor markeringerne buede, således at nattimerne var lange og dagtimerne var korte om vinteren og modsat om sommeren, kunne man måle tiden korrekt hele året rundt. Det krævede selvfølgelig, at cylinderen drejede en ganske lille smule hver dag – en rotation af cylinderens egen akse skulle tage 1 år. På figur 11 vises, hvordan antikkens grækere kunne have løst dette ved at lade vandet fra klepsydraen drive et hjul, der virkede på en anordning af tandhjul.



Figur 11. Øverst: Klepsydra med variabel tidsskala. Bemærk at stregerne på cylinderen – som den lille mand peger på med sit spyd, ikke er helt radielle, men de buer lidt så linjerne passer med længden af årstidens timer. Anordningen under klepsydraen sørger for, at cylinderen drejer rundt om sin akse én gang om året. Nederst: En skematisk illustration af gitteret, der sidder foran den roterende skive i et anaforisk vandur.

Vanduret i Horologion var sandsynligvis et anaforisk ur, der blev opfundet af Hipparchos omkring 140 f. Kr. Et anaforisk vandur er ligeledes beskrevet detaljeret af Vitruv (bog IX, kap. 8, 8-10). Vandet i det anaforiske vandur flød ligesom det tidligere nævnte klepsydra igennem to eller flere kar, men i det nederste kar løftedes en flyder forbundet med en bronzekæde. Kæden var viklet omkring en horisontal aksel, og i den anden ende af kæden var en modvægt, i form af en sandsæk eller lignende, fastgjort. Akslen bevægede sig hele vejen

rundt om sin akse på 24 timer. På akslen var der fastgjort en bronzeskive, hvorpå der var indgraveret et kort med stjerner og stjernebilleder fra den nordlige hemisfære med den sfæriske nordpol i centrum af skiven.

Referenceskalaen for vanduret bestod af en rist af tynde bronzetråde foran bronzeskiven (illustreret detaljeret i figur 11). Ekliptika¹¹ er vist på skiven som en excentrisk cirkel med centrum i den sfæriske nordpol, hvor der langs kanten af cirklen er boret 365 små huller, der markerer Solen og tjener som markør for vanduret. De syv cirkler, der er koncentriske med den roterende skive, repræsenterer de 12 stjernetegn i Dyrekredsen. Fra midten og ud repræsenterede cirklerne: 1) Krebsen, 2) Tvillingerne og Løven, 3) Tyren og Jomfruen, 4) Vædderen og Vægten, 5) Fiskene og Skorpionen, 6) Vandmanden og Skytten og den yderste cirkel (7) var for Stenbukken. Man kunne så bestemme klokken hele året ved at aflæse det anaforiske ur i det stjernetegn, man befandt sig i – som det er demonstreret på Kostas Kotsanas' hjemmeside [11].

Konstruktionen af et anaforisk vandur er en kompliceret opgave, hvor det bl.a. krævedes at bestemme, hvordan projektionen af stjernerne skulle udføres på den roterende skive. Det bliver diskuteret mere detaljeret hos Drachmann [10]. Det er klart, at det anaforiske vandur er det ypperste, som tidens videnskabsmænd kunne mestre, og det ville derfor være naturligt, at det var et sådant ur, som befandt sig i Horologion.

Tårnets videre skæbne

Da Horologion blev bygget, var der ingen andre embedsbygninger i området. Det stod alene i hjørnet af et handelsmarked, hvor det sikkert har tiltrukket sig stor opmærksomhed. Tårnets hovedformål var dels at få athenerne til at føle sig stolte af deres videnskabelige præstationer, dels at angive klokken og vindretningen. I slutningen af det 1. århundrede begyndte romerne med Julius Cæsar og senere Augustus at bygge *stoan* (overdækket søjlehal til offentligt brug, fx butikker og kontorer) på den romerske agora. Da arkaden – den såkaldte Agoranomion – blev bygget syd for tårnet, mistede tårnet sin afgørende betydning for området. Det blev totalt ignoreret af den græske geograf Pausanias (ca. 110-180), i hans værk på 10 bøger med kultur-geografiske beskrivelser af hovedsagligt den græske civilisation, herunder Athens vigtigste monumentale bygninger. Romernes byggeiver har formentligt betydet, at Horologion endte i glemselen.

Det er umuligt at vide, hvor længe vanduret i det centrale rum fungerede. Vi ved, at vanduret måtte gennemgå en reparation, hvilket kan indikere, at vanduret ikke fungerede helt optimalt. Opførelsen af Agoranomion syd for tårnet har betydet, at vandforsyningen ikke længere kunne foregå under jorden, og det kan måske have betydet et ophør af vand til vanduret. Det er endda usikkert, hvor længe tårnet har været en selvstændig bygning. Der er klare spor af et hus bygget imod dets

vestlige side.

I skildringer fra senrenæssancen og senere fremstår tårnet som et vigtigt antikt bygningsværk. På de første kendte kort har tårnet en prominent placering og er til tider nævnt med navn. Tårnets usædvanlige udformning, og dets anvendelse som tilholdssted for dervishdanserne, har formentligt stor betydning for bygningens tilstand og bevarelse. Tårnet blev også en model for andre tårne i den europæiske arkitektoniske neoklassicisme, og endelig har Horologion haft betydning for byplanlægningen af det moderne Athen [5].

Litteratur

- [1] Kienast, H. The Tower of the Winds in Athens: Hellenistic or Roman?, The Romanization of Athens, ed. M.C. Hoff and S.I. Rotroff, Oxford, 1996, s. 53-65
- [2] Marcus Terentius Varro: On Agriculture, III.5.17, Loeb Classical Library, Harvard University Press, 1960
- [3] Vitruvius: De Architectura, Book I, chapter 6, 4, Loeb Classical Library, Harvard University Press, 1955
- [4] Manfred Hüttig, 1ο Διεθνές Συνέδριο Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας, 1st International Conference on Ancient Greek Technology, 04/09/1997, Thessaloniki, 1997, s. 129-133
- [5] Kienast, Hermann J., The Tower of the Winds at Athens, Athens, 2008.
- [6] Joseph V. Noble & Derek J. De Solla Price: The Water Clock in the Tower of the Winds, *American Journal of Archaeology* 72, 1968, s. 345-355
- [7] Joachim von Freeden, OIKIA KYRRESTOU: Studien zum sogenannten Turm der Winde in Athen, Rome, 1983.
- [8] Derek J. De Solla Price, The Tower of the Winds, *National Geographic* 131, 1967, s. 586-596
- [9] James Stuart & Nicholas Revett: The Antiquities of Athens and other Monuments of Greece as measured and delineated, George Bells & Sons, 1762, kap. 3
- [10] Drachmann, A.G., Ktesibios, Philon, and Heron, Copenhagen, 1948, s. 16-26.
- [11] Demonstration af bevægelsen af urskiven på vanduret, www.kotsanas.com eller på YouTube, www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=6_x5Vp1oczE
- [12] Antikkens tanker – tværfagligt rejsekursus, www.emu.dk/gym/fag/kl/nyheder/2013/01261320-Athenkursus.html.



John Rosendal Nielsen John Rosendal Nielsen er gymnasielærer ved Aurehøj Gymnasium og medlem af Kvants redaktion. Han interesserer sig bl.a. for fundamental fysik, kosmologi og videnskabshistorie. Denne artikel er skrevet på baggrund af studier beregnet til et gymnasielærerkursus [12] til Athen i efteråret.

¹¹ Ekliptika er en storecirkel på himmelsfæren, som Solen – set fra Jorden – ser ud til at bevæge sig langs med i løbet af et år. I virkeligheden er det Jordens bane om Solen, der får Solen til at ændre sin tilsyneladende position i løbet af året.

Aktuelle bøger

Af Anja Skaar Jacobsen og Michael Cramer Andersen

Newton – et sammensat geni

Af: Carl Henrik Koch, "Isaac Newton – Geniet og mennesket", Lindhardt og Ringhof 2013, 768 sider, 399,95 kr.
www.lindhardtogringhof.dk.

Det er noget af en bedrift at skrive en biografi på 768 sider om Newton. Men der er nok at tage fat på. Forfatteren, Carl Henrik Koch, der er filosof og videnskabshistoriker, kommer godt omkring videnskabsmanden Isaac Newton, som vi alle kender – eller tror vi kender. Bogen behandler naturligvis Newtons mange betydningsfulde bidrag til fysikken grundigt – differential- og integralregningen, binomialformlen, lysets sammensatte natur og spejlteleskopet, for blot at nævne nogle få vigtige. Men en vigtig pointe med bogen er, at fysikken og matematikken i virkeligheden kun fyldte en mindre del af Newtons liv.

Hovedværket *Principia* blev fx til på kraftig opfordring af astronomen Edmund Halley og Newton udgav ikke så meget af egen vilje. De fleste af hans studier findes derfor i de omfattende *manuskripter*, som han efterlod sig. De omhandler især *alkymi* og *teologi*. Alene om alkymi skrev han mere end én million ord, og det er nok værd at spørge hvorfor han tog det så alvorligt og undersøge nærmere hvad teksterne indeholder. Hans bibliotek rummede i øvrigt flest bøger indenfor: teologi, græsk og romersk litteratur og alkymi.

Der er stadig brug for nye biografier om Newton og vi er heldige at få én forfattet på dansk. De første store biografier om Newton var enten heltedyrkende eller berøringsangste med hensyn til hans studier indenfor alkymi og teologi. Dette ændrede sig først efter 1936, hvor manuskripterne blev kendt i offentligheden. Til billedet af Newton hører derfor også Newton som den sidste store "magiker" eller "trollmand", som videreførte en tradition man også finder elementer af hos fx Tycho Brahe, Pythagoras og de gamle babylonere.

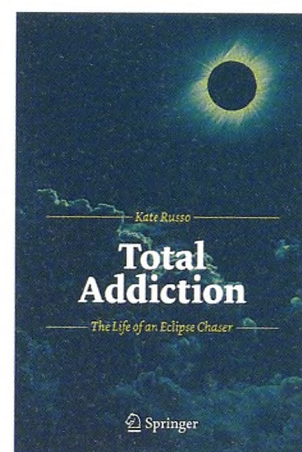
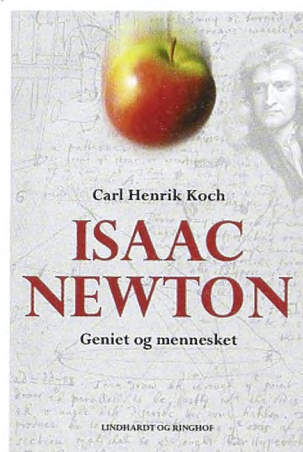
Hvad søgte han i alkymien og teologien? For mange af Newtons samtidige – og for ham selv – var den universelle massetiltrækning et stort mysterium og genstand for kritik. Newton søgte bl.a. en forklaring på massetiltrækningen i alkymien – datidens eksperimentelle og symbolske videnskab om stoffernes egenskaber. Dette giver god mening, næsten ligesom den moderne fysik søger en kvanteteori for tyngdekraften. Et fænomen som magnetisme var heller ikke velforstået og kunne fx være beslægtet med tyngden. Newton forsøgte sig med en mekanisk æterteori, hvor små partikler pressede genstande ned mod Jorden. Han forkastede dog idéen, for hvad satte disse partikler i bevægelse? Mekanikken rummede ikke selv aktive principper og dem søgte han derfor i alkymiens (og vitalismens) begreber om gæring, forrådnelse og transmutation af stoffer. Et interessant eksempel på Newtons idéer om en "sammensmeltet mekanisk og alkymistisk transmutation" findes i hans undren over, hvorfor naturen ikke kan forvandle legemer til lys og lys til legemer. Denne forvandling er endnu i dag et mysterium selv om vi kan regne på den med $E=mc^2$. Newton foretog selv utallige alkymistiske/kemiske eksperimenter og beskrev mange stoffer, men disse optegnelser brændte desværre.

En forklaring på massetiltrækningen blev også søgt i teologien. I en brevveksling med præsten og filologen Richard Bentley skitseres nogle overvejelser omkring en fy-

sisk kosmologi. Bentley lovpriste tyngdekraften, som den primære ordnende kraft og spurgte Newton, om ikke det krævede en guddommelig intelligens, at indrette et univers med stjerner og planeter, som havde så ordnede bevægelser? Newton afviste ikke dette. Bentley brugte argumentet om tyngdekraftens guddommelige oprindelse imod ateisterne, som han mente aldrig ville få succes med at modbevise Guds eksistens. Det var en tid hvor filosoffer også diskuterede gudsbeviser. Newtons interesse for teologien var i øvrigt langt bredere, idet han fx var meget optaget af Johannes Åbenbaring, som han mente kunne være en sand forudsigelse af fremtiden. Newton fandt ikke tilfredsstillende forklaringer på massetiltrækningen i hverken alkymien eller teologien. I bogen konkluderes det ligefrem, at formålet med Newtons naturvidenskabelige studier ikke var at forstå Universets struktur i sig selv, eller fremme en teknisk udvikling, men at påvise, at Universet var skabt af en alvidende guddom.

Bogen anbefales til læsere med interesse i videnskabs-historie og selvfølgelig Newton som person. Fysikken fylder ikke så meget, men det er også et af bogens formål, at tegne et mere nuanceret og repræsentativt billede af Newton, der var et meget sammensat menneske. Det er en stor kvalitet ved bogen, at forfatteren forklarer vigtige strømninger i tiden, væsentlige personer og de vigtigste videnskabelige verdens-billeder (som får 25 sider i et appendiks). Alt sammen noget der prægede Newtons liv og arbejde. Læs også forfatterens artikel, der bygger på bogen, i dette nummer af KVANT.

Michael Cramer Andersen



Solformørkelses-junkies – se her!

Af: Kate Russo, "Total Addiction – The Life of an Eclipse Chaser", Springer 2012, 193 sider, ca. 200 kr.
www.springer.com/astronomy/book/978-3-642-30480-4.

At se en total solformørkelse kan gøre så stort et indtryk, at det forandrer ens liv. Mange af de heldige, der oplever det særegne naturfænomen, er bagefter villige til at rejse til klodens mest eksotiske steder – ofte til høje priser – for at opleve fænomenet igen og igen og igen... Disse *solformørkel-sesjægere* udvikler et rent afhængighedsforhold. Denne bog sammenfatter mange aspekter af de fysiske, psykologiske og sociale forhold der ledsager totale solformørkelser.

Forfatteren har selv oplevet syv af slagsen og har som klinisk psykolog indsamlet og analyseret et stort antal beretninger fra andre øjenvidner. I dag er det nemt at planlægge sin ferie efter hvor Månens kerneskygge når helt ned til jordoverfladen. Det kan forudsiges præcist hvor og hvornår. Kun vejret er usikkert og kan ødelægge oplevelsen. Der udvikles et særligt fællesskab mellem rejsende, der har samme interesse og dette gælder om nogen for solformørkelsesjægerne. Alle har noget at fortælle og hjælper gerne nybegyndere med at forberede sig på hvad man skal lægge mærke til.

Flere eksperter stiller deres viden til rådighed for resten af *eclipse*-samfundet. Fred Espenak fra NASA, der kaldes *Mr. Eclipse*, har beregnet mange af de kort der viser præcis hvor og hvornår de kommende års totale solformørkelser kan iagttages. Han har også taget imponerende billeder af Solens korona, der efterligner det indtryk man får med det blotte øje, idet han kombinerer billeder med forskellig eksponeringstid. En anden passioneret jæger er franskmænden Xavier Jubier, der har udviklet formørkelseskort til Google Maps.

Bogen beskriver både de fysiske og følelsesmæssige reaktioner af iagttagerne og forklarer hvorfor oplevelsen føles så intens. Uddrag af interviews giver en mere detaljeret forståelse af, hvorfor oplevelsen af totalitet har så stor betydning for dem der oplever det. Der kan være meget forskelligt fokus på begivenheden afhængig af personens baggrund: Det astronomiske, biologiske, meteorologiske eller psykologiske. Fænomenet overskrider det hverdagsagtige og man oplever typisk en ærefrygtindgydende forbindelse med naturen, særligt med Solen og Månen, der står præcis på linje med Jorden. Enkelte oplever det som religiøst.

Hvis man i forvejen er interesseret i fænomenet og nysgerrig efter at få at vide, om andre oplever det på samme måde som én selv, så er denne bog et rigtig godt sted at starte. Denne anmelder har oplevet totalitet fire gange (senest beskrevet i KVANT nr. 3, 2009). Den næste totale solformørkelse på vore breddegrader er på Færøerne den 20. marts 2015. Rejser dertil er under forberedelse.

Michael Cramer Andersen

Roman om Marie Curie

Af: *Stig Dalager*, "Det blå lys – En roman om Marie Curie", Lindhardt og Ringhof 2012, 663 sider, 349,95 kr. www.lindhardtogringhof.dk.

Det er blevet populært at skrive romaner om videnskabsmænd og andre historiske personer. Det er der mange eksempler på, men jeg vil især fremhæve Daniel Kehlmanns *Opmålingen af Verden*, der kom på dansk i 2007 og er en fantastisk fortælling om Alexander von Humboldt og Carl Friedrich Gauss, og Sissel-Jo Gazans krimi *Dinosaurens fjer* fra 2008. Jeg hilser denne nye trend, hvor fiktion og historiske fakta blandes, meget velkommen, når det er spændende læsning og bøgerne fremstår lødige både i portrætterne af de historiske personer og i beskrivelsen af de videnskabelige resultater. Den alsidige danske forfatter Stig Dalager har skrevet flere dokumentarromaner og nu altså også én om Marie Curie. Bogen opfylder til fulde ovennævnte kriterier og den kan varmt anbefales.

Marie Salomea Skłodowska Curie (1867-1934) har altid fascineret og der findes bunkevis af biografier om hende. Hun står som et ikon på mønsterbryderen i et traditionelt mandsdomineret univers og hendes liv og levned synes næsten legendarisk og er gjort af stof, der er skabt til romaner, film og teater. Forrige år, i anledning af 100-året for Marie Curies nobelpris i kemi og det internationale kemiår, havde man således i København mulighed for at opleve den medrivende og intense monolog opført af den amerikanske skuespiller

Susan Frontczak om Madame Curie, hendes liv, tanker og videnskabelige bedrifter anno 1911.

På trods af at hun som kvinde stødte på flere forhindringer end mandlige kolleger på sin vej til succes, endte Marie Curie med at opnå stor anerkendelse og berømmelse på grund af sine spektakulære opdagelser i forbindelse med radioaktiviteten. Hun var den første kvinde, der modtog Nobelprisen og den første overhovedet, der modtog to Nobelpriser, i 1903 i fysik for opdagelsen og udforskningen af radioaktiviteten sammen med Pierre Curie og Henri Becquerel, og i 1911 i kemi for opdagelsen af radium og polonium. I Pierre fandt hun sit livs kærlighed, men oplevede også den store sorg at miste ham allerede i 1906, da han på tragisk vis, på vej til sin forlægger, gled på den glatte vejbelægning og blev kørt over af en tung hestevogn. Marie overtog herefter Pierres professorat ved Sorbonne og blev dermed den første kvindelige professor der.

Dalager nævner en håndfuld biografier, som han har ladet sig inspirere af i arbejdet med sin roman, og bogen er formet som en omfattende biografisk skildring, der fremtræder tro mod historiske fakta. Fiktionen bruges til at binde fortællingen sammen; det er når kilderne, som biografierne bygger på, er tavse, at Dalager fylder hullerne ud. Det sker åbenlyst i skildringen af Maries tanker og følelser f.eks. i forbindelse med kærligheden til moderen, Pierre, Paul Langevin, børnene og radioaktiviteten og naturligvis i dialogerne personerne imellem. Det fungerer godt. Det er også i den henseende, at bogen især udmærker sig, nemlig i den harmoni hvormed alle aspekter af Maries liv inddrages og bindes sammen, lige fra beskrivelsen af det videnskabelige arbejde og resultaterne til skildringerne af kvinden Marie, og hvordan hun og kredsen omkring hende og Pierre blev berørt af de politiske strømninger i både Frankrig og Polen i den begivenhedsrige tid i slutningen af 1800-tallet og starten af 1900-tallet. En roman er for mig at se ikke det oplagte sted at gå meget i dybden med det videnskabelige arbejde, og det er jo heller ikke Dalagers styrke som litterær forfatter. Vi får til gengæld blandt meget andet et rigtig godt indblik i Marie som forsker, hvordan hun var drevet og draget og konstant optaget af sine eksperimentelle udforskninger af radioaktiviteten og isoleringen af de to grundstoffer, som hun navngav polonium og radium. Det var et hårdt og langsommeligt slid, der byggede på en stor ihærdighed, stædighed og vedholdenhed, og som blev beriget af det meget nære arbejdsfællesskab med Pierre.

Man kunne næsten forledes til at tro, at den amerikanske sociolog Robert K. Merton har skelet til Marie og Pierre Curie som arketypiske videnskabsmænd, da han formulerede sine normer eller idealer for videnskabelig praksis i 1942. Begge fremstod fuldstændig opslugte af deres forskning, komplet uselviske og beskedne. De arbejdede ikke for egen vindings skyld men alene for videnskaben. De anså hinanden som ligemænd uagtet deres forskellige køn. De drøftede angiveligt mulighederne for at tage patent på fremstillingen af radium, men på trods af deres velkendte kummerlige kår både privat og laboratoriemæssigt, kunne de ikke få sig selv til at kommercialisere deres fund. Deres viden skulle gives kvit og frit til videnskaben og mulighederne for anvendelse i helbredelsen af kræft skulle komme de syge til gavn.

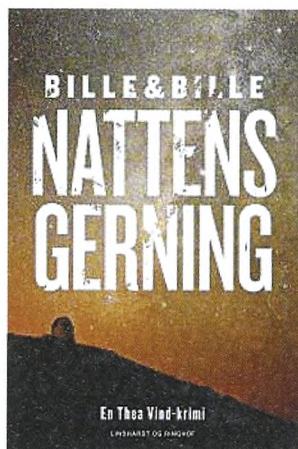
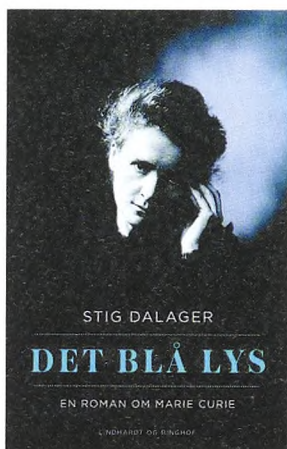
De to blev i mange år betragtet som outsiders i det ekstremt konservative og samtidigt splittede parisiske videnskabelige samfund. Anerkendelsen af Marie og Pierres arbejde kom således først fra udlandet. Pierre var meget lidt tilbøjelig til at bøje sig i støvet for det tunge hierarki i Det franske videnskabernes Akademi og blev først sent medlem. Endnu mindre var det patriarkalske videnskabelige parnas parat til at modtage og acceptere en kvindelig forsker

iblandt dem. I 1903 nominerede Det franske videnskabernes Akademi Henri Becquerel og Pierre Curie til Nobelprisen i fysik for opdagelsen og udforskningen af radioaktivitet, men ikke Marie. Først gennem Pierres henvendelse til den svenske matematiker Magnus Gösta Mittag-Leffler, blev Marie tilføjet i udnævnelsen. Men hun opnåede aldrig medlemskab af Det franske videnskabernes Akademi.

Marie var sky af natur og ønskede ikke berømmelsen og al virakken omkring sin person. Albert Einstein skal have sagt om hende: "Af alle berømte mennesker, er Madame Curie den eneste, som berømmelsen ikke har ødelagt." Hun var af den overbevisning, at i videnskaben er det kun de videnskabelige resultater, der har betydning, ikke personen bag. Hun var meget imod, at man sammenblandede personen og den videnskabelige idé som vedkommende repræsenterer, sådan som det kom til udtryk i den store interesse for hendes person. Ikke mindst gjaldt det, da berømmelsens grimme bagside brød ud i lys lue i form af en smædekampagne mod hende i 1911, da det blev offentligt kendt, at hun havde en affære med en gift kollega og nær ven, Paul Langevin. I hvad der lignede et hævn tog offentliggjorde Langevins skrupelløse hustru, Jeanne, deres kærlighedsbreve i den kulørte skandalehungrende presse. Skæbnen ville, at netop da skandalen var på sit højeste, modtog Marie besked om, at hun var blevet tildelt sin anden Nobelpris. Marie fastholdt da ovennævnte overbevisning. Med opbakning fra venner og kolleger tog hun til Stockholm for at modtage prisen, selvom den navnkundige svenske kemiker Svante August Arrhenius, på vegne af Det svenske videnskabernes Akademi, direkte bad hende blive væk og endda opfordrede hende til at frasige sig prisen, da nyheden om skandalens omfang nåede til Sverige. Den episode viser med al tydelighed, hvad Marie var oppe imod, når hun insisterede på, at det kun er opdagelsen, der har betydning, ikke opdageren.

Romanen tilføjer ikke nogen ny videnskabshistorisk viden; der er ikke nogen overraskelser, og det kan man heller ikke forvente. Til gengæld kan man frygte, at myter, der ellers forsøges manet i jorden af professionelle videnskabshistorikere, ukritisk bliver videreført. Min vurdering er, at det ikke sker nævneværdigt i Dalagers bog. En anke er derimod, at portrættet af Marie kan synes endimensionelt og tenderende til det hagiografiske. Havde hun ingen mørke sider? Var hun bare helt igennem en engel og en sympatisk heltinde? Uagtet disse spørgsmål har romanen, for mig at se, fuld berettigelse som et velskrevet litterært værk, der vil åbne øjnene for en spændende historie hos et publikum, som måske ikke normalt læser bøger om videnskabsmænd og -kvinder.

Anja Skaar Jacobsen



Mord på observatoriet

Af: *Lisbeth A. Bille og Steen Bille*, "Nattens gerning – En Thea Vind krimi", Lindhardt og Ringhof 2013, 320 sider, 299,99 kr. Læs første kapitel på www.billebille.dk.

En krimihistorie i et videnskabeligt miljø! Det kan sikkert interessere nogle af dette blads læsere. Historien er ren fiktion, men handlingen foregår bl.a. på det Nordiske Optiske Teleskop (NOT) på La Palma og mange af de centrale personer er astrofysikere. Én dansk astrofysiker fra Niels Bohr Institutet, som var med til at demonstrere forbindelsen mellem gammaglimt og supernovaeeksplosioner, myrdes i starten af bogen. Hovedpersonen Thea Vind er en dansk videnskabsjournalist, som kaldes til øen af sin gamle veninde Charlotte, der er direktør for NOT'en. Thea skal skrive om fusk med videnskabelige data, men hvirvles også ind i efterforskningen af mordet, som det spanske politi ikke vil efterforske, da det det lignede en ulykke. Da endnu en astrofysiker mister livet frygter Charlotte, at hun vil blive det næste offer. Mere skal ikke afsløres her. Udover den medrivende krimifortælling forklares mange begreber indenfor astronomien glimrende og miljøet bliver beskrevet så detaljeret, at man tror man er ved teleskoperne på de kanariske øer. Der har da også været flere astrofysikere og astronomer med som konsulenter på bogen. Det er sjovt at høre om fx kurser for sommerskolestuderende og hvordan NOT'en følger op og observerer eftergløden af de gammaglimt, der opdages med satellitter, og sender observationerne videre til VLT (der kaldes "Verdens Lækreste Teleskop") i Chile, som tager over. Den observerende astronomi er international og holder konstant et vågent øje med Universet. Nattens gerning er en fin fortælling, der blander en god krimihistorie med masser af referencer til astronomien og forskningsmiljøet.

Michael Cramer Andersen

PFEIFFER VACUUM

Totalleverandør

Mød den stærkeste leverandør af kvalitets vacuumkomponenter fra markedets førende producenter på Nordic Physics Days i Lund 12. – 14. juni 2013

PFEIFFER-adixen-TRINOS

samt vore partnere

VAT-COMVAT-GAMMA-HSR

Tlf. 4352 3800 Fax 4352 3850

Erik.Fieldgaard@pfeiffer-vacuum.dk

www.pfeiffer-vacuum.com

Newtons verden

Af Carl Henrik Koch

Isaac Newton er berømt for sine bidrag til fysik og matematik, men naturvidenskaben fyldte kun en mindre del af Newtons tid. Han var et rigt facetteret menneske og hans interesser omfattede især alkymi og teologi. Hans mange aktiviteter – herunder fysikken – må ses som bidrag til at begrunde det religiøse verdensbillede, som han delte med sine samtidige.

Enhver, der har stiftet blot et overfladisk bekendtskab med fysik, kender Newtons navn. Det var jo ham med tyngdekraften. Mange ved også, at en af den nyere fysiks hovedværker *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Naturfilosofiens, dvs. fysikkens, matematiske principper), ofte kun kaldt *Principia*, som udkom i 1687, er skrevet af Newton. Nogle husker, at Newton beviste, at det hvide dagslys var sammensat af forskelligfarvet lys, og at de såkaldte newtonringe, dvs. koncentriske mønstre af farvede ringe, der typisk kan iagttages, når en plan og en sfærisk glasflade kommer i tæt kontakt, er opkaldt efter ham. Enkelte særligt interesserede i matematikkens historie er også vidende om, at differential- og integralregningen blev opfundet af Newton. Det er ikke for meget sagt, at det, som Newton i dag huskes for, på afgørende måde ændrede tidligere tiders opfattelse af den virkelighed, vi er en del af, og satte skub i den videnskabeliggørelse af tilværelsen, som på godt og ondt kom til at præge det 21. århundredes mennesker. Men ikke mange ved, at beskæftigelsen med fysik og matematik kun udfyldte en mindre del af Newtons tid og slet ikke angik hans væsentligste anliggende. Han var ikke kun en naturvidenskabelig og matematisk nørd, men et rigt facetteret menneske, og hans mange aktiviteter må ses som bidrag til at begrunde det religiøse verdensbillede, som han delte med sine samtidige. Både i den fysiske verden og i menneskeheds historie kan vi, mente Newton, finde guddommens spor og konstatere, at vi – som forudsagt i *Johannes' Åbenbaring* fra *Det ny Testamente* – nærmer os historiens endemål: Kristi genkomst, tusindårsriget, dommedag, verdens undergang og fremkomsten af en ny, fuldkommen jord og en ny himmel.

Newtons opvækst

Ifølge den julianske kalender blev Isaac Newton født 25. december 1642 i landsbyen Woolsthorpe, som ligger cirka 40 km øst for Nottingham. England havde som andre protestantiske lande endnu ikke gennemført den kalenderreform, som i den katolske verden med indførelsen af den gregorianske kalender blev gennemført i 1582. Det skete først i 1752. Ifølge den nugældende gregorianske kalender blev Newton født den 4. januar 1643. Allerede før det noget svagelige barn kom til verden, var hans far død.

Den familie, som Newton blev født ind i, var bønder, der især ved fåreavl havde opnået en vis velstand, og igennem et par generationer havde slægten ejet lands-

byens herresæde, et lille stenhus på to stokværk med tre vinduer i hver. Det ligger der endnu og er indrettet som mindestuer.

Som barn gik Newton i et par af de nærliggende landsbyskoler og vogtede i fritiden får på marken. Han var ferm til at skære i træ og konstruerede fx små vand- og vindmøller, og demonstrerede allerede som dreng på denne måde sine evner som en yderst habil instrumentbygger, men var næppe meget bevendt som fårehyrde, idet han ofte glemte sin hjord, ikke mindst når han sad under et træ og læste. Ringe forberedt kom han i den nærliggende by Granthams latinskole, hvor han i begyndelsen klarede sig dårligt som en doven og ret uvidende elev. Men ydre begivenheder medførte, at et slumrende konkurrenceinstinkt blev vakt til live og snart var han den bedste i skolen. Her lærte han latin, noget græsk og lidt hebraisk. Indoktrinering i kristendommen var sammen med indtæring i latin den væsentligste opgave for den tids skoler, og han har næppe i matematik lært andet og mere end de elementære regningsarter.

Studietiden

Ved en morbroders mellemkomst blev den 17-årige Isaac i 1661 optaget på universitetet i Cambridge og indskrevet på det sidenhen så berømte Trinity-kollegium. De første år gik med elementære studier, men på et tidspunkt købte han en bog om astrologi. Han kunne imidlertid ikke forstå den og anskaffede sig den klassiske lærebog i geometri, Euklids *Elementer*. Herefter fortsatte han med et af tidens mest originale matematiske arbejder, den franske filosof René Descartes' *Geometri*. Og herefter gik det forbløffende hurtigt. I løbet af kort tid nåede han op på det niveau, der kendetegnede tidens bedste matematikere.

I 1665 udbrød der pest i England og universitetet lukkede. Newton rejste hjem til sin mor i Woolsthorpe og opholdt sig der det meste af det næste år. Og nu skete der noget. Man taler om, at året var Newtons *annus mirabilis*, det strålende år. Mange år efter berettede han selv om, hvad han havde foretaget sig [1], s. 111-12:

I begyndelsen af året 1665 fandt jeg metoden til rækkeudvikling og reglen for at reducere et binomial [dvs. udtryk af formen $(a + b)^n$] til en sådan serie... og i november havde jeg den direkte fluxionsregning [dvs. differentialregning], det næste år i januar opstillede jeg

teorien for farver, og den følgende maj måned var jeg trængt ind i den inverse fluxionsregning [dvs. integralregningen]. Og samme år begyndte jeg at tænke på tyngden som noget, der strakte sig til Månens bane, og jeg udledte... ud fra Keplers lov om, hvordan planeternes omløbstider forholder sig til deres afstande fra centrene [Keplers 3. lov], at den kraft, som holdt planeterne i deres baner, må være omvendt proportional med kvadratet på afstandene til det center, de drejer sig om, og derefter sammenlignede jeg den kraft, der kræves til at holde Månen i dens bane, med tyngdekraften på Jordens overflade og fandt, at de næsten svarer til hinanden. Alt dette skete i de to pestår 1665-1666. For dengang var jeg på mit livs højdepunkt [Newton var da 23!] med hensyn til at gøre opdagelser og tænkte mere over matematik og filosofi [dvs. fysik] end nogen sinde siden.

Det er en imponerende liste over opdagelser og opfindelser, som Newton her beskriver, skønt han måske har pyntet lidt på den. Kun en har gjort ham kunsten efter, nemlig Einstein, der i næsten samme alder i 1905 udgav tre epokegørende artikler, hvori han dels teoretisk og eksperimentelt begrundede en partikelteori for lys, dels argumenterede overbevisende for eksistensen af atomer og endelig formulerede den specielle relativitetsteori. Men Einstein publicerede sine resultater, hvorimod Newton aldrig redegjorde i detaljer for sin opfindelse af de to nye regningsarter, og hans lære om tyngdekraften blev først publiceret mere end 20 år senere. Matematikken vendte han aldrig tilbage til undtagen i form af ofte gentagne forelæsningsrækker over elementær aritmetik, fysikken beskæftigede han sig kortvarigt med i en periode frem til arbejdet på *Principia*, som blev til i løbet af 15 måneder henover midten af 1680'erne, og nok fik han trykt en serie af artikler om lyset i begyndelsen af 1670'erne, men en samlet redegørelse for hans optiske teorier udkom først i 1704 i hans engelsksprogede *Optik* næsten 40 år efter, at han havde udført de eksperimenter, de byggede på.

Professorat som 26-årig

Efter pestårene vendte Newton tilbage til Cambridge og blev i 1668 kandidat. Allerede året efter blev han udnævnt til professor med pligt til at varetage fag som geometri, astronomi, geografi, statik og andre matematiske discipliner. Det var også på dette tidspunkt, at han opfandt og konstruerede det spejlteleskop, der senere gjorde ham til medlem af det engelske videnskabselskab *Royal Society*. Som medlem publicerede han en række artikler om lys og farver, men polemik i forbindelse med hans fremlæggelse af sine teorier medførte, at han fra midten af 1670 og igennem de næste mange år afholdt sig fra at publicere.

Med sin argumentation for det hvide dagslys' sammensatte karakter gendrev Newton samtidens opfattelse af, at det farvespektrum, der kunne iagttages, når en

stråle dagslys blev brudt igennem en linse, udelukkende skyldes linsen. Newton havde et afgørende eksperiment, som han mente afgjorde sagen til hans fordel. Han havde anbragt en skærm bag ved en prisme og tæt ved et vindue, hvor sollyset vældede ind. Det brudte dagslys lod han passere igennem et lille hul i skærmen således at et spektrum kunne iagttages på en anden skærm, som var placeret ca. 3,6 meter bag den første. Hvor en af spektrets farver faldt på skærmen skar han et lille hul og lod den stråle af farvet lys, der passerede gennem hullet brydes af en anden linse. På væggen bagved kunne han iagttage, at farven ikke ændrede sig ved at blive brudt. Det kan altså ikke være linsen, som er den afgørende årsag til farvespektret. Newton kunne også vise, at brydningsvinklerne var forskellige for hver af spektrets forskellige farver.

Differentialregning

I sine matematiske overvejelser fra 1660'erne opfattede Newton i lighed med oldtidens store matematikere Archimedes kurver i planer som frembragt af punkters bevægelse henover planet. I en latinsk afhandling om sin fluxionsregning (hvad Leibniz og eftertiden kaldte differentialer kaldte Newton for fluxioner), som først blev offentliggjort i 1745, da udviklingen inden for matematikken var kommet et kæmpeskridt videre, end Newton var nået til i 1660'erne, indledte han med ordene [1], s. 165:

Jeg betragter her matematiske størrelser ikke som bestående af meget små dele, men som frembragt ved en kontinuert bevægelse. Linjer er derfor fremkommet ikke ved at lægge dele efter hinanden, men ved punkters kontinuerlige bevægelse, planer ved linjers bevægelse, legemer ved planers bevægelse, vinkler ved drejning af sider, tidsafsnit ved en flyden [*flux*] og tilsvarende for andre størrelses vedkommende. Disse frembringelser forekommer faktisk i naturen og ses dagligt, når legemer bevæger sig.

Hvis fx en kastebevægelse aftegnes i et koordinatsystem, hvor tiden (t) afsættes ud ad x -aksen og stedet (s), hvor den kastede genstand befinder sig på et givet tidspunkt, på y -aksen, har et givent punkt på den aftegnede kurve koordinaterne (t_n, s_n) , og differentialkvotienten ds/dt vil da være genstandens hastighed i punktet. Dette viser umiddelbart, hvor anvendelig differentialregningen er i forbindelse med fysikken [1] (s. 163-68). Newton brugte selv de nye regningsarter ved beviser for adskillige læresætninger i *Principia*, men omskrev alle de beviser, hvori det var sket, til geometriske beviser ud fra den overbevisning, at den geometriske bevisførelse, som den fandtes i Euklids *Elementer*, var den mest fuldkomne matematiske metode.

Newton, Halley og Principia

I 1684 blev det diskuteret blandt nogle af Londons lærde – heriblandt astronomen Edmund Halley – hvordan et legeme bevæger sig omkring et centrallegeme, hvis det

er tiltrukket af en kraft, der er omvendt proportional med kvadratet på afstanden mellem dem. Ingen af dem kunne give et tilfredsstillende svar. Halley havde hørt, at der i Cambridge levede en begavet yngre matematiker ved navn Isaac Newton og tog derfor dertil og stillede spørgsmålet til ham. Umiddelbart svarede Newton, at legemet ville bevæge sig i en ellipse. Hvor vidste han det fra, ville Halley vide. Det havde han beregnet. Om Halley måtte se beregningerne? Ja, hvis han kunne finde dem, ville han sende dem til ham. Men Newton kunne ikke finde sine beregninger og foretog derfor nye beregninger, der efter lidt indledende vanskeligheder gav det ønskede resultat, og sendte dem til Halley, som forelagde dem i Royal Society, hvilket medførte et ønske om at få publiceret beregningerne. Det var begyndelsen til *Principia*.

I et udkast til et forord til *Principia* beskrev Newton bogens indhold på følgende måde [1], s. 336:

I de to første bøger behandler jeg kræfter i almindelighed under forudsætning af, at de tenderer imod et centrum, uanset om det [dvs. centret] ikke er i bevægelse eller er i bevægelse. Jeg kalder dem helt generelt centripetale [dvs. midtpunktsøgende] kræfter og spørger ikke efter kræfternes årsag eller art, men betragter kun deres størrelser, retninger og virkninger. I den tredje bog begynder jeg at beskæftige mig med tiltrækningskraften som den kraft, som holder himmellegemerne i deres baner. Jeg finder ud af, at de kræfter, ved hvilke planeterne holdes i deres baner, aftager med kvadrater på afstande, når de fjerner sig fra de planeter, mod hvis centre disse kræfter tenderer, og at den kraft, hvormed Månen er holdt i sin bane omkring Jorden er lig med vores tyngde [...].

Fysikkens nye grundlag

Principia er bygget systematisk op og hele værket hviler på tre grundsætninger: Den første er Inertiprincippet, i den anden siges det, at en bevægelsesændring er proportional med den påtrykte kraft og finder sted langs den lige linje, ad hvilken kraften er påtrykt, og den tredje, at to legemers påvirkning på hinanden altid er lige store og modsatrettede. Ud fra disse enkle lovmæssigheder lykkedes det Newton at udlede de keplerske love for planetbevægelserne. Disse love, som tidligere kun havde status som erfaringslove, fik på denne måde en rationel begrundelse.

I *Principia* er matematik og fysik knyttet tæt sammen. Descartes havde drømt om at formulere en matematisk fysik, men det lykkedes ham ikke at virkeliggøre drømmen. Det lykkedes for Newton.

I *Principia* afviste Newton at beskæftige sig med tiltrækningskraftens årsag, dvs. hvilken fysisk realitet, der ligger til grund. Han kalder den her for en matematisk kraft, dvs. en matematisk fiktion, der har den funktion at sammenknytte iagttagede fysiske fænomener som fx tidevandet og Solens, Månens og Jordens placering i forhold til hinanden. Men siden sin pure ungdom

havde han forsøgt at give en mekanisk forklaring på tiltrækningskraften, dvs. forklare den som en virkning af materiepartiklers pres på eller stød til hinanden. At tænke sig tiltrækning som en fjernvirkning var for Newton uden mening. Imidlertid lykkedes det ham aldrig at forklare tiltrækningen mekanisk, så undertiden nærede han den opfattelse, at den skyldes guddommens direkte indgriben i den fysiske verden.

Aktive kræfter og alkymi

Mekaniske kræfter som pres og stød opstår ikke af sig selv. En materiepartikels pres på en anden skyldes, at den selv har været genstand for et pres. Mekaniske kræfter er derfor passive kræfter. En anden type kræfter, nemlig aktive kræfter, dvs. kræfter, som er aktive uden at være aktiveret af noget udefrakommende, fandt Newton i alkymien, og fra midten af 1670'erne brugte han megen af sin tid til at beskæftige sig intenst med alkymi, og han fortsatte dermed, både mens han arbejdede på *Principia*, og efter at værket var udkommet. Ved sin død efterlod han sig alkymistiske manuskripter på mere end 1 million ord. Det var ikke Newtons formål at omdanne uædle metaller til guld, men at finde ud af om alkymiens aktive kræfter kunne forklare tiltrækningskraften. Men heller ikke her fandt han en tilfredsstillende forklaring. I midten af 1670'erne havde han også forsøgt ud fra alkymien at redegøre for lyset. Om "Newtons alkymi", se [1].

Kosmologi og teologi

Newtons verdenssystem i *Principia* er ikke et selvkørende system. Hvis massetiltrækningskraften er den dominerende fysiske kraft, kunne han ikke ud fra sin fysik forklare, hvorfor ikke alle himmellegemerne samlede sig i en klump. Og systemet havde også brug for, at der til stadighed blev tilført kraft. Dette viser, skrev Newton i *Principia*, at guddommen også er et emne for fysikken, fordi det må være Gud, der fastholder himmellegemerne i deres indbyrdes positioner, og som opretholder systemet. På denne måde kom den newtonske fysik til at begrunde det religiøse verdensbillede, der var Newtons.

I gennem hele sit liv beskæftigede Newton sig intenst med religiøse, kirkehistoriske og teologiske overvejelser og studier. Han er blevet beskrevet som en af de mest bibelkyndige i det 17. århundredes England. Der er grund til at formode, at han brugte langt det meste af sin tid på overvejelser af denne art. Hans anliggende var her at finde frem til menneskehedens oprindelige kristendom og at fjerne senere tilføjelser, hvor især treenighedslæren var genstand for hans kritik. Han mente at kunne dokumentere, at der ligefrem var tale om bibelforfalskning. Om "Newtons teologi", se [1].

Kongelig møntmester

I 27 år virkede Newton som professor i Cambridge. I 1696 blev han udnævnt til inspektør på Den kongelige Mønt i London og forlod hurtigt universitetet uden at se sig tilbage. Han kom som inspektør til at stå for den møntreform, der med det formål at forhindre falskmønt-

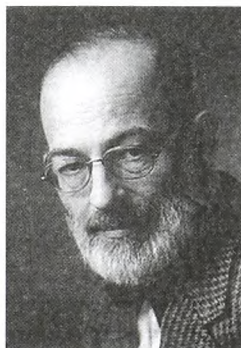
neri fandt sted henover midten af 1690'erne i England. I 1700 blev han leder af Mønten, en stilling han bevarede indtil sin død i 1727. Det var en yderst vellønnet stilling, som bragte Newton op i den økonomiske overklasse. Om "Newton og Mønten", se [1]. Som nationens største videnskabsmand blev han adlet i 1705. Bondedrengen fra Woolsthorpe havde nået det engelske samfunds top.

En mere udtømmende redegørelse for Newtons liv, forudsætninger og virke er givet i min bog *Isaac Newton – Geniet og mennesket* [1]. En kortere version og en række Newton-tekster oversat til dansk findes i [2]. Newton er også behandlet i en tidligere artikel i Kvant [3].

Litteratur

- [1] Carl Henrik Koch, *Isaac Newton – Geniet og mennesket*. Lindhardt og Ringhof 2013.

- [2] Carl Henrik Koch, *Natur, videnskab og metafysik – Newton og filosofien*. Aarhus Universitetsforlag 2007.
- [3] Carl Henrik Koch (2007), *Fra Aristoteles til Newton – Træk af den naturvidenskabelige tænkemådes historie*, KVANT nr. 3, 2007.



Carl Henrik Koch (f. 1938) er filosofi- og videnskabs-historiker og var indtil 2007 docent i filosofi ved Københavns Universitet. Han har skrevet om bl.a. Bacon, Descartes og Niels Stensen, om europæisk filosofi i oplysningstiden og om dansk filosofi fra 1530 til 1950. I februar i år udgav han en stor Newton-biografi [1].

Rekyl – breddeopgave 54 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 en ny opgave. Opgaven i sidste nummer af KVANT var denne breddeopgave (nr. 54 i rækken her i KVANT):

Breddeopgave 54. Rekyl

Rekylvirkningen på de anslåede atomer i en lysende gas ved lysudsendelse medfører en svag afvigelse af frekvensen af det udsendte lys i forhold til den frekvens, der svarer til forskellen mellem atomernes hvileenergi før og efter lysudsendelse. Hvor stor en afvigelse er der tale om? Begrund svaret.

Løsning

Vi kalder forskellen mellem atomernes hvileenergi før og efter lysudsendelse for ΔE og deres hvilemasse i grundtilstanden M . For et atom i hvile før lysudsendelse vil atomets hastighed v efter lysudsendelse på grund af impulsbevarelsen under lysudsendelse være givet ved $Mv = h\nu/c$, hvis vi regner urelativistisk. Her er h Plancks konstant, ν frekvensen af det udsendte lys og c lyshastigheden. Da afvigelsen af ν fra $\nu_0 = \Delta E/h$ er svag gælder $Mv \approx \Delta E/c$. Størrelsen af

den kinetiske energi af det rekylende atom er derfor tilnærmelsesvis:

$$R = \frac{1}{2}Mv^2 \approx \frac{\Delta E^2}{2Mc^2}. \quad (1)$$

For frekvensafvigelsen har vi tilsvarende:

$$\nu_0 - \nu = \frac{R}{h} \approx \frac{\Delta E^2}{2Mhc^2}. \quad (2)$$

Kommentar

Min far, Henning Højgaard Jensen, holdt i perioden 1952-1960 første års forelæsningerne i fysik på Polyteknisk Læreanstalt (nuværende DTU). Da der var ca. 500 tilhørere per årgang, har omkring 4000 studerende hørt disse forelæsninger. Det store antal gør, at jeg har haft fornøjelsen af tilfældigt at træffe enkelte af dem ind imellem. Jeg får så typisk fortalt to anekdoter fra min fars forelæsninger. Den ene er en typisk professor anekdote: Det hændte, når min far stak sin tændte pibe i jakkelommen for at begynde forelæsningen, at der gik ild i lommen. Denne anekdote har ikke noget med breddeopgaven her at gøre. Men det har den anden: Min

far skulle efter sigende have rådet til, at "tilnærmelser skal gøres på så sent et stadium som muligt". Og efter sigende have været uforstående overfor, at det skulle kunne opfattes morsomt af en forsamling unge studerende. Senere, når han blev mindet om sin tilnærmelses grundsætning, forstod han jo nok tvetydigheden i den. Ved løsningen af opgaven her er der gjort tilnærmelser på et tidligt stadium. Dels er der regnet urelativistisk, hvilket jo er en tilnærmelse, der kræver en begrundelse. Dels er impulsen af det udsendte lys som tilnærmelse sat til $\Delta E/c (= h\nu_0/c)$ i stedet for $h\nu/c$.

Lad os prøve at følge min fars anbefaling ved først at droppe impulstilnærmelsen, dernæst regne relativistisk. Og så gøre tilnærmelser slutteligt.

Urelativistisk uden tilnærmelser herudover har vi, at impulsbevarelsen $Mv = h\nu/c$ indsat i energibevarelsen $\Delta E = h\nu + \frac{1}{2}Mv^2$ giver:

$$\left(\frac{h\nu}{Mc^2}\right)^2 + \frac{2h\nu}{Mc^2} - \frac{2\Delta E}{Mc^2} = 0 \quad (3)$$

til bestemmelse af ν og afvigelsen af ν fra ν_0 . Med forkortelserne $y = h\nu/Mc^2$ og $x = \Delta E/Mc^2$ er løsningen til denne andengradslikning (idet kun denne rod giver fysisk mening):

$$y(x) = -1 + \sqrt{1 + 2x}. \quad (4)$$

Til bedømmelse af afvigelsen imellem y og x , som opgaven nu går ud på at finde, rækkeudvikles ligningen:

$$y(x) = x - \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{2}x^3 - \frac{5}{8}x^4 + \frac{7}{8}x^5 - \dots \quad (5)$$

Relativistisk har vi $Mv\gamma(v) = h\nu/c$ og $Mc^2 + \Delta E = h\nu + Mc^2\gamma(v)$ til erstatning af de klassiske udgaver af bevarelsessætningerne. $\gamma(v)$ er som sædvanlig en forkortelse for $1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$. Efter nogen regning fås heraf med de samme betydninger af y og x som i det klassiske tilfælde:

$$y(x) = \frac{x^2 + 2x}{2x + 2} \quad (6)$$

med rækkeudviklingen:

$$y(x) = x - \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{2}x^3 - \frac{1}{2}x^4 + \frac{1}{2}x^5 - \dots \quad (7)$$

At nøjes med at medtage det første led i rækkeudviklingerne (5) og (7) ses at svare til at se bort fra rekyl. At nøjes med at medtage de to første led i rækkeudviklingerne ses at svare til den tilnærmelsesvis bestemmelse af rekyl i ligning (1). Det ses også, at en forbedret rekylbestemmelse, svarende til at medtage det tredje led i rækkeudviklingerne, giver samme resultat relativistisk og urelativistisk. Først hvis vi medtager det fjerde led i rækkeudviklingerne er der forskel imellem at regne relativistisk og urelativistisk. Den tilnærmelse, der lå i

at sætte impulsen af det udsendte lyskvant til at være $h\nu_0/c$, er altså større end den, der ligger i at regne urelativistisk frem for relativistisk.

Nu må stadiet, hvor vi kan overskue berettigelsen af varierende grad af tilnærmelser, være nået.

Da hvileenergien af en nukleon er ca. 1000 MeV, ligger Mc^2 for et atom med fra 1 til 100 gange massen af en nukleon i størrelsesordens intervallet 10^9 eV til 10^{11} eV. Den typiske energi for et lyskvant og værdien af ΔE er af størrelsesordenen 1 eV. Derfor er $x = \Delta E/Mc^2$ et tal i størrelsesordensintervallet $10^{-9} - 10^{-11}$. Rekylenergien R er altså størrelsesordensmæssigt 10^{-9} til 10^{-11} gange ΔE . Tilsvarende er den relative tilnærmelsesfejl i udtrykkene (1) og (2) af størrelsesordenen 10^{-9} til 10^{-11} . Medens forbedringerne af udtrykkene (1) og (2) ved at regne relativistisk frem for urelativistisk ses at ligge på et sted mellem 18ende og 22ende betydende ciffer.

Tilnærmelserne gjort i begyndelsen af opgavebe svarelsen oven for er altså i høj grad berettigede. Det vil de endda være ved emission af gammastråling i forbindelse med kerneovergange. Energien af den ofte benyttede anslåede tilstand af Fe-57 til Mössbauer-effekt studier er f.eks. 14,4 keV og x tilsvarende da et tal i størrelsesordensintervallet 10^{-5} til 10^{-7} . Altså stadig et meget lille tal.

Den trænede i fysisk problemløsning vil nok starte med at vurdere størrelsen af x og så i opgaven her med det samme foretage tilnærmelserne som gjort. Og ikke på et så sent stadium som muligt, som anbefalet af min far. Men for den utrænede tror jeg hans anbefaling er rigtig. Et resultat er ikke meget værd, hvis ikke usikkerheden på det kendes. Derfor er bevidste vurderinger af fejlene, der indføres ved idealiseringer og tilnærmelser vigtige. Og min fars anbefaling bidrager til, at vurderingsevnen af rimeligheden af tilnærmelser trænes.

På kurserne i fysisk problemløsning på RUC har jeg i sammenhæng med rekylopgaven også tematiseret rækkeudviklingerne ovenfor som eksempel på, hvordan den matematiske teknik "rækkeudvikling" tages i brug i fysik. I det hele taget er der behov for undertiden at adressere forskellige slags matematiske standardværktøjer. En ting er at være matematisk introduceret til udvikling af funktioner i en Taylorrække. En anden ting er at blive en rutineret anvender af rækkeudvikling.

Breddeopgave 55. Stigefald

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningen til denne opgave fra breddekurset på RUC (fra vintereksamen 2011, nr. 55 i rækken her i KVANT):

En person befinder sig i toppen af en næsten lodret stående stige. Stigen begynder at vælte. Slår personen sig mindst i faldet ved at holde fast i stigen under faldet, eller ved at give slip på stigen? Begrund svaret.

Løsning og kommentar bringes i næste nummer.

Saturn på sommerhimlen

Af Michael Quaade

Det er aldrig særlig rart at bringe dårlige nyheder, men i dette nummer af KVANT er der både en god og en dårlig nyhed for de læsere, der interesserer sig for at se planeter på nattehimlen.



Figur 1. Billedet er optaget af Cassini rumsonden 23. juli 2008 fra en afstand af lidt over én million kilometer. I disse år ses Saturn og ringene 'oppefra' i modsætning til billedet, hvor det er den sydvendte flade man kan se. Ringsystemet ses for tiden også i en mere åben vinkel, så det når næsten ud til planetskivens rand ved polerne. Nogle af Saturns måner er også med på billedet. Det er Titan nederst til venstre og en af de andre ses som en lille hvid prik foran planetskiven lige ved den venstre kant over ringene. Foto: Daiana DiNino, NASA/JPL/Space Science Institute.

Den gode nyhed er, at Saturn vil være på himlen i aften- og nattetimerne i starten af sommeren. Det betyder, at der trods alt er noget at se på i de lyse nætter, der gør det svært at se de mere eksotiske og lyssvage objekter. Det er især i maj og juni, der er gode muligheder for at se den – allerede i juli er den ved at gå ned når det bliver bare nogenlunde mørkt.

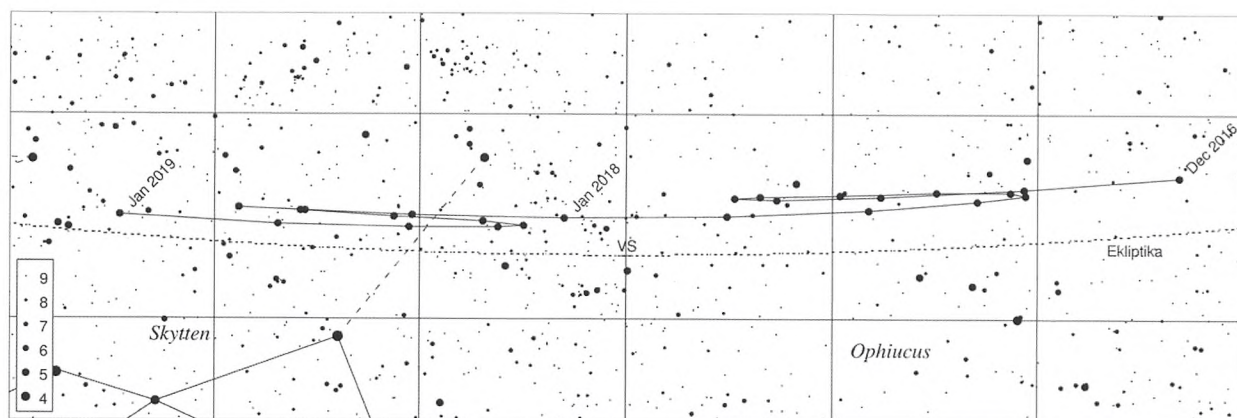
I sommermånederne ses Saturn klart lysende lavt på sydhimlen, nogenlunde under den klare stjerne *Arc-turus*. Stjernen *Spica* i stjernebilledet *Jomfruen* står et stykke til højre – vest for – Saturn, men er tydeligt svagere.

Den dårlige nyhed er, at Saturn nærmer sig det sydligste punkt i sin bane og derfor står lavere og lavere på himlen. Det bliver værre og værre i årene frem til engang i 2018, hvor den omsider begynder at komme lidt længere mod nord. I december 2017 passerer den tæt forbi det punkt, hvor Solen står ved vintersolhverv i december.

Solens position ved vintersolhverv er dér hvor Eklip-tika er sydligst. Saturn står en smule nordligere, men i disse år nærmer den sig Ekliptika. Derfor er det ikke i slutningen af 2017, men først i efteråret 2018 at den når det sydligste punkt i sin bane.

I hele 2018 står den nogenlunde lige så højt på himlen, som Solen i sidste halvdel af december. Derefter begynder den at bevæge sig nordpå i sin bane. Saturn er $29\frac{1}{2}$ år om et baneomløb, så den når det nordligste punkt i sin bane knap 15 år senere, omkring 2032.

Der er også andre planeter at se på himlen i disse måneder. Sidst i maj og i begyndelsen af juni kan man se de tre planeter Jupiter, Merkur og Venus på vesthimlen kort efter solnedgang. Venus er klart den mest lysstærke – når man har fået øje på den, kan man se efter de andre to i nærheden. Det er tydeligt, at de skifter position i forhold til hinanden fra aften til aften. De står kun et par grader fra hinanden i dagene 26-27. maj.



Figur 2. På kortet ses Saturns position på himlen med en måneds mellemrum i perioden fra december 2016 til januar 2019. De ejendommelige sløjfer på banen er en følge af Jordens banebevægelse om Solen. Retningen fra Jorden til Saturn ændrer sig nogle få grader frem og tilbage i årets løb, fordi Jorden flytter sig i sin bane. Kortet er vist i cylinderprojektion, så retningerne nord-syd og øst-vest fremstår henholdsvis lodret og vandret. Det er den måde, der bedst viser hvor langt mod syd eller nord en position er. Hvert kvadrat er fem grader på himlen. Kortet fylder $30^\circ \times 10^\circ$. Ekliptika er den buede, prikkede linje vandret hen over kortet. Solens position ved vintersolhverv er mærket VS lige under midten af kortet. Stjernekortet er fremstillet af Michael Quaade med XEphem programmet.

far skulle efter sigende have rådet til, at "tilnærmelser skal gøres på så sent et stadium som muligt". Og efter sigende have været uforstående overfor, at det skulle kunne opfattes morsomt af en forsamling unge studerende. Senere, når han blev mindet om sin tilnærmelsesgrundsætning, forstod han jo nok tvetydigheden i den. Ved løsningen af opgaven her er der gjort tilnærmelser på et tidligt stadium. Dels er der regnet urelativistisk, hvilket jo er en tilnærmelse, der kræver en begrundelse. Dels er impulsen af det udsendte lys som tilnærmelse sat til $\Delta E/c (= h\nu_0/c)$ i stedet for $h\nu/c$.

Lad os prøve at følge min fars anbefaling ved først at droppe impulstilnærmelsen, dernæst regne relativistisk. Og så gøre tilnærmelser slutteligt.

Urelativistisk uden tilnærmelser herudover har vi, at impulsbevarelsen $Mv = h\nu/c$ indsat i energibevarelsen $\Delta E = h\nu + \frac{1}{2}Mv^2$ giver:

$$\left(\frac{h\nu}{Mc^2}\right)^2 + \frac{2h\nu}{Mc^2} - \frac{2\Delta E}{Mc^2} = 0 \quad (3)$$

til bestemmelse af ν og afvigelsen af ν fra ν_0 . Med forkortelserne $y = h\nu/Mc^2$ og $x = \Delta E/Mc^2$ er løsningen til denne andengradslikning (idet kun denne rod giver fysisk mening):

$$y(x) = -1 + \sqrt{1 + 2x}. \quad (4)$$

Til bedømmelse af afvigelsen imellem y og x , som opgaven nu går ud på at finde, rækkeudvikles ligningen:

$$y(x) = x - \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{2}x^3 - \frac{5}{8}x^4 + \frac{7}{8}x^5 - \dots \quad (5)$$

Relativistisk har vi $Mv\gamma(v) = h\nu/c$ og $Mc^2 + \Delta E = h\nu + Mc^2\gamma(v)$ til erstatning af de klassiske udgaver af bevarelsessætningerne. $\gamma(v)$ er som sædvanlig en forkortelse for $1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$. Efter nogen regning fås heraf med de samme betydninger af y og x som i det klassiske tilfælde:

$$y(x) = \frac{x^2 + 2x}{2x + 2} \quad (6)$$

med rækkeudviklingen:

$$y(x) = x - \frac{1}{2}x^2 + \frac{1}{2}x^3 - \frac{1}{2}x^4 + \frac{1}{2}x^5 - \dots \quad (7)$$

At nøjes med at medtage det første led i rækkeudviklingerne (5) og (7) ses at svare til at se bort fra rekyl. At nøjes med at medtage de to første led i rækkeudviklingerne ses at svare til den tilnærmelsesvis bestemmelse af rekyl i ligning (1). Det ses også, at en forbedret rekylbestemmelse, svarende til at medtage det tredje led i rækkeudviklingerne, giver samme resultat relativistisk og urelativistisk. Først hvis vi medtager det fjerde led i rækkeudviklingerne er der forskel imellem at regne relativistisk og urelativistisk. Den tilnærmelse, der lå i

at sætte impulsen af det udsendte lyskvant til at være $h\nu_0/c$, er altså større end den, der ligger i at regne urelativistisk frem for relativistisk.

Nu må stadiet, hvor vi kan overskue berettigelsen af varierende grad af tilnærmelser, være nået.

Da hvileenergien af en nukleon er ca. 1000 MeV, ligger Mc^2 for et atom med fra 1 til 100 gange massen af en nukleon i størrelsesordens intervallet 10^9 eV til 10^{11} eV. Den typiske energi for et lyskvant og værdien af ΔE er af størrelsesordenen 1 eV. Derfor er $x = \Delta E/Mc^2$ et tal i størrelsesordensintervallet $10^{-9} - 10^{-11}$. Rekylenergien R er altså størrelsesordensmæssigt 10^{-9} til 10^{-11} gange ΔE . Tilsvarende er den relative tilnærmelsesfejl i udtrykkene (1) og (2) af størrelsesordenen 10^{-9} til 10^{-11} . Medens forbedringerne af udtrykkene (1) og (2) ved at regne relativistisk frem for urelativistisk ses at ligge på et sted mellem 18ende og 22ende betydende ciffer.

Tilnærmelserne gjort i begyndelsen af opgavebevarelsen oven for er altså i høj grad berettigede. Det vil de endda være ved emission af gammastråling i forbindelse med kerneovergange. Energien af den ofte benyttede anslåede tilstand af Fe-57 til Mössbauer-effekt studier er f.eks. 14,4 keV og x tilsvarende da et tal i størrelsesordensintervallet 10^{-5} til 10^{-7} . Altså stadig et meget lille tal.

Den trænede i fysisk problemløsning vil nok starte med at vurdere størrelsen af x og så i opgaven her med det samme foretage tilnærmelserne som gjort. Og ikke på et så sent stadium som muligt, som anbefalet af min far. Men for den utrænede tror jeg hans anbefaling er rigtig. Et resultat er ikke meget værd, hvis ikke usikkerheden på det kendes. Derfor er bevidste vurderinger af fejlene, der indføres ved idealiseringer og tilnærmelser vigtige. Og min fars anbefaling bidrager til, at vurderingsevnen af rimeligheden af tilnærmelser trænes.

På kurserne i fysisk problemløsning på RUC har jeg i sammenhæng med rekyl opgaven også tematiseret rækkeudviklingerne ovenfor som eksempel på, hvordan den matematiske teknik "rækkeudvikling" tages i brug i fysik. I det hele taget er der behov for undertiden at adressere forskellige slags matematiske standardværktøjer. En ting er at være matematisk introduceret til udvikling af funktioner i en Taylorrække. En anden ting er at blive en rutineret anvender af rækkeudvikling.

Breddeopgave 55. Stigefald

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningen til denne opgave fra breddekurset på RUC (fra vintereksamen 2011, nr. 55 i rækken her i KVANT):

En person befinder sig i toppen af en næsten lodret stående stige. Stigen begynder at vælte. Slår personen sig mindst i faldet ved at holde fast i stigen under faldet, eller ved at give slip på stigen? Begrund svaret.

Løsning og kommentar bringes i næste nummer.

Saturn på sommerhimlen

Af Michael Quaade

Det er aldrig særlig rart at bringe dårlige nyheder, men i dette nummer af *KVANT* er der både en god og en dårlig nyhed for de læsere, der interesserer sig for at se planeter på nattehimlen.



Figur 1. Billedet er optaget af Cassini rumsonden 23. juli 2008 fra en afstand af lidt over én million kilometer. I disse år ses Saturn og ringene 'oppefra' i modsætning til billedet, hvor det er den sydvendte flade man kan se. Ringsystemet ses for tiden også i en mere åben vinkel, så det når næsten ud til planetskivens rand ved polerne. Nogle af Saturns måner er også med på billedet. Det er Titan nederst til venstre og en af de andre ses som en lille hvid prik foran planetskiven lige ved den venstre kant over ringene. Foto: Daiana DiNino, NASA/JPL/Space Science Institute.

Den gode nyhed er, at Saturn vil være på himlen i aften- og nattetimerne i starten af sommeren. Det betyder, at der trods alt er noget at se på i de lyse nætter, der gør det svært at se de mere eksotiske og lyssvage objekter. Det er især i maj og juni, der er gode muligheder for at se den – allerede i juli er den ved at gå ned når det bliver bare nogenlunde mørkt.

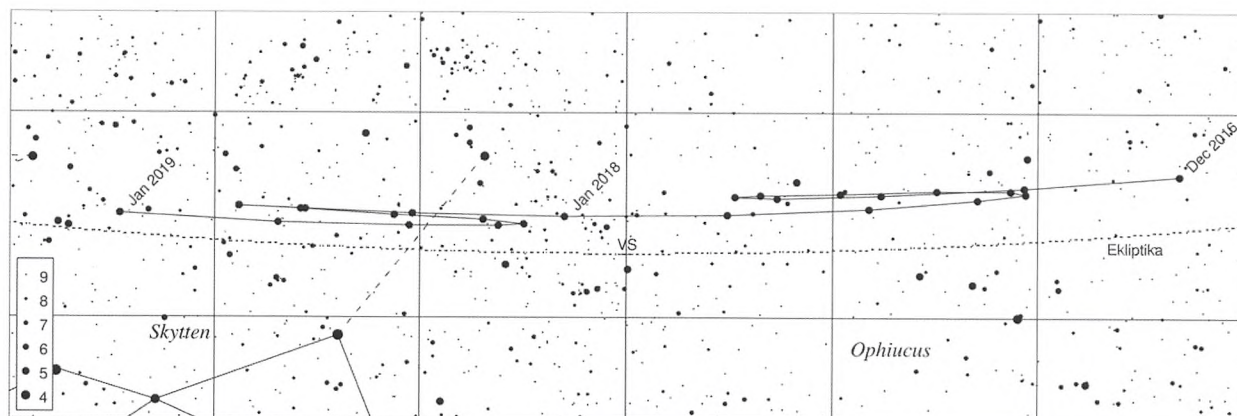
I sommermånederne ses Saturn klart lysende lavt på sydhimlen, nogenlunde under den klare stjerne *Arc-turus*. Stjernen *Spica* i stjernebilledet *Jomfruen* står et stykke til højre – vest for – Saturn, men er tydeligt svagere.

Den dårlige nyhed er, at Saturn nærmer sig det sydligste punkt i sin bane og derfor står lavere og lavere på himlen. Det bliver værre og værre i årene frem til engang i 2018, hvor den omsider begynder at komme lidt længere mod nord. I december 2017 passerer den tæt forbi det punkt, hvor Solen står ved vintersolhverv i december.

Solens position ved vintersolhverv er dér hvor Ekliptika er sydligst. Saturn står en smule nordligere, men i disse år nærmer den sig Ekliptika. Derfor er det ikke i slutningen af 2017, men først i efteråret 2018 at den når det sydligste punkt i sin bane.

I hele 2018 står den nogenlunde lige så højt på himlen, som Solen i sidste halvdel af december. Derefter begynder den at bevæge sig nordpå i sin bane. Saturn er $29\frac{1}{2}$ år om et baneomløb, så den når det nordligste punkt i sin bane knap 15 år senere, omkring 2032.

Der er også andre planeter at se på himlen i disse måneder. Sidst i maj og i begyndelsen af juni kan man se de tre planeter Jupiter, Merkur og Venus på vesthimlen kort efter solnedgang. Venus er klart den mest lysstærke – når man har fået øje på den, kan man se efter de andre to i nærheden. Det er tydeligt, at de skifter position i forhold til hinanden fra aften til aften. De står kun et par grader fra hinanden i dagene 26-27. maj.



Figur 2. På kortet ses Saturns position på himlen med en måneds mellemrum i perioden fra december 2016 til januar 2019. De ejendommelige sløjfer på banen er en følge af Jordens banebevægelse om Solen. Retningen fra Jorden til Saturn ændrer sig nogle få grader frem og tilbage i årets løb, fordi Jorden flytter sig i sin bane. Kortet er vist i cylinderprojektion, så retningerne nord-syd og øst-vest fremstår henholdsvis lodret og vandret. Det er den måde, der bedst viser hvor langt mod syd eller nord en position er. Hvert kvadrat er fem grader på himlen. Kortet fylder $30^\circ \times 10^\circ$. Ekliptika er den buede, prikkede linje vandret hen over kortet. Solens position ved vintersolhverv er mærket VS lige under midten af kortet. Stjernekortet er fremstillet af Michael Quaade med XEphem programmet.

Planck måler kosmisk mikrobølgebaggrundsstråling

De første *kosmologiske* resultater fra den europæiske Planck-satellit (se KVANT nr. 2, 2009) blev offentliggjort den 21. marts. De er baseret på 15 måneders skanning af hele himlen i mikrobølgeområdet og forgrundskilderne er omhyggeligt fratrasket (se KVANT nr. 3, 2012). Opgaven har været, med den allerstørste præcision, at bestemme styrken af den kosmiske mikrobølgebaggrundsstråling med høj vinkelopløsning. Astrofysikerne føler sig ret sikre, når de nu hævder, at Universet har en alder på 13,82 mia. år – eller 80 mio. ældre end hidtil antaget. Andre kosmologiske parametre er korrigeret noget. Universet består – ifølge de nyeste tal – af 4,9 % almindeligt stof (atomer), 26,8 % mørkt stof og 68,3 % mørk energi. Mørkt stof giver sig kun tilkende via tyngdekraften.

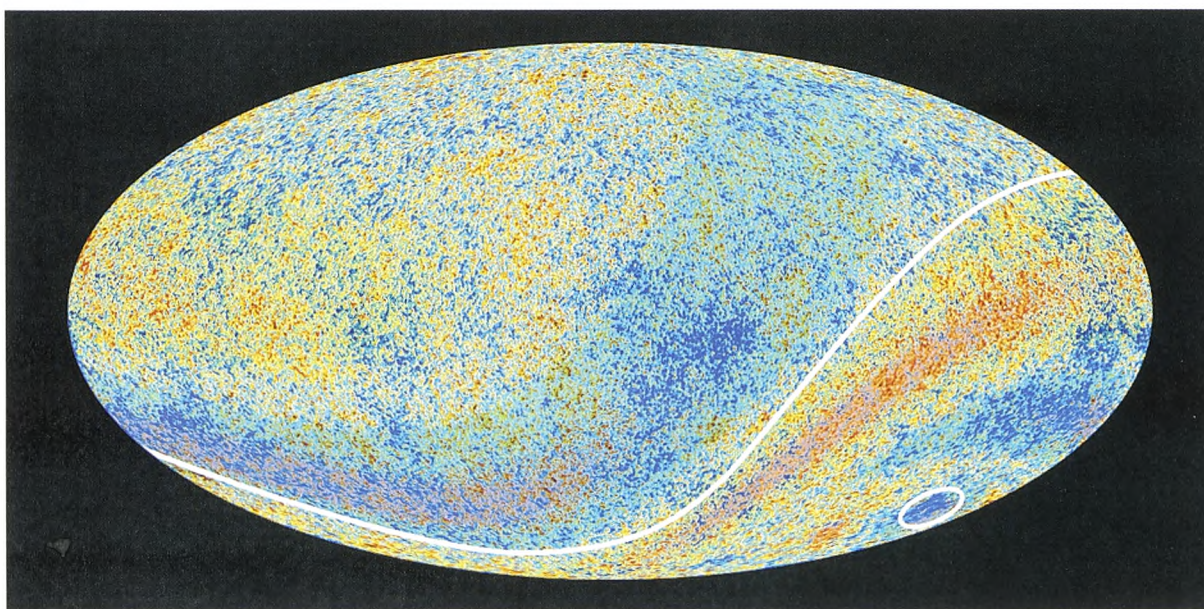
Plancks målinger giver yderligere støtte til inflationsteorien, der er en meget kortvarig (ca. 10^{-32} sek) eksponentiel udvidelse af det tomme rum kort efter Big Bang (se evt. KVANT nr. 4, 2010). Det er bemærkelsesværdigt, at man med en kosmologisk satellit som Planck kan studere forhold i Universet *lige* efter Big Bang. Man kan faktisk begynde at sortere i hvilke inflationsmodeller der passer bedst.

I et ideelt univers, ville baggrundsstrålingen (termisk stråling fra et sortlegeme med temperaturen 2,7

kelvin) have været isotrop, dvs. ens i alle retninger. Imidlertid har Planck-teleskopet været i stand til at måle temperaturforskelle, i størrelsesordenen mikrokkelvin. Resultaterne bekræfter observationerne med de tidligere amerikanske satellitter COBE og WMAP, men Plancks målinger er mere nøjagtige.

De meget nøjagtige temperaturmålinger er vist i kortet over hele himlen vist nedenfor. Det viser, at Universet ikke er helt isotropt men lidt "skævt" – måske fordi det *roterer* (fx beskrevet ved en anisotrop Bianchi-model). Der er desuden en uforklarlig *kold plet*, der svarer til en meget stor struktur. En ret spekulativ hypotese er, at mønstrene er "arvet" fra et tidligere univers, hvoraf vores univers er opstået. Det skulle i givet fald være første – og måske eneste – signal vi kan få fra noget, der ligger udenfor det observerbare univers. I de kommende år vil teoretikere diskutere hvilke modeller for Universet, der er konsistente med de nye data. De gængse antagelser om, at Universet er homogent og isotropt (sammenfattet i det kosmologiske princip) gælder stadig med god tilnærmelse, men Planck-satellitens finere detaljer udfordrer nu antagelsen om, at Universet ser ens ud i alle retninger.

Kilder: ESA Planck, planck.esa.int; Planck Science Team, <http://www.rssd.esa.int/index.php?project=planck>.



Kort over den kosmiske mikrobølgebaggrundsstråling i galaktiske koordinater, hvor den vandrette "ækvator" er Mælkevejens plan. Rødt betyder varmere og blå koldere (nogle få mikrokkelvin hhv. over og under gennemsnittet på ca. 2,7 kelvin). Det ses, at teleskopets ekstremt store følsomhed har afsløret en struktur (en asymmetri) i baggrundsstrålingen. Systematiske og tilfældige målefejl kan udelukkes, så den blå "kolde plet" nederst til højre på kortet og den buede struktur henover hele billedet er virkelige strukturer. Kontrasten er dog fremhævet ca. 100.000 gange.