

KVANT

April
2023

1

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 34. årgang

- OLE RØMERS TRIDUUM
- HYPERSPEKTRAL TERMOGRAFI: BRUG LYS SOM TERMOMETER
- DE NOVA STELLA – TYCHO BRAHES BOG OM DEN NYE STJERNE
- MIKROOBSERVATORIER SER DET NÆRE UNIVERS – OG ALLE KAN VÆRE MED!
- DEN JULIANSKE PERIODE – ET DAGLIGT MÅL FOR ET STYKKE AF EVIGHEDEN
- LYSDREVNE NANOMOTORER: FREMTIDENS STRATEGI MOD SVÆRE INFEKTIONER
- KVANT-NYHEDER • 132 UDGAVER AF KVANT KOMMER ONLINE • AKTUELLE BØGER

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

c/o DTU Space, Centrifugevej 356
DK-2800 Kgs. Lyngby

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 (AS)

Dansk Fysisk Selskab (DFS)

Selskabet for Naturlærens Udbredelse
(SNU)

Redaktion

Jens Olaf Pepke Pedersen (ansv. red.),
DTU Space

Michael Cramer Andersen,

Christianshavns Gymnasium

Christine Pepke Gunnarsson (nyheds-
redaktør), DTU Electro

Ole Mørk Lauridsen, SNU

Steen Lærke, AS

Maren Malling, DFS

John Rosendal Nielsen,

Aurehøj Gymnasium

Lars Occhionero, AS

Dorte Olesen, SNU

Finn Berg Rasmussen,

Niels Bohr Institutet, KU

Svend Erik Rugh

Abonnementspris : 185 kr./år.

Kvant udkommer 4 gange årligt og er med-
lemsblad for de udgivende selskaber.

Abonnement tegnes på www.kvant.dk.

Øvrige henvendelser vedr. abonnement til

Christine Pepke Gunnarsson:

christine@kvant.dk (tlf. 27 51 01 76).

Annoncerpriser

1/1 side: 3600 kr., 1/2 side: 2300 kr.

1/4 side: 1600 kr.

Priserne er excl. moms og for reproklart

materiale i farver. Henvendelser om annon-

cer til redaktøren på: kvant@kvant.dk

Tryk

Vestergaards Bogtrykkeri A/S.

Oplag: 2.500.



Tryksag
5041 0826

Produktionsplan

Nr. 2-2022 udkommer ca. 15. juni

Nr. 3-2023 udkommer ca. 15. september

Deadline for mindre bidrag og annoncer

er ca. en måned før, længere artikler skal

modtages to måneder før.

Indhold:

Ole Rømers *Triduum*

Claus Fabricius 3

Mikroobservatorier ser det nære univers – og alle kan være med!

Holger Pedersen og Tobias C. Hinse 7

Nyt fra Astronomisk Selskab 11

Lysdrevne nanomotorer: fremtidens strategi mod svære infektioner

*Amalie Løvind, Tijana Maric, Zhongyang Zhang, Jiayue Geng
og Anja Boisen* 12

Hyperspektral termografi: Brug lys som termometer

Mads Nibe Larsen 15

De Nova Stella – Tycho Brahes bog om den nye stjerne

Christian Marinus Taisbak 20

Ventilator – breddeopgave 101

Jens Højgaard Jensen 23

Nyt fra Kvant – nyt temanummer og nye redaktionsmedlemmer . 25

Aktuelle bøger

Emil Enderup Petersen-Friis 26

Kvant-nyheder

Christine Pepke Gunnarsson 27

Nyt fra Dansk Fysisk Selskab

Maren Malling 29

Den julianske periode – et dagligt mål for et stykke af evigheden

Christian Marinus Taisbak 30

132 blade kommer online Bagsiden

Kommende foredrag Bagsiden



Billedet på forsiden viser Ole Rømers ækvatorialinstrument opstillet i Rundetaarn. Instrumentet har to på hinanden vinkelrette omdrejningsakser, hvoraf den ene (polaksen) peger mod himlens nordpol, og er den tykke akse *K* midt i billedet. Kikkerten sidder øverst (*A-B*, men delvist skjult bag "KVANT"), og drejer omkring den anden akse. Ole Rømer havde ladet tegningen fremstille i forbindelse med forberedelsen af en bog, men det blev hans videnskabelige arvtager og den senere professor i astronomi, Peder Horrebow (1679–1764), der udgav den i bogen *Basis Astronomiæ*.

Læs mere om Horrebows bog, der er nu udgivet i en ny oversættelse, i artiklen af Claus Fabricius på side 3.

Kvant udsendes gratis, i ét eksemplar, til alle gymnasier, seminarier og HTX-kurser i Danmark, på Færøerne og i Grønland med velvillig økonomisk støtte fra Niels Bohr Institutet (KU), Institut for Fysik og Astronomi (AU), Institut for Fysik, Kemi og Farmaci (SDU), DTU Fotonik, DTU Fysik samt Institut for Naturvidenskab og Miljø (RUC). Kvant omdeles med PostNord. Såfremt bladet udebliver opfordres du til at kontakte PostNords kundeservice på telefon 70707030 samt orientere Kvant på e-mail kvant@kvant.dk.

Ole Rømers *Triduum*

Claus Fabricius, Det catalanske rumforskningsinstitut, IEEC-ICCUB, Barcelona

Ole Rømer (1644–1710) er især kendt for opdagelsen af lysets hastighed, men han var også en vigtig opfinder af astronomiske instrumenter. Han udførte en berømt række astronomiske observationer i løbet af tre døgn i oktober 1706 fra sit nye observatorium vest for København. De er kendt som hans “*Triduum*-observationer”, og på grund af deres høje nøjagtighed kom de til at spille en væsentlig rolle i løbet af det 18. århundrede i de første undersøgelser af stjernernes bevægelser. Det Danske Sprog- og Litteraturselskab har nu udgivet Ole Rømers *Triduum*-observationer i tre bind, og i den anledning holdt forfatteren den 9. februar 2023 dette oplæg ved præsentationen i Rundetaarn.

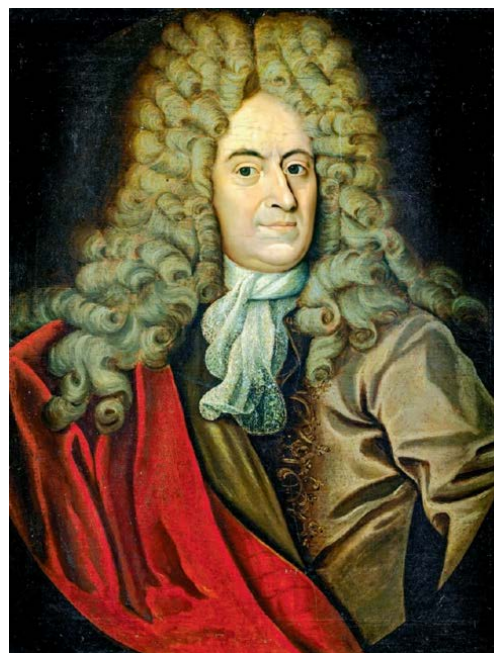
I 1665 var England ramt af en pestepidemi. Det førte til nedlukninger, og universitetet i Cambridge sendte studenterne hjem. Unge Isaac Newton – han var 22 år – tog derfor hjem til gården i Woolsthorpe i Lincolnshire et stykke nord for Cambridge. Der stod der et senere så berømt æbletræ, hvorfra unge Isaac så et æble falde, og det satte som bekendt nogle tanker i gang, der hjalp ham videre, med problemer han allerede tumlede med. Toogtyve år senere – i 1687 – udkom så Newtons hovedværk, *Principia*, i tre bind. Det var der, han formulerede sine tre bevægelseslove og gravitationsloven. Newtons ideer var komplet uforståelige for samtiden, og det tog næsten hundrede år inden de blev alment accepterede, men de kom som bekendt til at få kolossal betydning både for astronomien og fysikken. Også i København blev Newton mødt med skepsis, og hverken Rømer eller hans efterfølgere tog hans idéer synderlig alvorligt.

Heraf kan vi lære, at nye idéer – selv vældig gode ideer – kan have svært ved at trænge igennem. En anden konklusion – en uundgåelig konklusion – er, at dette æbletræ på gården i Woolsthorpe må have været i besiddelse af en ganske særlig kraft. Frugttræer er jo vigtige i mytologien.

Det var derfor helt naturligt, at Københavns Universitet besluttede at anskaffe en aflægger af dette træ. Måske der stadig var lidt saft og kraft tilbage – selv i en aflægger – om så bare i en lidt afsvækket form. Træet blev plantet ude i Universitetsparken i efteråret 2001. Jeg havde dengang min daglige gang på de kanter, og gik derfor over for at se dette særlige træ. Der mødte jeg Jan Teuber, der heller ikke havde kunnet nære sig, og han opfordrede mig til at tage ind her i bibliotekssalen til præsentationen af en bog om Ole Rømer. Jeg tror endda, det var samme dag. Det var den store bog med Rømers korrespondance og afhandlinger, som Per Friedrichsen og Gorm Tortzen havde arbejdet på i mange år. Den fik mange velfortjente, rosende ord med på vejen, men der var dog en enkelt taler, der ikke kunne dy sig for at sige: “men *Triduum* mangler”. Det vidste Per og Gorm selvfølgelig godt, og faktisk gik Gorm rundt og uddelte løbesedler, der reklamerede for et skan af *Triduum*-manuskriptet, som Det Kongelige Bibliotek havde lagt ud på nettet.

Efter præsentationen endte jeg i et lidt fugtigt lokale i Købmagergade sammen med Jan, Per og Gorm. Det var igen Jan, der skubbede på. Der blev nogle tanker sat i gang, og her toogtyve år senere kan vi så endelig

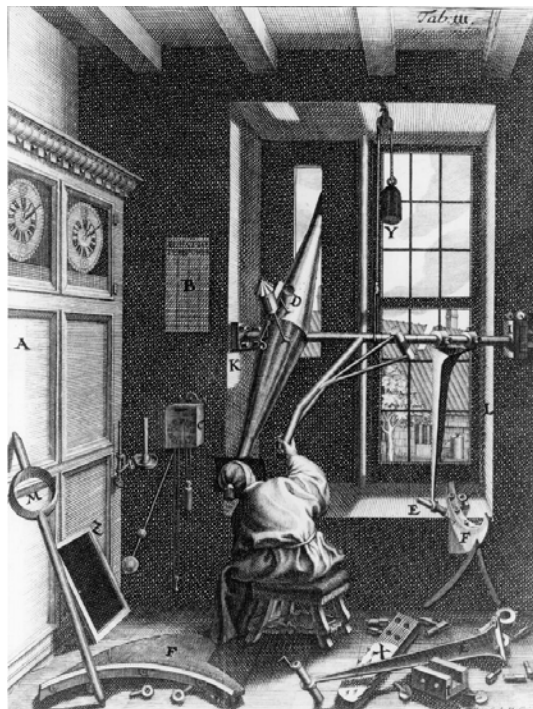
præsentere disse tre bind om *Triduum*. Vi kom egentlig først i gang i 2005 og fik hurtigt Niels Therkel Jørgensen med. Allerede året efter kunne vi præsentere de første resultater ved et seminar på Kroppedal, men derefter gik tempoet ned. Både Jan og Per havde problemer med helbredet, og vi mistede Jan i 2008 og Per i 2011. Dem savner vi i dag! Det var hele vejen igennem Per, der var den ledende kraft, og da han faldt fra, gik det hele i stå. Efterhånden kom vi dog i gang igen, og med stigende appetit efterhånden som arbejdet skred frem. Det lille appendiks med nogle få afsnit af bogen *Basis Astronomiæ* er endt som det største af de tre bind. “Vi har så mange kapitler med, at vi lige så godt kan tage det hele”, sagde Gorm, men det var vist før, han blev klar over, hvor stor en mundfuld det faktisk var.



Figur 1. Maleri af Ole Rømer fra omkring 1695–1700 af ukendt maler.

Vi springer nu til 1710. Om sommeren det år blev Rømer alvorligt syg, og han døde i september. Inden nåede han dog at gøre testamente. Hele boet tilfalder hustruen, den kun 30-årige Else Malene Bartholin, men også søsteren og hendes børn bliver betænkt. Det, der virkelig bekymrer ham, er dog de mange tusinde astronomiske observationer, der står upublicerede i tykke protokoller. Det, han så gør, er at betro sin

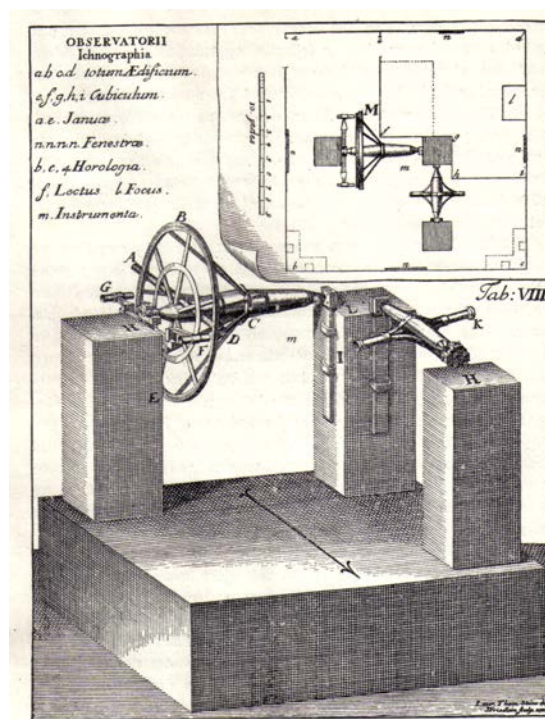
sjælesørger, Christen Worm, et manuskript med en kopi af observationsprotokollen for tre døgn i oktober 1706 med godt 250 observationer fra observatoriet ved Pilenborg. Det er disse observationer, der går under betegnelsen *Triduum*, og det er det manuskript, der udgør vores tredje bind. Vi ved ikke præcis, hvad Rømer bad Christen Worm om at gøre med manuskriptet, men et godt gæt er, at han skulle sørge for, at det blev publiceret.



Figur 2. Ole Rømers husobservatorium i Store Kannikestræde i København. Han sidder selv ved passageinstrumentet, der er vist i adskilt tilstand på gulvet. Fra Peder Horrebows *Basis Astronomiæ* (1735).

Pilenborg var Bartholinfamiliens lille landsted i udkanten af Vridsløsemagle. Rømers svigerfar, Caspar Bartholin, havde giftet sig med en noget ældre enke. Enken havde en datter, Anne Marie, af første ægteskab, og Caspar havde en bror, Hans, der var en halv snes år yngre end ham selv. Det gik så, som det måtte gå, og Hans endte med at gifte sig med Anne Marie. Her var altså to brødre, der var gift med en mor og en datter, og det var de to familier, der byggede Pilenborg sammen. I nærheden af Pilenborg fandt Rømer en bakke med frit udsyn til de fire verdenshjørner. Det var det ideelle sted for det observatorium, han havde drømt om i 30 år. Han lejede jorden af den lokale fæstebonde, og i sommeren 1704 byggede han en lille bindingsværkshytte på godt 25 m² med lerklinede vægge og lerstampet gulv. Den skulle skærme kikkerterne og tillade observationer af hele meridianen. Det var ikke prestigebyggeri som Solkongens imponerende observatorium i Paris, hvor han havde tilbragt små ti år. Det var en lille, billig bygning tilpasset kikkerternes faktiske behov. Til gengæld står pariserobservatoriet der endnu og er stadig imponerende, mens Rømers lille hytte på lejet jord hurtigt forsvandt. Det gør den imidlertid ikke mindre vigtig. Resterne af Rømers bygning er i dag optaget på listen over astronomisk verdensarv.

Hovedinstrumentet i Pilenborgobservatoriet var Rømers nyopfundne meridiankreds. En kikkert der er monteret på en vandret øst-vest akse og kun kan observere stjernerne, når de passerer meridianen – altså linjen fra nord over zenit til syd. En sådan kikkert kan bruges til at bestemme stjernernes positioner ud fra tidspunktet, hvor de krydser meridianen, og ud fra højden over horisonten. Rømer havde allerede en prototype monteret i vinduet hjemme i Store Kannikestræde, men der kunne han kun se et begrænset udsnit af meridianen. Det, Rømer havde indset, var, at med hele meridianen til rådighed ville han have langt bedre styr på kikkertens opstillingsfejl – fx kikkertaksens afvigelse fra den nøjagtige vandrette øst-vest orientering – og han ville have mulighed for at bestemme lysets bøjning i atmosfæren.



Figur 3. Laurits Skives tegning ca. 1704 af instrumenterne i observatoriet ved Pilenborg. Meridiankredsen er monteret på en øst-vest akse, C; selve kikkerten er AD. Delekredsen, B, aflæses med to mikroskoper, vist ved F og G. Jævn-døgnsinstrumentet, K, blev ikke benyttet under *Triduum*. Bygningen rummede også et soveværelse, efghi, med seng, f, og ildsted, l.

Hvad skulle disse observationer så bruges til? Vi har ikke en formel programmerklæring fra Rømers side, men ud fra hans breve og afhandlinger har vi alligevel et klart indtryk. Banerne for planeterne, Månen og Solen var ikke kendt med særlig stor nøjagtighed, og der manglede et godt referencenet af stjerner med kendte positioner, og så var der den helt store udfordring: den årlige parallakse. Hvis Copernicus havde ret, hvis Jorden faktisk kredser omkring Solen, ja, så skal stjernernes positioner variere i årets løb. Ser vi på stjernerne i dag – og igen om en halvt år, når vi befinder os på den modsatte side af Solen, så skal stjernernes indbyrdes stilling have ændret sig alt efter afstanden mellem dem og os. Det var endnu ikke lykkedes at observere en sådan effekt, hvilket var højst utilfredsstillende, da alle egentlig regnede med, at Copernicus faktisk havde ret. Heller ikke Tycho Brahe

havde kunnet påvise nogen parallakse, men mente til gengæld at kunne se stjernerne som små skiver. Hvis de virkelig var så langt væk, at parallaksen ikke kunne ses, måtte stjernerne være urimeligt store, og derfor kunne Solen ikke være centrum. Kepler på sin side ville gerne have Solen i centrum, så han konkluderede, at stjernerne åbenbart var kolossalt store, og derfor med en kun svagt lysende overflade. De tog begge fejl. Spørgsmålet om stjernerne som synlige skiver blev løst med kikkertens opfindelse – der var tale om et synsbedrag – men problemet med den manglende parallakse bestod.

74 PARALLAXIS ORBIS ANNUI.
§. 175. Demonstratio parallaxeos orbis annui

	Anno 1701.	
	Vere.	Aut.
Intervalla correcta ex Copern. Tr. inter transitus Sirii & Lyræ per meridianum machinæ Domesticæ ultra h. 11. 54 m.	59. 0	58. 15
	58. 15	55. 30
	58. 15	56. 0
	60. 0	54. 53
	61. 15	
Media inter excessus & defectus intervallor.	59. 21	55. 28
Correctio ob Motum rectascens. Sirii præ Lyræ.	0	21
Intervalla ad tenor. Veris 1701 reducta - -	59. 21	55. 49
Intervalla post spatia semestria - - - -	55. 49	59. 13
Diff. duplum parallaxeos orbis annui - -	3. 32	3. 24
Medium inter extrema, five deficientia & excedentia, 4 sec.		

Figur 4. Ole Rømers observationer af parallaksen forår og efterår 1701 for Sirius og Vega (α Lyræ).

Rømer angreb parallakseproblemet med observationer af to stjerner: Sirius og Vega. De er meget klare, og måtte derfor formodes at være blandt de nærmeste stjerner. De står også omtrent modsat hinanden på himlen: Sirius ser vi om vinteren, og Vega om sommeren. De passerer derfor meridianen med ca. 12 timers mellemrum. Rømers idé var nu at bestemme denne tidsforskel – fra Sirius til Vega – dels om foråret, og dels om efteråret. Det er observationer, der skal udføres tæt på solopgang og tæt på solnedgang. Han fulgte disse stjerner gennem flere år hjemme fra Store Kannikestræde, og konklusionen var klar: Tidsforskellen var fire sekunder større om foråret end om efteråret. Det var meget mindre, end han havde regnet med, men det lignede et sikkert resultat. Det ville være fantastisk, hvis det var rigtigt, men det var det ikke. I dag ved vi, at parallakserne for disse to stjerner ikke engang giver en variation på en tiendedel sekund, altså langt mindre end Rømers fire sekunder. En af grundene til, at Rømer søgte uden for byen, var netop at få bedre styr på instrumentets små fejl ved at bruge hele meridianen, så han kunne få resultater, der ville overbevise andre. Han følte sig egentlig sikker i sin sag, men det var klogt af ham at forholde sig afventende. En ting han hurtigt kontrollerede var, om urene var tilstrækkeligt stabile. Tidsforskellen om foråret var fra aften til morgen, altså hen over den kolde nat, hvor urenes penduler ville blive koldere, og urene derfor gå hurtigere. Om efteråret var det omvendt. Han lavede derfor termometre og bestemte metallers længdeudvidelse og konkluderede, at urene var gode nok. Under *Triduum* blev Sirius og Vega naturligvis observeret, hver gang de passerede meridianen.

Et andet stort spørgsmål, Rømer overvejede, var stjernernes mulige bevægelser. I sin notesbog, *Adversaria*, gør Rømer sig tanker om, hvorvidt stjernerne mon flytter sig mellem hverandre. Det mente han, de måtte gøre, men vi ved ikke, om han håbede at kunne påvise det. Det ville have været langt mere realistisk end at bestemme parallaksen, men det kunne han ikke vide.

OBSERVATIONES DIE 21 OCTOBRI 1706. 159

ECLIPSIS LUNÆ

Ex diario observationum descripta, ubi ab ipso Observatore adhibita est facilis correctio, ut observata ad æquabilitatem redigerentur. Annotationes ex diario simul & observationum protocollo, collecta sunt. Vide §. 401.

Hor.	m.	sec.	Initium.	Digiti obscurati.	Hor.	m.	sec.	Finis.
20	26	30	-	-	23	6	15	-
20	32	0	-	I Dig.	23	0	15	-
20	36	15	-	II Dig.	-	-	-	-
20	39	0	-	III Dig.	22	53	15	-
20	42	0	-	subtena VIII Dig.	22	50	30	-
20	46	0	-	IV Dig.	22	46	15	-
20	53	30	-	V Dig.	22	38	45	-
21	2	15	-	VI Dig.	22	30	0	-
21	12	30	-	VII Dig.	22	20	0	-
21	24	45	-	VIII Dig.	22	7	30	-
21	46	0	-	VIII vel VII Dig.	21	46	0	-

Maxima obscuratio.

Luna pars obscurata rubore subnigro rehteat fere inflar eandem metalli. Post observationem Eclipsi Luna videbatur 3 digiti major, quam ubi includeretur craticula filorum. Hæc Eclipsi incepit 43m. prius, quam prædicerat calculus Rudolphinarum tabularum; fuit etiam aliquanto major.

Figur 5. Ole Rømers observationer af en måneformørkelse den 21. oktober 1706.

På sit dødsleje gav Rømer altså provst Worm et manuskript med tre døgns observationer i oktober 1706. Hvorfor lige de tre døgn, kunne vi spørge, ud af mange års observationer? De tykke bind med resten af observationerne blev opbevaret her i lokalet og forsvandt sammen med hele universitetsbiblioteket ved Københavns brand i 1728. I dag har vi kun disse tre døgn tilbage, det vil sige, vi har faktisk også nogle spredte observationer i en bog Rømers efterfølger Peder Horrebow udgav året før branden. Det er en ganske lille bog på et halvhundrede små sider og med den imponante titel: *Copernicus Triumphans*. Her bruger Horrebow Rømers observationer til at påvise den årlige parallakse, dels med observationer fra Store Kannikestræde og dels med observationer fra Pilenborg. Han er selvfølgelig opmærksom på problemet med instrumentfejlene, men det løser han ved også at inddrage den klare stjerne Capella, idet tidsforskellen mellem Capella og Vega er mindre følsom over for disse fejl, fordi disse to stjerner krydser meridianen i nogenlunde samme højde, mens Vega og Sirius når meget forskellige højder. Igen finder han en overbevisende parallakse, så nu er han helt sikker i sin sag. Det hele er omhyggeligt dokumenteret, men resultatet er unægtelig overraskende, da vi jo i dag ved, at han umuligt kan have påvist nogen parallakse. Så hvordan kan han så have fundet et uigendriveligt bevis? Vi har kikket Horrebow i kortene, og heldigvis spiller han med åbne kort. Det viser sig, at han har begået en alvorlig fejl – en begrebsmæssig bommert. Det regnestykke, han stiller op, er forkert. Det er faktisk skrupforkert. Når man først har fået øje på det, skrider det til himlen. Regner man tallene rigtigt igennem,

forsvinder parallaksen. Horrebows lille bog om den triumferende Copernicus er for længst glemt. Det er ikke nogen succeshistorie, og vi holder jo mest af succeserne, men videnskabens fremskridt er nu engang ledsaget af talrige fejltagelser. Horrebow giver kun nogle få observationer for en halv snes nætter, men det er alligevel nok til, at vi kan kontrollere urenes stabilitet og en enkelt komponent af kikkertaksens orientering, nemlig hvor langt kikkerten sigter ved siden af himlens nordpol. Den gode nyhed er, at vi har påvist, at urene var fuldt ud så stabile, som Rømer mente, de måtte være. Den dårlige nyhed er, at kikkertaksen svingede vildt i orientering mellem de forskellige observationsperioder. "Vildt" vil sige nogle tiendedele millimeter eller en halv millimeter til den ene eller den anden side. Det er meget! Rømers beskedne budget, da han byggede sit lille observatorium, rakte kun til simple fyrretræsstolper til at bære kikkertaksen. Den slags stolper er ikke stabile, og det var Rømer selvfølgelig klar over, eller vi skal måske sige, at han blev klar over det. Ifølge Horrebow ønskede Rømer sig solide mure i stedet for træstolper, men det nåede han aldrig til.



Figur 6. Ole Rømers planetarium til illustration af planetbaner. Til venstre ses planetsiden med Solen i centrum for de seks planeter i elliptiske baner. Til højre ses stjernesiden af planetariet med omkring 100 stjerner.

Det, der nu er særligt ved *Triduum*, er, at her var kikkerten i enhver henseende veljusteret. Sol, Måne og alle planeter blev observeret hvert af de tre døgn og derudover nogle og firs stjerner. Vejret holdt, og alt fungerede perfekt. I tilgift observerede de en måneformørkelse med en særlig kikkert, Rømer havde udviklet i Paris, og Solen blev observeret to af dagene med et andet specialinstrument: de korresponderende højders pendul. Ud fra observationer af Solen om formiddagen og om eftermiddagen i præcis den samme højde, fik man en uafhængig bestemmelse af tidspunktet, hvor Solen havde sin største højde. Det er ikke afgørende, hvilken højde man benytter, men at man noterer tidspunkterne, hvor Solen er i den pågældende højde. *Triduum* var en observationskampagne, der var lagt meget arbejde i, og den var noget helt enestående. Det giver derfor vældig god mening, at det netop var de observationer, Rømer i særlig grad ønskede publiceret.

Rømers efterfølger, Laurits Skive, døde et år efter Rømer under pesten i 1711. Vi kender ham i dag stort set kun som manden bag kobberstikkene med Rømers instrumenter. Skives efterfølger, Jørgen Rask, holdt kun et par år, så det blev Peder Horrebow, der måtte løse

opgaven med at publicere *Triduum*. Det tog ham lidt over tyve år, og resultatet blev *Basis Astronomiæ* med beskrivelser af Rømers mange instrumenter og med en tabel over selve *Triduum*-observationerne. Denne bog indgår som bind to i det arbejde, vi præsenterer i dag.

Basis Astronomiæ fik stor betydning, dels ved at dokumentere Rømers ideer og dels på grund af *Triduum*. Den første til at gå om bord i Rømers observationer var Tobias Mayer i Göttingen. Ved at sammenligne nyere observationer med Rømers fra halvtreds år før, var det tydeligt, at mange af stjernerne havde flyttet sig. *Triduum* var vigtig, dels på grund af de mange års forskel og dels fordi observationerne var langt nøjagtigere end andre observationer fra den tid. Senere, i 1783, hørte den tyske engelske astronom William Herschel om Mayers arbejde og påviste ud fra blot 13-14 stjerners bevægelser, at selve solsystemet bevæger sig gennem rummet. Det ser man som en strømning i stjernernes bevægelser hen mod et bestemt punkt på himlen. Ud over stjernernes egne bevægelser spiller altså også Solens bevægelse ind. Det var en dristig påstand på så spinkelt et grundlag, men Herschel havde ret i sin konklusion.

Rømers meridiankreds var langt bedre end de traditionelle kikkerter, men den vandt kun langsomt udbredelse. Nye ideer – selv vældig gode ideer – kan have svært ved at trænge igennem. Op gennem 1800-tallet gik det dog stærkt, og meridiankredse var nu uundværlige for ethvert observatorium.

Alt dette gør vi rede for i de tre bind, vi præsenterer i dag. De har været længe undervejs – faktisk toogtyve år – men det har også været et projekt med mange afbræk. Jeg ved ikke, om det er kraften fra Newtons æbletræ, der har båret det frem, men uden det træ var det ikke blevet til noget.

Litteratur

- [1] C. Fabricius, N.T. Jørgensen og C.G. Tortzen (2023) "Ole Rømer's *Triduum* vol. I-III", Det Danske Sprog- og Litteraturselskab (www.universitypress.dk).

Bind I beskriver Rømers liv og virke samt etableringen af det nye observatorium, og det præsenterer en detaljeret, moderne analyse af observationerne. Breve og manuskripter giver et indtryk af Rømers tanker, og selve observationerne giver en detaljeret forståelse af hans instrumenter og ure. Bind II indeholder en fotografisk gengivelse af *Basis Astronomiæ* med en engelsk oversættelse af den latinske tekst, mens bind III præsenterer en fotografisk gengivelse af *Triduum*-manuskriptet fra 1710, som for første gang udgives i sin originale form.



Claus Fabricius er lic.scient. og uddannet fra Københavns Universitet. Han arbejdede ved observatoriet i Brorfelde 1980–94 i forbindelse med det dansk-engelske meridiankredsprojekt på La Palma; derefter i København på det europæiske Hipparcos/Tycho projekt og siden 2005 i Barcelona på det europæiske Gaia projekt.

Mikroobservatorier ser det nære univers – og alle kan være med!

Holger Pedersen, Niels Bohr Institutet og Tobias C. Hinse, Syddansk Universitet & Syddansk Universitetsbibliotek & Videncenter for Citizen Science

Den mørke nattehimmel med dens lejlighedsvis, flygtige stjerneskid kan give den velplacerede iagttager en uforlignelig oplevelse. Det er dog en oplevelse, som stigende lysforurening vanskeliggør. Det næstbedste må så være at tage teknikken til hjælp. Direkte transmission, "livestreaming" af nattehimlen, er efterhånden veludviklet, prisbillig, og kan, i tilgift til den æstetiske oplevelse, benyttes til videnskabelige målinger. Vi vil berette om computerdetektion af stjerneskid (meteoror) som et videnskabsprojekt faciliteret indenfor rammerne af et muligt fremtidig borgerdrevet "citizen science" forløb.

Mikroobservatorier, drevet af amatører og professionelle astronomer i forening, vinder frem i store dele af verden. Hensigten er at beskrive solsystemets bestand af meteorstrømme – måske af ukendte eller helt opløste kometer – og give mulighed for opsamling af friske fald af meteoritter. Endelig er det et håb at registrere meteoror med interstellare baner, eller i det mindste fra Oortskyen. Alt dette er en konsekvens af de seneste års udvikling af prisbillig detektor- og computerkraft, kombineret med opensource softwareudvikling anført af en gruppe begejstrede Python-programmører.

I sammenligning med Det Europæiske Sydobservatoriums ELT-kikkert, hvis spejldiameter bliver 39,3 meter, er meteorkameraernes typiske frie åbning på knap 4 millimeter omkring 100 millioner gange mindre, hvilket skulle berettigge betegnelsen "mikro".

En gennemgang af den historiske udvikling vil nok føre for vidt, men nogle få punkter fortjener at blive nævnt. De tidligste – tonstunge – dobbeltkameraer til fotografisk bestemmelse af meteorbaner blev opstillet i USA og Canada i 1946 – formelt drevet af Harvard University, men formodentlig på bestilling af US Air Force, som ønskede at kende de fysiske forhold i stratosfæren – noget som raketopsendelser dog snart overflødiggjorde [1].

For Zdeněk Ceplecha, fra Ondřejov Observatoriet i det daværende Tjekkoslovakiet, lykkedes det i 1959, ved brug af mere beskedent udstyr, at beregne nedfaldsstedet for Příbram-meteoritten. Příbram blev den første meteorit med beregnet interplanetarisk bane. Få år senere, fra 1964 til 1975, drev Smithsonian Astrophysical Observatory et netværk af 16 kameraer på den amerikanske prærie. Men denne prisværdige indsats førte til blot et enkelt fund af en meteorit, Lost City, i 1970. Sidenhen kom der systemer med billedforstærkede TV-kameraer, men teknologien var vanskelig, og resultaterne få.

Fremkomsten af de elektro-optiske detektorer, CCD og CMOS, har bevirket et stort fremskridt i lysfølsomhed. Et af de tidlige eksempler fra maj 1986 på vidvinkel CCD-observationer var Lubos Kohoutek og undertegnede observationer af 106 meteoror fra Eta Aquaride-sværmen, der som bekendt er associeret med komet Halley. Vi kunne blandt andet beskrive, hvorledes

radianten flyttede sig 0,74 grad fra dag til dag, og hvor stor tætheden var: $4.0 \times 10^{-13} \text{ g km}^{-3}$ [2].



Figur 1. GMN-detektionerne over Nordvesteuropa fra august 2022. Langt de fleste stjerneskid er perseider – støv fra kometen *109P/Swift-Tuttle* – en komet som ses med ca. 133 års mellemrum og hvis seneste passage nær Solen var i december 1992. Frigivet under CC-BY 4.0 licens.

Vidvinkelobservationer drevet til det ekstreme benytter naturligvis fiskeøjoptik. Det er grundlaget for adskillige ildkugleprojekter, heriblandt det danske, anført af Anton Norup Sørensen, hvis resultater ofte ses citeret i pressen. Op mod ti kameraer overvåger hver nat himlen over Danmark, og Antons idéer har dannet skole for lignende projekter i Norge og Sverige – alle er fortsat velfungerende. Ligeledes er det franske "Fripon" baseret på fiskeøjoptik. Fripon ledes fra Parisobservatoriet og det støttes af mange franske institutioner, og et stort antal internationale ditto, heriblandt Det Europæiske Rumagentur, Det Europæiske Sydobservatorium og de naturvidenskabelige museer i London og Wien [3]. Bedre kan det ikke blive.

Men teknologien er allerede passé, og tendensen går nu mod optik med mindre synsvinkel og dermed forbedret rumlig opløsning. Ligeledes vinder den billige Raspberry Pi4-singleboard computer frem til erstatning for klassiske Linux laptops/PCer – som dog ikke er dømt ude, specielt til brug af mange kameraer. Kameraer til sikkerhedsovervågning har vist sig særdeles brugbare, og deres data (Sonys CMOS-chip IMX291 med 1280×720 pixels) kan, med 25 billeder i sekundet, nu analyseres i realtid (figur 2). Det såkaldte Global Meteor Network (GMN) [4], benytter fortrinsvis linser med

åbningsforhold $F0,95$ og brændvidde $f = 3,6$ millimeter, hvilket giver et synsfelt på omkring 45×88 grader.

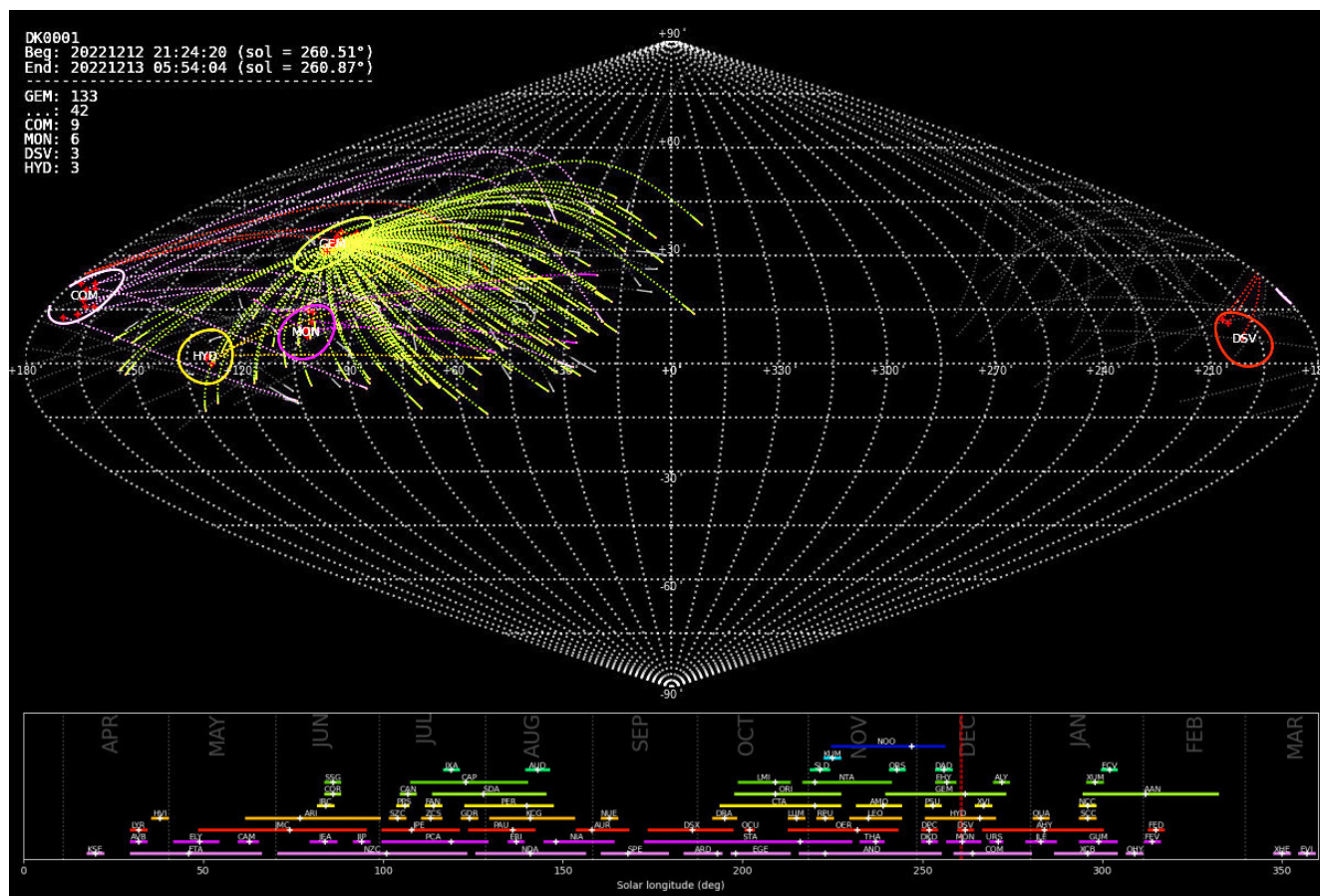


Figur 2. DK0001 titter ud af et afblændet vindue. Optikkens frie åbning, som kun anes, er ca. 3,8 millimeter.

Med seks sådanne kameraer kan hele himlen dækkes, og det sker flere steder. Noget lignende gør det tyske AllSky7netværk [5] og det amerikanske CAMS [6].



Figur 3. Summen af DK0001-observationer fra den kun delvis klare nat mellem 12. og 13. december 2022. Kameraet peger i en fast opstilling mod vestsydvest. Stjernefeltet har bevæget sig fra øverste venstre hjørne mod det nederste højre. Efter automatisk frasortering af spor fra stjerner, satellitter, fly og måske ugler og flagermus, tilbagestår 187 meteoror, af hvilke de fleste er geminider, se næste figur.



Figur 4. En-stations klassifikation af meteorerne fra foregående figur, baseret på deres storcirkelretning og vinkelhastighed. Grønne symboler markerer geminider, som nu vides at have deres oprindelse i asteroide 3200 Phaethon. Andre kommer fra mindre aktive, men veletablerede sværme. Den nederste ramme viser årets gang i stjerneskudssværme. Frigivet under CC-BY 4.0 licens.

I alt har GMN over 700 kameraer installeret i 34 lande, og selvom nogle er inaktive, bliver en overvældende mængde data hver morgen uploadet til University of Western Ontario, Canada, som leder analysen – det være sig associering med data fra andre kameraer, triangulering af atmosfærisk bane, beregning af ned-

bremsning, eventuelt faldområde, bestemmelse af interplanetarisk bane, eventuelt medlemskab med tidligere kendte meteorstrømme, etc. De atmosfæriske baner (figur 1) visualiseres med et program skrevet af Tammo Jan Dijkema (Holland). I perioden fra december 2018 til juni 2021 bestemtes 220.000 præcise interplanetariske

meteorbaner. Men selv ved den enkelte station skabes interessante data, således ses et dagligt plot af de observerede meteoritter (figur 3) og deres mulige oprindelse i kendte meteorstrømme, hvor tilhørsforholdet er sandsynliggjort ved storcirkelbane og vinkelhastighed (figur 4).¹

Regulære ildkugler, observeret med GMN, har potentialet til hurtigt lokalisering og dermed opsamling af nyfaldne meteoritter, hvilket er vigtigt for laboratoriemåling af hurtigt henfaldende radionukleider. Hvis flere stationer har set samme ildkugle, kan banen gennem atmosfæren bestemmes til omkring 20 meters nøjagtighed. Hvad det eventuelle nedslagspunkt angår, vil stykkernes geometriske form (deres ukendte afvigelse fra symmetri) og vindforholdene i de nedre højder, hvor fragmenterne ikke længere er lysende, påvirke flugten. Hvad man *kan* tage i betragtning, beregningsmæssigt, er de typiske glimt, som ofte udsendes under flugtens seneste tredjedel: De vides at modsvares af fragmenters separation fra hovedmassen. Det australske fald+fund Murrili er et glimrende eksempel [7].

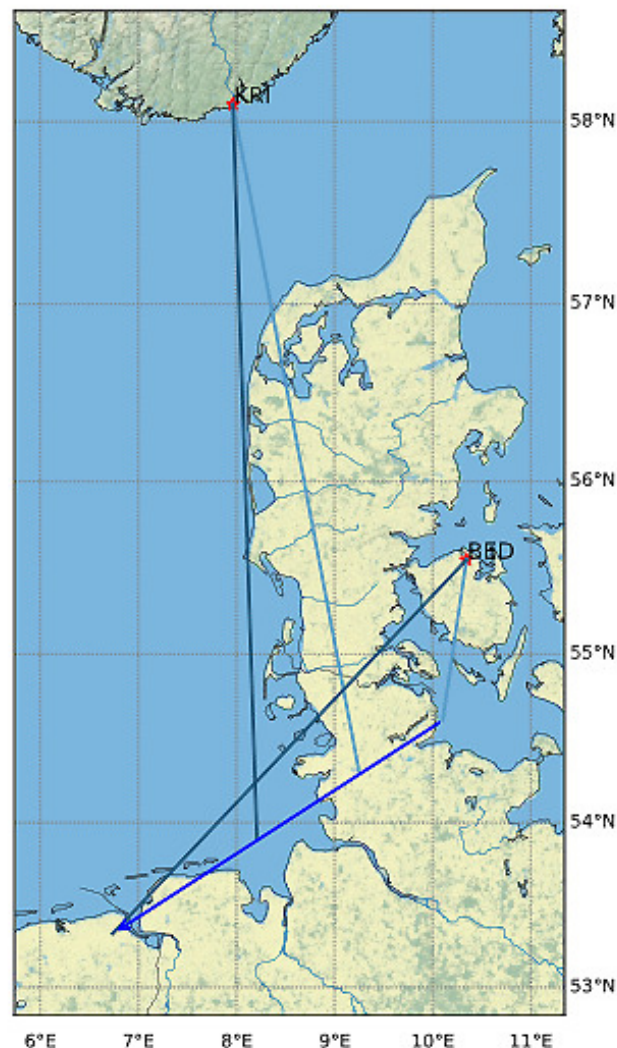


Figur 5. Ildkugle observeret 1. december 2022, 17:36 dansk tid, delvis gennem skyer. Billedet er summen af 512 enkeltbilleder taget med frekvensen 25 per/sekund. Tydeligvis var fænomenet godt i gang, da det kom tilsyn i 36 graders højde i billedets overkant; det forsvandt i 5,8 graders højde bag efu-bevoksede træer. Sporets krumme form skyldes optikkens fortegnings. De klareste stjerner er Altair – i stjernebilledet Ørnen – og Rasalhague i Slangebæren.

Den hidtil klareste detektion med det første danske GMN-kamera, DK0001, var en ildkugle, som blev registreret den 1. december 2022 (figur 5). I alt 22 visuelle observationer af det samme fænomen blev indrapporteret til Den Internationale Meteororganisation – flere med oplysning om lysstyrke og gradvis fragmentering: Tre til fem fragmenter sås dale ned fra sporet af hovedmassen og én rapport talte om rumlen [8]. Et fiskeøjekamera i Kristiansand, Norge, fangede det også [9], hvilket muliggjorde Steinar Midtskogens beregning af baneforholdene (figur 6).

Hvis vi kort skal omtale to nylige succeshistorier, må det blive 1) fundet af Winchcombe-meteoritten [11], en CM-kondrit, som faldt den 28. februar 2021 over Gloucestershire, UK. Stykker af den blev opsamlet efter få timer – den hurtigste sådanne opsamling nogensinde fra et beregnet nedslagssted. 2) Detektionen af det første klippefragment fra Oort-skyen [10]. At det var en sten – ikke en *snebold* – tvinger os til nytænkning

af solsystemets struktur og dannelse. Det vil sikkert blive et hot emne for fremtidige observationer med mikroobservatorier.



Figur 6. De to instrumentelle observationer er benyttet til beregning af den atmosfæriske og den interplanetare bane. Hældningen mod horisonten var 7,9 grader, og mod ekliptika 4,3 grader. Hastigheden var ikke stor, 20,6 km/sekund. De foreliggende data er dog ikke tilstrækkelige til at måle hverken udsukningshøjden (≤ 44 km) eller opbremsningen præcist. Figuren er reproduceret med tilladelse fra Norsk Meteornetværk [9].

For flere år siden bevirkede uheldige omstændigheder (skyer) at to danske fald+fund af meteoritter kun i mindre grad var baseret på hjemlige, instrumentelle målinger. Det var den bemærkelsesværdigt hurtige kulkondrit Maribo [12], opsporet af Thomas Grau ved sin lydsignatur, og L-kondritten Ejby [13], fundet i en indkørsel, før nogen beregnet lokalisering var på plads (figur 7).

Citizen science ved Syddansk Universitet

Forfatterne af denne artikel har, som det fremgår af ovenstående, installeret det første GMN-kamera i Danmark, og forud derfor i udlandet. Hvad vi troede ville blive svært, viste sig at være en bunke trivialiteter.

På denne baggrund påtænkes det nu at søsætte følgende initiativ med støtte fra offentligheden:

¹Der findes også en offentlig tilgængelig video af de komprimerede data på <https://istrastream.com/rms-gmn>.



Figur 7. Finderen af det første fragment af Ejby meteoritten tog dette foto for at overbevise Henning Haack (meteorit-ansvarlig på Geologisk Museum), om at hun nok havde fundet noget interessant. Det var ikke svært ...

“Videncenter for Citizen Science” [14] ved Syddansk Universitet (Odense campus) har siden 2019 specialiseret sig i facilitering, udbud, træning og udvikling af borgerdrevede videnskabsprojekter spændende over en bred vifte af fagområder, det være sig fra litteratur- og naturvidenskab til social- og sundhedsvidenskab. Formålet er at bygge bro mellem de akademiske

institutioner og offentligheden. Det praktiske fokus er på forskningsformidling, læring og vidensdeling, og der stræbes efter offentlighedens inddragelse i dataindsamling og synliggørelse af den videnskabelige proces.

På baggrund af de erfaringer, som den ene af os (TCH) har opnået, stiler SDU nu mod et citizen science projekt med det mål at hjælpe til med opstilling af GMN-meteorkameraer [15] rundt omkring i Danmark. Vi planlægger derfor at søge midler til sådant initiativ, og vil gerne høre fra læserne, om der er interesse for projektet. Figur 7 viser nogle af de elektroniske og optiske komponenter, der indgår i et enkelt GMN-kamera. Som det ses, er det ikke meget hardware der skal til. Prisen per kamera er 4.000–5.000 kr.

Formidling og læring omkring meteorer og deres egenskaber vil være en del af projektet med fokus på rådgivning om anskaffelse af komponenter, praktisk samling af disse, installation af software, fejlfinding, opstilling samt datahåndtering. Alle kan være med: private, skoler, klubber og foreninger. I det tilfælde at der findes den nødvendige opbakning vil projektet indgå i et mere generelt citizenscience forløb ved SDU med udbud af praktiske hands-on workshops. Interesserede kan henvende sig til Tobias C. Hinse (toch@sdu.dk) og indhente mere information.



Figur 8. Varianter af GMN kameraet, som man kan installere derhjemme – i haven, på taget eller balkonen. Foto: Mike Mazur, University of Western Ontario, Canada.

Litteratur

- [1] R.A. Jarrell (2009) "Canadian meteor science: the first phase, 1933-1990", *Journal of Astronomical History and Heritage*, bind **12**, side 224–234.
- [2] L. Kohoutek og H. Pedersen (2010) "Eta Aquarids meteor stream in 1986", *Abhandlungen aus der Hamburger Sternwarte*, bind **14**, hæfte 1. (De originale data gik tabt da ESO i 1989 slettede sit digitale arkiv fra samtlige kikkerter).
- [3] F. Colas m.fl. (2020) "FRIPON: a worldwide network to track incoming meteoroids", *Astronomy and Astrophysics*, bind **644**, side A53, samt hjemmeside <https://fireball.fripon.org>
- [4] <https://globalmeteornetwork.org>
- [5] M. Hankey, V. Perlerin og D. Meisel (2020) "The all-sky-6 and the Video Meteor Archive system of the AMS Ltd.", *Planetary and Space Science*, bind **190**, side 105005.
- [6] P. Jenniskens m.fl. (2011) "CAMS: Cameras for All-sky Meteor Surveillance to establish minor meteor showers", *Icarus*, bind **216**, side 40–61.
- [7] M. C. Towner m.fl. (2022) "Dark-flight Estimates of Meteorite Fall Positions: Issues and a Case Study Using the Murrili Meteorite Fall", *The Planetary Science Journal*, bind **3**, side 44.
- [8] http://fireballs.imo.net/members/imo_view/event/2022/9587
- [9] <http://norskmeteornettverk.no/meteor/20221201/163705/>
- [10] D. Vida m.fl. (2022) "Direct measurement of decimetre-sized rocky material in the Oort cloud", *Nature Astronomy*, <https://doi.org/10.1038/s41550-022-01844-3>
- [11] A. J. King m.fl. (2022) "The Winchcombe meteorite, a unique and pristine witness from the outer solar system", *Science Advances*, bind **8**, nr. 46, side eabq3925.
- [12] J. Borovicka, O. Popova og P. Spurný (2019) "The Maribo CM2 meteorite fall – Survival of weak material at high entry speed", *Meteoritics & Planetary Science*, bind **54**, side 1024–1041.
- [13] P. Spurný m.fl. (2017) "Atmospheric trajectory and heliocentric orbit of the Ejby meteorite fall in Denmark on February 6, 2016", *Planetary and Space Science*, bind **143**, side 192–198.
- [14] <https://www.sdu.dk/da/forskning/forskningsformidling/citizenscience>
- [15] T.C. Hinse et al. (2017) "Proto-Type Installation of a Double-Station System for the Optical-Video-Detection and Orbital Characterisation of a Meteor/Fireball in South Korea", *PKAS*, bind **32**, side 381–405.

Optagelser med DK0001

På hjemmesiden www.kvant.dk/MM.gif kan man se en lille animeret gif som viser optagelser detekteret med DK0001.

Taksigelse

HP er Anton Norup Sørensen tak skyldig for henvisningen til GMN, og til Steinar Midtskogen, for beregningen af ildkuglebanen. TCH vil gerne sige tak til Mike Mazur, Denis Vida og Nick Moskovitz for gode råd, diskussion og altid hurtige svar på spørgsmål.



Holger Pedersen, er cand.scient. og lektor emeritus ved Niels Bohr Institutet. Har skrevet tre bøger om meteorit-historie. Blev i 2016 af det russiske videnskabsakademi inviteret til Sibirien, trans-Jenisei, for at lede efter faldstedet for pallasjernet, den første videnskabeligt erkendte meteorit.



Tobias C. Hinse er ph.d., dr. habil. og har læst fysik og astronomi ved Københavns Universitet. Tobias er forskningsbibliotekar og lektor ved Syddansk Universitet.

Nyt fra Astronomisk Selskab

Generalforsamling

Astronomisk Selskab afholder generalforsamling lørdag den 22. april 2023 kl. 10.30 på Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet, Ny Munkegade 120, 8000 Aarhus C.

Ny foredragsrække

Til efteråret planlægger selskabet nye spændende foredrag om bl.a. Den Internationale Rumstation, galaksernes historie, Danmark på Mars, universets udvidelse og dannelsen af galakser, Danmark i rummet, støv-indhyllede "starburst"-galakser i det unge univers, Aarhus i rummet, galakser i det lokale univers, Athena og andre fremtidige ESA missioner samt om de første galakser. Se mere i næste nummer af Kvant.

Lysdrevne nanomotorer: fremtidens strategi mod svære infektioner

Amalie Løvind, Tijana Maric, Zhongyang Zhang, Jiayue Geng og Anja Boisen, IDUN Center of Excellence, DTU Sundhedsteknologi

Bakterielle biofilm er et velkendt problem i hospitalsverdenen, og de er skyld i en stor del af hospitalserhvervede infektioner. Biofilm er hårdføre af natur og har en evne til at modstå og tilpasse sig forskellige miljøer og behandlinger. Infektioner, der er svære at behandle, har store samfundsøkonomiske konsekvenser, idet de ofte er meget tids- og ressourcekrævende. Det er derfor vigtigt at finde nye behandlingsmetoder til at bekæmpe bakterielle biofilm. Mikro/nanomotorer er et relativt nyt forskningsfelt, med lovende muligheder inden for biomedicin. De små motorer kan omdanne forskellige typer af energi til bevægelse, hvilket gør dem i stand til, rent mekanisk, at ødelægge en biofilm. Kombineret med antibakteriel medicin forventes mikro-/nanomotorer at udgøre en ny og lovende behandlingsmetode til bekæmpelse af bakteriel biofilm.

Biofilm findes overalt i naturen, fx som belægninger på sten og i rørføringer. Hos mennesker kan der blandt andet dannes biofilm på tænderne og i lungerne. Biofilm består af samlinger af bakterier og ekstracellulært slim. Dette danner en matrix, som beskytter bakterierne, og som gør det vanskeligt at bekæmpe dem. Derfor kan biofilm langsomt udvikle sig til besværlige infektioner [1,2], som ofte kræver medicinsk behandling. En traditionel antibakteriel behandling er ofte langvarig, og er desværre ikke altid tilstrækkelig til at bekæmpe disse typer af infektioner [2].

Pseudomonas aeruginosa (PA) er en bakterie, som er kendt for at danne biofilm. Ikke alle bakterier resulterer i sygdom, og PA udvikler sig ofte ikke til sygdom hos raske personer. For svækkede individer, kan PA imidlertid udvikle sig til alvorlige og potentielt livstruende infektioner [1]. PA er specielt forbundet med lungebetændelse, som er en hyppig komplikation ved hospitalsindlæggelse. Grundet biofilms evne til at udvikle resistens overfor antibakteriel medicin, er behandlingen ofte ressourcekrævende i form af både medicin og pleje [1].

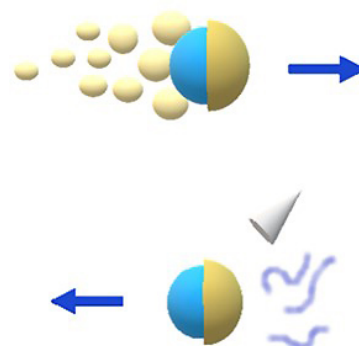
Mikro/nanomotorer

Mikro/nanomotorer kan være en ny metode til at bekæmpe biofilm. De er små enheder, som er i stand til at omdanne forskellige typer af energi til kinetisk energi, og derved bevæge sig i et medium. Idéen med behandlingen er at bryde biofilmens slimede matrix, da det forventes, at en mekanisk ødelæggelse af biofilmen vil gøre denne type infektioner mindre modstandsdygtige og dermed lettere at bekæmpe med nye eller allerede kendte behandlingsmetoder.

Typisk inddeles mikro/nanomotorer i kemiske og eksternt drevne motorer, som hver har deres styrker og svagheder [3]. En typisk mikro-/nanomotor fremstilles af sfæriske mikro- eller nanometer store partikler, hvor den halve sfære dækkes af et lag metal. Fremdriften af motorerne skyldes forskellige mekanismer, alt efter hvilke materialer, der anvendes. Afhængig af fremdriftsmekanismen vil metallaget enten fungere som katalysator eller som skjold for fremdrift, og dermed

bestemme retningen for bevægelsen [4].

En illustration af to eksempler på fremdrift kan ses på figur 1, som viser boblefremdrift og termoforese. Boblefremdrift hører under kategorien "kemisk drevne motorer". Her bevæger motorerne sig som følge af en kemisk reaktion, hvor der dannes små bobler. Hvis den kemiske reaktion sker mellem partiklen og dens omgivelser, vil metalhætten fungere som en form for skjold for bobledannelsen. Et eksempel er brugen af magnesiumpartikler, der reagerer med syre. En kontinuerlig dannelse af bobler skaber fremdriften, og får motorerne til at bevæge sig i retning af metalhætten [5].



Figur 1. Fremdriftsmekanismer for mikro/nanomotorer. Blå pile repræsenterer fremdriftsretningen. Øverst: Boblefremdrift. Nederst: Termoforese.

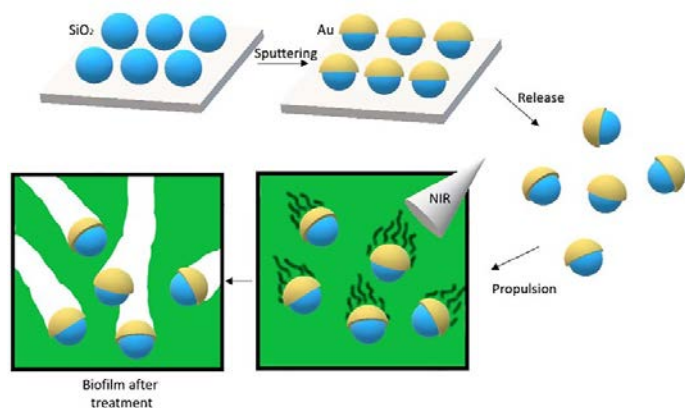
Denne metode er populær idet disse typer af mikro/nanomotorer kan opnå høje hastigheder, hvilket er vigtigt, for at kunne overvinde biologiske barrierer [6]. Kemisk drevne motorer har dog vist sig at give udfordringer med toksicitet i væv, når de anvendes i kroppen [3].

Eksternt drevne motorer er mindre invasive. Mikro/nanomotorer, der drives af nær infrarødt (NIR) lys, er interessante, da NIR-lys kan gennemtrænge huden uden at påvirke vævet [6]. Disse motorer bevæger sig ved at omdanne varmeenergi til kinetisk energi, en mekanisme kendt som termoforese. Silica/guld ($\text{SiO}_2\text{-Au}$) nanopartikler er et eksempel på NIR-drevne nanomotorer, som bevæger sig ved termoforese [3]. NIR-lys opvarmer metalhætten, hvilket skaber en

temperaturforskel i omgivelserne. Temperaturforskellen får nanomotorerne til at bevæge sig mod den lavere temperatur, altså i modsat retning af metalhætten [7], som vist på figur 1b. Motorer, hvor fremdriften er skabt ved termoforese har, modsat de kemisk drevne motorer, gode egenskaber med hensyn til biokompatibilitet, men kan bevæge sig noget langsommere [6,7].

I det følgende vil vi fokusere på, hvordan SiO₂-Au-nano-motorer kan bruges til at ødelægge en PA-biofilm.

Eksternt drevne mikro/nanomotorer, som SiO₂-Au, er meget interessante, da de ikke afhænger af kemiske reaktioner. SiO₂ bruges bredt inden for biomedicin, da disse partikler har gode biokompatible egenskaber [8]. Selvom Au er et forholdsvis dyrt materiale, bruges det ofte i forbindelse med nanomotorer på grund af materialets fototermske egenskaber. Disse egenskaber gør materialet ideelt til fremdrift ved termoforese. SiO₂-Au-partikler anses for at være en god kandidat til en nanomotor til brug inden for medicinsk behandling [8].



Figur 2. Skematisk repræsentation af fabrikation og anvendelse af SiO₂-Au-nanomotorer. Det grønne materiale repræsenterer biofilm.

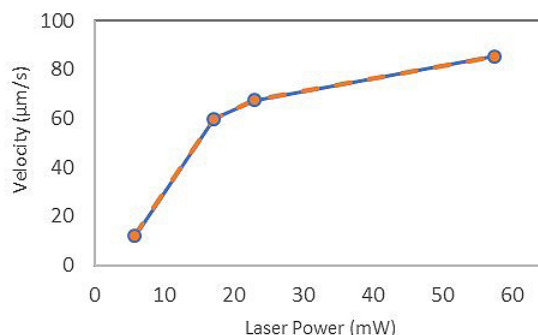
Bevægelse af nanomotorer

Før nanomotorerne kan anvendes i medicinsk behandling er det essentielt, at deres egenskaber undersøges. For at undersøge SiO₂-Au-nanomotorers bevægelse og hastighed anvendes et mikroskop med en NIR-laser. Med mikroskopet er det muligt at justere lysintensiteten målt i mW. Dvs. ud over at observere motorerne ved forskellige bølgelængder kan man undersøge, hvilken påvirkning lysintensitet har på motorernes hastighed.

Der optages korte time-lapse-videoer, hvorefter nanomotorerne følges manuelt. Ved at følge motorernes bane er det muligt at beregne hastigheden. De to stiplede grafer på figur 3 viser gennemsnitshastighederne for de fulgte nanomotorer, undersøgt ved laser-bølgelængder på henholdsvis 800 nm (orange) og 900 nm (blå). Fra graferne kan man se, at hastigheden stiger, når lysintensiteten øges, og laserintensiteten er således en afgørende faktor for SiO₂-Au-nanomotorers hastighed. Grafen viser, at nanomotorerne kan opnå hastigheder på mellem 10 og 85 $\mu\text{m/s}$ for NIR-lysintensiteter mellem 6 og 57 mW. I dette interval ses hastigheden at have en logaritmisk sammenhæng med lysintensiteten. Det kan derfor tyde på, at nanomotorernes hastighed har en øvre

grænse, og at denne ikke er opnået ved de undersøgte intensiteter.

Undersøgelsen her fokuserede på SiO₂-Au-nanomotorer i vand, men da nanomotorerne er tiltænkt anvendelse i medicinsk behandling, vil det være relevant at kigge på, hvordan nanomotorernes hastighed observeres i forskellige kropslige miljøer, som for eksempel blod og slim.



Figur 3. Gennemsnitshastighed af SiO₂-Au-nanomotorer for 800 nm (orange) og 900 nm (blå).

Aktive SiO₂-Au-nanomotorers effekt på *Pseudomonas aeruginosa*-biofilm

Udover SiO₂-Au-nanomotorernes hastighed har vi også undersøgt deres evne til at ødelægge biofilm. Til dette blev PA-biofilm kultiveret i fire netter, hvorefter en vandig opløsning af nanomotorer blev tilsat biofilmen. Dernæst blev biofilmen udsat for NIR-lys i henholdsvis 30, 60 og 180 sekunder. Resultaterne fremgår af figur 4, som også inkluderer et kontrolresultat fra en biofilm, som ikke blev udsat for behandling.

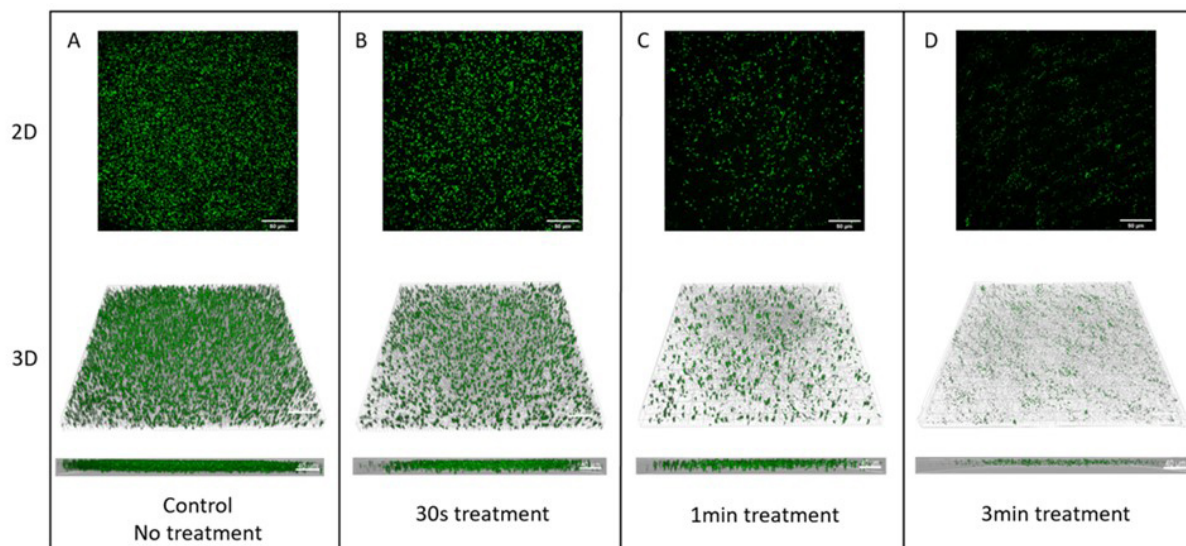
Efter kun 30 sekunders behandling kan man se en synlig forskel i biofilmens densitet (figur 4B), mens et tydeligt fald i biofilmens densitet kan ses efter tre minutters behandling (figur 4D) med aktive SiO₂-Au-nanomotorer. Det kan dermed forventes, at en længere behandlingstid vil ødelægge biofilmen yderligere, og der er mulighed for fuldstændigt at destruere biofilmen. Disse resultater indikerer en god effekt af behandlingen. Det er dog vigtigt at huske, at faktorer som biofilmens tykkelse, samt koncentrationen af nanomotorer, kan have indflydelse på effekten af behandlingen.

Det vil i fremtiden være interessant at kigge på behandlingsmetoder, som kombinerer nanomotorer med antibakteriel medicin for at vurdere effekten i forhold til nuværende behandlingsmetoder.

Fremtiden for nanomotorer til bekæmpelse af biofilm

Med deres lille størrelse og brugervenlige natur viser SiO₂-Au-nanomotorer stort potentiale inden for bekæmpelse af PA-biofilm under NIR-lys. Disse nanomotorer bevæger sig på baggrund af termoforese, hvor en temperaturforskel i omgivelser får SiO₂-Au-nanomotorerne til at bevæge sig. Denne mekanisme, sammen med NIRs evne til at gennemtrænge menneskeligt væv uden at gøre skade, gør SiO₂-Au-nanomotorer idéelle til brug i biomedicin.

Det er dog vigtigt at nævne, at dette ikke dræber bakterierne, men blot ødelægger den matrix, bakterierne



Figur 4. *Pseudomonas aeruginosa*-biofilm behandlet med SiO₂-Au-nanomotorer A) før og B-D) efter behandling. Behandlingstid B) 30 sekunder, C) 1 minut og D) 3 minutter.

danner. Idet biofilmen ødelægges, vil bakterierne blive mindre modstandsdygtige overfor behandling, og vil derfor formegentlig lettere kunne bekæmpes med antibakteriel medicin. Det vil være interessant at tilføje medicin til nanomotorerne for en samlet kombinatorisk effekt – eller blot kombinere nanomotorbehandlingen med kendte antibakterielle behandlingsmetoder.

Litteratur

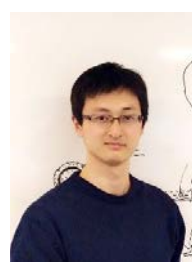
- [1] M.T.T. Thi m.fl. (2020) “*Pseudomonas aeruginosa* biofilms”, *International Journal of Molecular Sciences*, bind **21**, side 8671.
- [2] L.K. Vestby m.fl. (2020) “Bacterial biofilm and its role in the pathogenesis of disease”, *Antibiotics*, bind **9**, side 59.
- [3] C. Gao m.fl. (2020) “Biomedical micro-/nanomotors: from overcoming biological barriers to in vivo imaging”, *Advanced Materials*, bind **33**, side 2000512.
- [4] H. Wang og M. Pumera (2015) “Fabrication of micro/nanoscale motors”, *Chemical Reviews*, bind **115**, side 8704–8735.
- [5] Q. Chi m.fl. (2018) “A review of fast bubble-driven micromotors powered by biocompatible fuel: Low-concentration fuel, bioactive fluid and enzyme”, *Micromachines*, bind **9**, side 537.
- [6] X. Zhou m.fl. (2021) “Light/gas cascade-propelled Janus micromotors that actively overcome sequential and multi-staged biological barriers for precise drug delivery”, *Chemical Engineering Journal*, bind **408**, side 127897.
- [7] L. Xu m.fl. (2017) “Light-driven micro/nanomotors: From fundamentals to applications”, *Chemical Society Reviews*, bind **46**, side 6905–6926.
- [8] S. Wang m.fl. (2019) “Biocompatibility of artificial micro/nanomotors for use in biomedicine”, *Nanoscale*, bind **11**, side 14099–14112.



Amalie Løvind er kandidatstuderende ved DTU og KU inden for Medicin og Teknologi.



Tijana Maric er postdoc ved Institut for Sundhedsteknologi på DTU. Hun forsker i mikromotorer til oral medicinafgivelse.



Zhongyang Zhang er postdoc ved Institut for Sundhedsteknologi på DTU. Hans forskning er fokuseret på tekniske anvendelser af nano-bio-grænsefladen til oral medicinafgivelse.



Jiayue Geng er ph.d-studerende ved College of Marine Life Sciences, Ocean University of China. Hun var gæstestuderende ved Institut for Sundhedsteknologi på DTU fra 2021-2022.



Anja Boisen er leder af grundforskningscentret Center for Intelligent Drug Delivery and Nanomechanical Sensors (IDUN).

Hyperspektral termografi: Brug lys som termometer

Mads Nibe Larsen, Newtec Engineering A/S & NanoSYD – Mads Clausen Instituttet, Syddansk Universitet

Når det skal undersøges, om isoleringen af huse er tilstrækkelig, bruges termiske kameraer ofte til at få et overblik over, hvor varmen slipper ud. En problematik her er dog, at forskellige materialer udsender forskellige mængder varmestråling – også selvom de har samme temperatur. Dette “snyder” traditionelle varmefølsomme kameraer, der typisk baserer deres temperaturbestemmelse på mængden af varmestråling, de opfanger. I denne artikel præsenteres det, hvordan et hyperspektralt termografisk kamera kan udnyttes til først at genkende forskellige materialer og dernæst bestemme deres temperatur. Denne kamerateknologi er udviklet som led i et “ErhvervsPhD”-samarbejde mellem Newtec Engineering A/S og Syddansk Universitet.

Alle legemer med en temperatur over det absolutte nulpunkt udsender termisk stråling (også kaldet varmestråling). Denne stråling (infrarødt lys) udsendes, fordi den termiske energi i legemet får dets atomer og elektroner til at vibrere. En højere temperatur fører til flere vibrationer og dermed også mere termisk stråling. Termografiske kameraer udnytter denne kobling til at fastlægge et legemes overfladetemperatur ved at måle mængden af stråling, der udsendes.

Termisk stråling

I forbindelse med varmestråling henvises der ofte til et *sort legeme*, som er et idealiseret objekt, der udsender så meget termisk stråling som teoretisk muligt. Mængden og fordelingen af denne stråling er beskrevet ved Plancks strålingslov:

$$M_{SL}(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/(\lambda k_B T)} - 1}, \quad (1)$$

hvor M_{SL} beskriver et sort legemes spektrale eksitans, hvilket er et mål for den effekt, det sorte legeme udsender pr. areal pr. bølglængde [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{m})$]. M_{SL} afhænger både af bølglængden, λ , og temperaturen, T . Derudover angiver $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{Hz}^{-1}$ Plancks konstant, $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$ lysets hastighed og $k_B = 1,381 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ Boltzmanns konstant. Ved højere temperaturer øges eksitansen, og samtidig rykkes kurvens toppunkt mod kortere bølglængder (figur 1). Sammenhængen mellem placeringen af kurvens toppunkt og det sorte legemes temperatur er beskrevet af Wiens forskydningslov:

$$\lambda_{\max} T = 2897,8 \text{ } \mu\text{m} \cdot \text{K}, \quad (2)$$

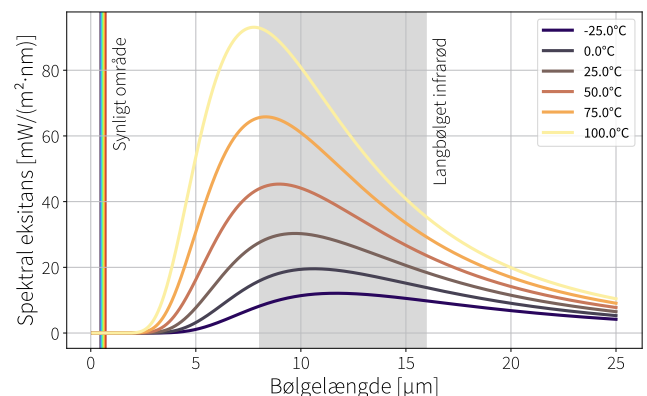
hvor $\lambda_{\max}$ er bølglængden, hvor eksitansen er størst.

Ligning (1) angiver et sort legemes eksitans pr. bølglængde. Et udtryk for den samlede eksitans på tværs af alle bølglængder kan opnås ved:

$$B_{SL}(T) = \int_0^\infty M_{SL}(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4, \quad (3)$$

hvor $\sigma = 5,670 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ er Stefan-Boltzmanns konstant. Fra ligning (3) kan det ses, at den samlede eksitans er proportional med temperaturen i fjerde potens. En lille ændring i temperaturen vil således

medføre en stor ændring i den irradians, et kamera vil opfange.



Figur 1. Spektral eksitans af perfekt sort legeme ($\varepsilon = 1$) ved forskellige temperaturer. Kurverne angiver fordelingen af udsendt varmestråling som funktion af bølglængden, som beskrevet i ligning (1). Indtegnet er også det synlige bølglængdeområde ($\approx 400 - 750 \text{ nm}$) samt det langbølgede infrarøde område ($\approx 8 - 16 \text{ } \mu\text{m}$), der er de bølglængder de fleste varmefølsomme kameraer virker indenfor.

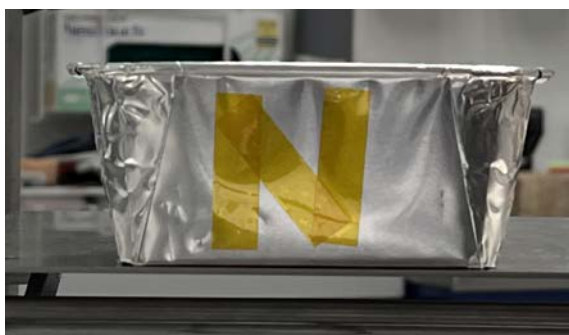
Det burde derfor være nemt at fastlægge et legemes temperatur med et termografisk kamera baseret på, hvor meget stråling, der rammer billedsensoren – men den virkelige verden er ikke så ligetil. Indtil nu har alle betragtninger været under antagelse af, at der er tale om et sort legeme. “Virkelige” materialer udsender mindre varmestråling end et sort legeme, og der indføres derfor en materialespecifik parameter: emissivitet (ε). Denne beskriver forholdet mellem eksitansen for det konkrete materiale, $M(\lambda, T)$, og et teoretisk sort legeme, $M_{SL}(\lambda, T)$:

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{M(\lambda, T)}{M_{SL}(\lambda, T)}. \quad (4)$$

Da et sort legeme udsender den størst mulige mængde termisk stråling ved en given temperatur, vil emissiviteten for et virkeligt materiale ligge mellem 0 og 1. Emissiviteten er i langt de fleste tilfælde bølglængdeafhængig. Det betyder, at formen af det spektrum, som materialet udsender, afviger fra formen givet ved Plancks strålingslov (figur 1 og ligning (1)).

Selvom spektrene normalt er forskellige fra Planck-kurven, kan termografiske kameraer alligevel bruges til at fastlægge materials temperatur. Dette kræver blot,

at kameraet er kalibreret til det specifikke materiale, der kigges på. Det betyder dog, at kameraet kun kan bruges til at bestemme temperaturen af ét materiale ad gangen. Er der stor forskel mellem emissiviteterne af de forskellige materialer i billedet, er det svært at vurdere deres temperaturer præcist. Figur 2 illustrerer denne problemstilling. Her ses på en aluminiumsbeholder, der er fyldt op med varmt vand. På beholderens ene side er påklisteret et "N" lavet af polyimidtape (Kaptontape). Polyimidfilm bruges ofte indenfor fx elektronikindustrien pga. dets isolerende egenskaber og høje varmeresistens. Aluminium har en meget lav emissivitet ($\varepsilon < 0,1$) mens emissiviteten af polyimid-tape er relativt høj ($\varepsilon \approx 0,95$). Generelt gælder det, at emissiviteten af reflekterende materialer (som de fleste metaller) er forholdsvis lav. Selvom både aluminium og polyimidtape her har samme temperatur, observeres en stor kontrast på det termiske billede (figur 2b). Uden tilstrækkelig information om materialerne i billedet ser N'et derfor ud til at have en betydeligt højere temperatur end resten af foliebakken.



a) RGB farvebillede



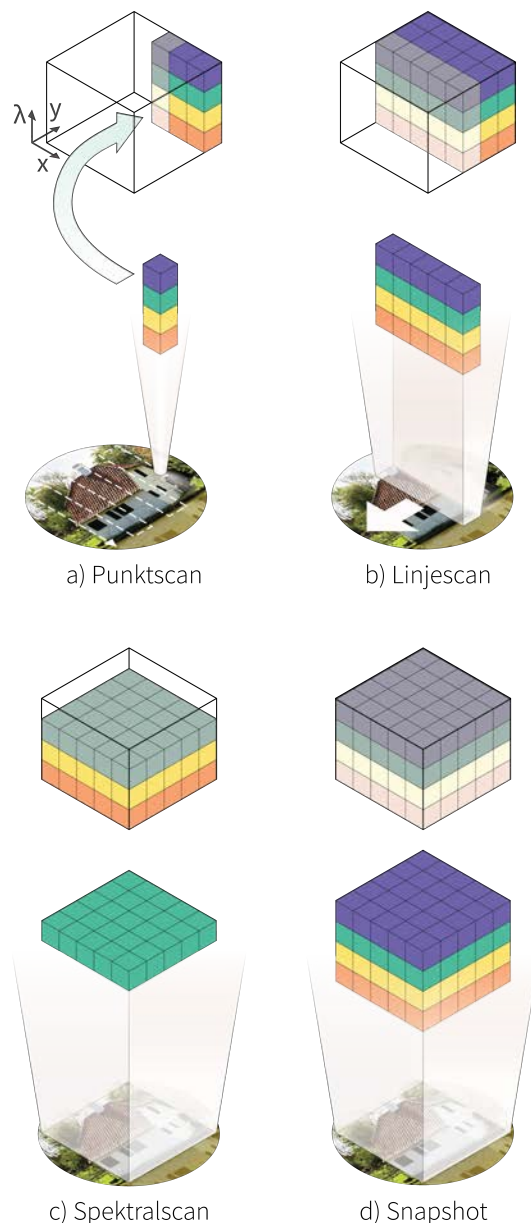
b) Termisk billede

Figur 2. Sammenligning mellem traditionelt farvebillede taget med en smartphone (a), og et termografisk billede taget med et varmefølsomt kamera (b) – lysere farve indikerer højere intensitet. Motivet er en foliebakke fyldt med varmt vand med et "N" af polyimidtape påklisteret foliebakkens forside. Den store kontrast mellem materialerne i det termografiske billede skyldes forskellen mellem aluminiums og polyimidfilms emissivitet.

Introduktion til hyperspektrale billeder

Billeder er ofte blevet brugt til både kvalitative og kvantitative analyser indenfor mange forskellige videnskabelige felter. I årenes løb har hyperspektrale billedteknikker også vundet indpas, da de åbner døren for en lang række analysemetoder, som ikke understøttes af konventionelle farve- og gråtonebilleder. Det er fx bestemmelse af kemiske sammensætninger – eksempelvis ifm. detektion og identifikation af mikroplast [1],

screening af forskellige former for kræft [2] eller kortlægning af iltmætningen på nethinden for at undersøge øjets tilstand [3].



Figur 3. De mest gængse hyperspektrale billedteknikker. a) *Punktscan*: Spektret i hver pixel optages individuelt. b) *Linjescan*: Spektret af en hel række pixels optages samtidig. c) *Spektralscan*: Alle pixels måles på samme tid, men kun for én spektral kanal ad gangen. d) *Snapshot*: Spektret i alle pixels optages på én gang.

Et hyperspektralt billede kan ses som en videreudvikling af de almindelige farvebilleder, vi kender fra eksempelvis mobiltelefoner. Her optages det synlige lys i tre diskrete bånd: ét rødt, ét grønt og ét blåt (RGB). Den eneste forskel på almindelige RGB-billeder og hyperspektrale billeder er blot antallet af bånd (eller farver), der optages. Her er det ikke ualmindeligt, at hyperspektrale billeder kan bestå af mere end 100 spektrale bånd. Man refererer derfor til hyperspektrale billeder som *datakuber*, da de har to rummelige akser (som et almindeligt billede) samt en spektral akse. Denne datastruktur kan sammenlignes med et spil kort, hvor hvert enkelt kort i bunken gengiver motivet i et snævert udsnit af det elektromagnetiske spektrum.

Der er mange måder, hvorpå man kan optage et hyperspektralt billede, og typisk skelnes der mellem fire generelle teknikker: Punktscan, linjescan, spektralscan og snapshot (figur 3). Punktscanning refererer til en teknik, hvor kun ét spektrum – i én pixel måles ad gangen. Det vil sige, at for at kunne danne en komplet datakubest skal kameraet eller motivet flyttes ift. hinanden langs begge akser i rummet, hvorved datakuben fyldes ét spektrum ad gangen. Ofte kombineres denne teknik med mikroskoper, hvor prøvens placering kan styres præcist imens spektrene måles.

Linjescanning ligner til forveksling punktscanning, men her optages spektrene i en hel linje af pixels på én gang. Dette betyder dog stadig, at kamerasystemet og motivet skal bevæges relativt til hinanden for at optage den sidste rum-dimension. Denne teknik er også kendt som *push broom scanning*, og ses typisk installeret over transportbånd, hvor emnerne kan passere forbi kameraet med en kendt hastighed.

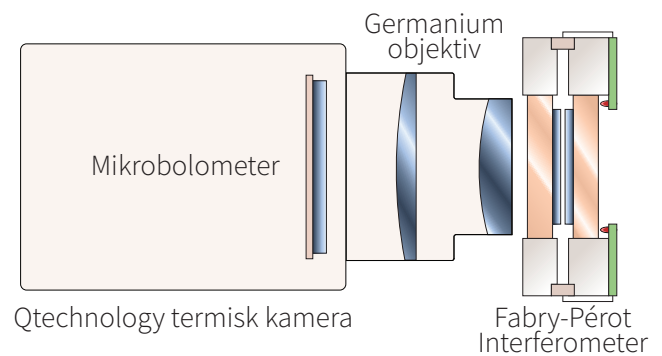
Ved spektralscanning optages alle pixels på én gang, men kun ét spektralt bånd ad gangen. Denne teknik kræver således *ikke*, at kamera og motiv bevæges ift. hinanden og er derfor særdeles anvendelig til afbildning af ting, som ikke kan være på et transportbånd eller under et mikroskop – dette kunne fx være bygninger.

Den sidste af de mest gængse teknikker er snapshot billeddannelse, som er unik idet al spektral og rummelig information optages på samme tid. Dette betyder at teknikken er utroligt hurtig, da den hverken skal scanne de rumlige eller spektrale dimensioner. Dette sker dog på bekostning af relativt komplicerede optiske systemer eller rekonstruktionsalgoritmer.

Det hyperspektrale termografiske kamera

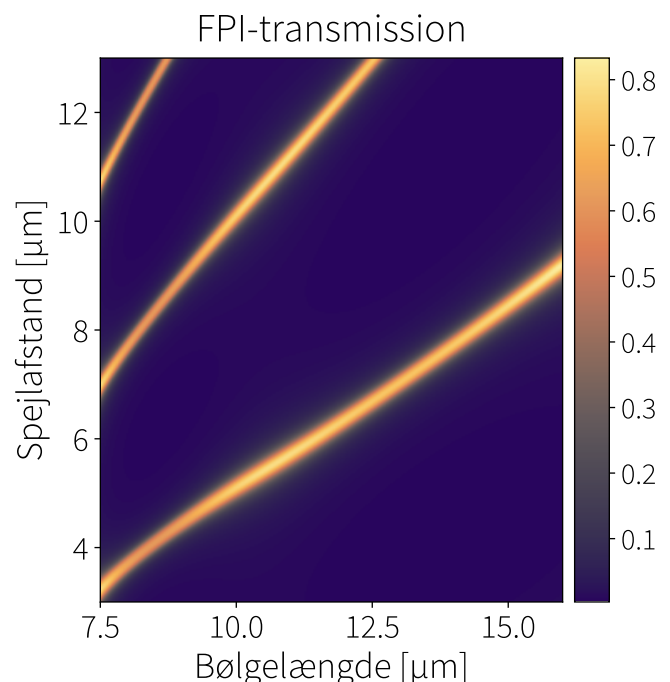
Termografiske kameraer, der er følsomme overfor varmestråling og kan bruges til at vurdere legemers overfladetemperatur, er ikke nogen ny eller eksotisk teknologi. Til gengæld er udbuddet af *hyperspektrale* termografiske kameraer (HTK'er) ikke stort. De eksisterende løsninger er typisk både tunge, svære at flytte på og utroligt dyre. Det HTK, som resten af artiklen omhandler, er udviklet og bygget gennem et samarbejde mellem Newtec Engineering A/S fra Odense og Syddansk Universitet. Dette kamerasystem benytter et scannende Fabry-Pérot interferometer (FPI) til at filtrere lyset. Et FPI består af to delvist reflekterende spejle, som er placeret med en afstand på $\approx 5 \mu\text{m}$ fra hinanden. Afstanden mellem spejlene er afgørende for, hvilke bølglængder der transmitteres gennem FPI'et, og ved at kontrollere spejlafstanden kan FPI'et derved fungere som et variabelt båndpasfilter. Placeres FPI'et foran et "almindeligt" termografisk kamera (figur 4), konverteres det til en spektralscanner, idet spejlafstanden kan kontrolleres imens billederne optages.

Platformen for det termiske kamera er udviklet af Qtechnology, og er udstyret med en mikrobolometersensor. Her består hver eneste pixel af et lille varmefølsomt element, hvis elektriske modstand er afhængig af dets temperatur. Til at fokusere lyset ned på sensoren bruges et objektiv af germanium, da almindeligt glas er ugenomsigtigt for termisk stråling.



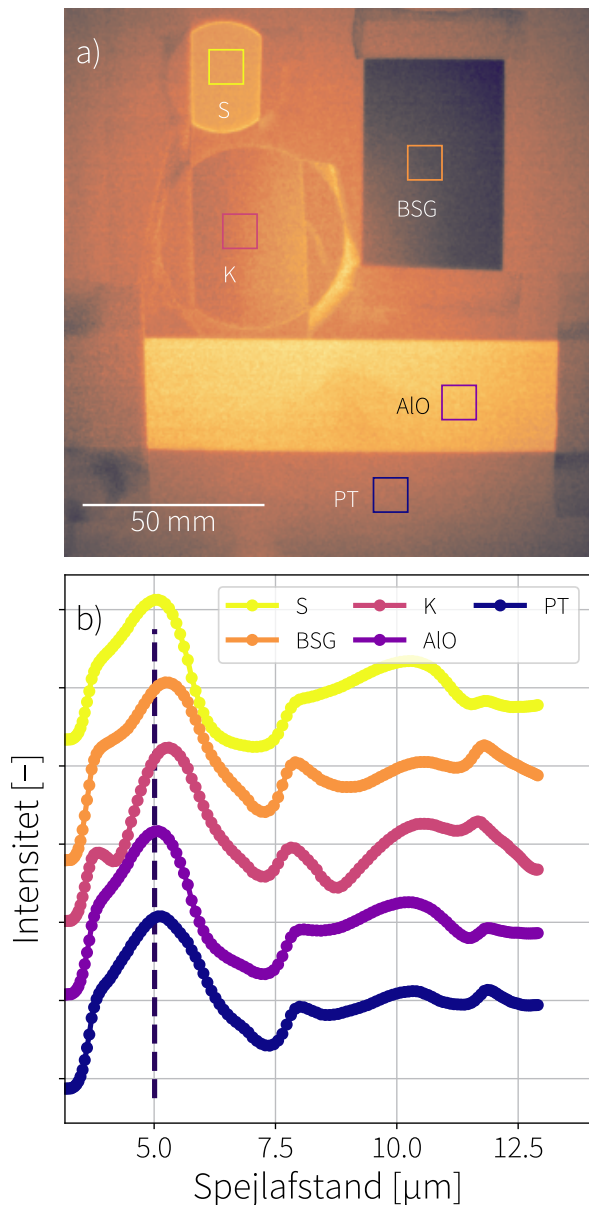
Figur 4. Illustration af hyperspektralt termografisk kamera (ikke i skala).

Fortolkningen af den datakubest, der kommer ud af dette HTK, er dog ikke så ligetil. For det første er enheden af den spektrale akse ikke bølglængde, men derimod spejlafstand. Ydermere repræsenterer hvert lag i kubest ikke kun én bølglængde, men flere. Som det kan ses i figur 5, kan den samme bølglængde gå igen flere gange i samme spektrum. Eksempelvis vil lys med en bølglængde på $8 \mu\text{m}$ kunne observeres ved $3,68 \mu\text{m}$, $7,66 \mu\text{m}$ og $11,7 \mu\text{m}$ spejlafstand – disse refereres til som hhv. 1., 2. og 3. transmissionsorden. At den samme information optræder flere gange i samme spektrum, er ikke et problem. Problemet opstår dog, når flere bølglængder lukkes igennem ved samme spejlafstand, som det er tilfældet ved fx $8 \mu\text{m}$ spejlafstand. Her lukkes lys med bølglængderne $8,27 \mu\text{m}$ og $14,4 \mu\text{m}$ igennem FPI'et, og man kan derfor ikke være sikker på, hvilke bølglængder, der er skyld i det signal, der optages med kameraet. Dette er imidlertid kun et problem, hvis man ønsker at sammenholde de spejlafstandsafhængige spektre med de bølglængdeafhængige spektre, som vi er vant til fra mere konventionelle spektrale teknikker.



Figur 5. Sammenhæng mellem spejlafstand, bølglængde og transmission for et scannende Fabry-Pérot interferometer med termiske spejle. Transmissionen gennem FPI'et er beregnet ved brug af transfermatrix-metoden, der tager højde for, hvordan lys opfører sig i hvert lag af den tyndfilmsstabel, der udgør spejlene.

I det næste afsnit gives kort præsentation af resultater fra [4], og det vises, hvordan dette HTK kan bruges til at skelne mellem forskellige dielektriske materialer på baggrund af spektrale forskelle, og her er denne sammenblanding af bølgelængder ikke et problem.

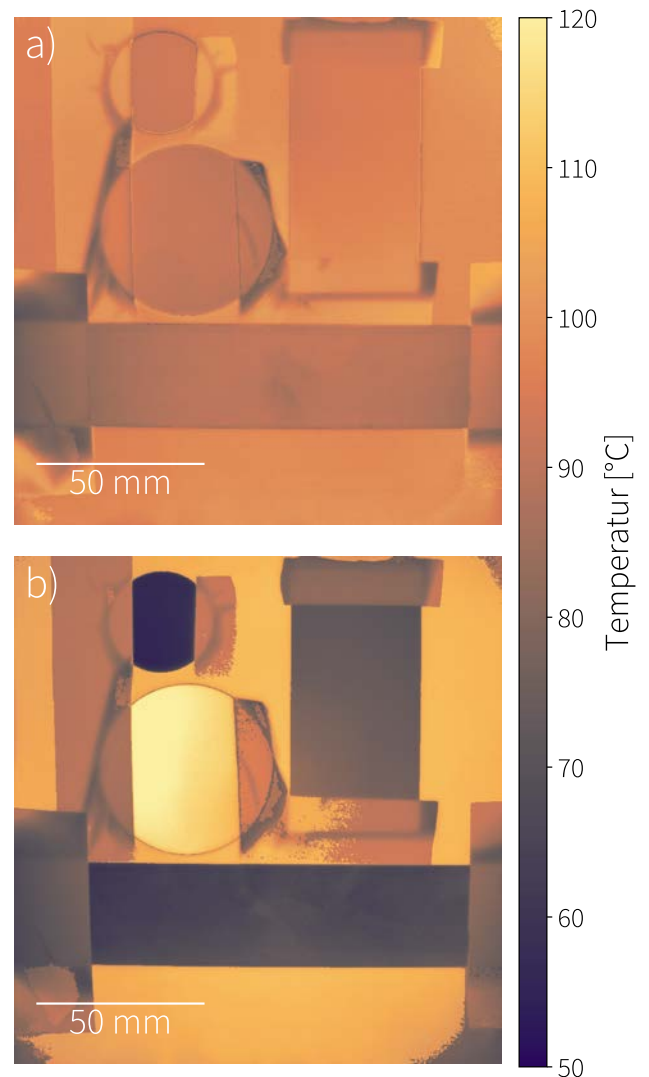


Figur 6. a) Termisk billede af fem forskellige dielektriske materialer ved 97°C. Billedet er en del af en hyperspektral datakub og er taget ved en spejlfstand på 5 µm. De fem materialer er: Safirglas (S), borosilikatglas (BSG), kvartsglas (K), keramik af aluminiumoxid (AlO) og polyimid/kapton-tape (PT). b) Spektre for hvert af de fem materialer. Hvert spektrum er midlet på tværs af de farvede firkanter i a). Den sorte stiplede linje ved 5 µm angiver den spejlfstand, hvorved billedet i a) er optaget. Spektrene er forskudt langs y-aksen for lettere at kunne skelne dem fra hinanden.

Materialegenkendelse og efterfølgende temperaturbestemmelse

Der er i [4] set på fem forskellige materialer: Safirglas (S), borosilikatglas (BSG), kvartsglas (K), keramik baseret på aluminiumoxid (AlO) og polyimidtape (PT) (figur 6a). Alle prøverne er monteret på en aluminiumsklods, som er beklædt med polyimidtape. Prøverne

er fastgjort med yderligere polyimidtape således, at der flere steder vil være dobbeltlag. Der tages 20 hyperspektrale billeder ved varierende prøvetemperaturer fra 34°C til 100°C. Halvdelen af billederne bruges til at træne to forskellige maskinlæringsmodeller (træningssæt), mens den anden halvdel bruges til at validere modellerne (testsæt).



Figur 7. a) Materialeafhængig temperaturbestemmelse. Her er materialet først blevet genkendt med en MLR-model, hvorefter en passende PLS-model er brugt til at bestemme temperaturen. Overfladetemperaturen varierer en smule på grund af materialernes forskellige tykkelser, men ligger generelt mellem 90°C og 100°C. b) Her anvendes samme materialegenkendelsesmodel som i a), men PLS-modellerne er byttet rundt på tværs af materialerne. Således bruges safirmodellen til at forudsige temperaturen af borosilikatglasset (PLS_S → MLR_{BSG}). Resten af modelombytningerne kan beskrives ved: PLS_{BSG} → MLR_S, PLS_{AlO} → MLR_K, PLS_{PT} → MLR_{AlO} og PLS_K → MLR_{PT}. Her spænder temperaturbestemmelserne fra ca. 50°C til over 120°C.

De målte spektre i træningssættet (figur 6b) bruges til at træne en *multinomial logistisk regressions*- (MLR) model. Træningen sker ved, at modellen præsenteres for en lang række spektre med dertilhørende materialeangivelser. Når modellen efterfølgende præsenteres for et nyt, ukendt spektrum, sammenholder den det med de spektre, den allerede er trænet på. Det nye spektrum tildeles derpå en label, som svarer til det materiale, som

modellen vurderer spektret med størst sandsynlighed stammer fra.

Efter at materialerne er blevet genkendt, skal temperaturen fastlægges. Dette gøres med en partiel mindste kvadraters metode (*partial least squares*) (PLS). Denne model bruger kovariansen mellem spektrene og den temperatur, de er optaget ved, til at lave præcise temperaturestimer. Her viser det sig, at PLS-modellen er materialeafhængig. I figur 7a er de korrekte PLS-modeller, som bestemt af MLR-modellen, blevet brugt til at vurdere temperaturen af de forskellige materialer. Alle materialerne har i virkeligheden omtrent samme temperatur med nogle mindre variationer som skyldes forskelle i prøvernes tykkelse. Derudover viser det sig, at MLR-modellen har svært ved at genkende dobbeltlag af polyimidtape korrekt. Temperaturforudsigelserne ligger dog stadig indenfor ca. 10°C af hinanden på tværs af billedet. Figur 7b viser derimod temperaturestimer, hvor der er blevet byttet rundt på PLS-modellerne. Her observeres det, at der er et stort spænd i de forudsagte temperaturer. Her anslås det, at nogle af prøverne ligger omkring 50°C, mens andre ligger over 120°C. Den faktiske overfladetemperatur burde ligge omkring 97°C.

Eksemplet her viser, at det er muligt at skelne mellem forskellige dielektriske materialer på baggrund af deres spektre, og vigtigheden af at anvende den korrekte temperaturmodel til bestemmelse af overfladetemperatur. Der kan bygges videre på forsøgsresultaterne ved tilføjelse af mere relevante byggematerialer såsom mursten, træværk, beton, vinduesglas mv. Ved forbedring af kameraets evne til at kende forskel på materialer ved lavere temperaturer end stuetemperatur, vil det være muligt at bruge systemet til korrekt temperaturbestemmelse af eksempelvis huse uafhængigt af byggematerialet.

I denne korte artikel er der kun plads til en meget kort opsummering af, hvordan det hyperspektrale termografiske kamera fungerer samt forsøgsresultater. Hvis man ønsker et mere detaljeret indblik i kameraets virkemåde og resultaterne fra forsøget, henvises der til artiklen [4].

En særlig tak til

En lang række mennesker spiller til daglig en stor rolle for, at dette projekt kan realiseres. Først og fremmest mine vejledere: Jakob-Kjelstrup Hansen fra NanoSYD, Mads Clausen Instituttet ved Syddansk Universitet og Bjarke Jørgensen fra Newtec Engineering A/S. Derudover en masse skønne kollegaer hos Newtec Engineering A/S, og i særdeleshed Anders Løchte Jørgensen og Victor Petrunin. Til sidst skal det også nævnes, at Danmarks Innovationsfond yder økonomisk støtte til ErhvervsPhD-projektet.

Litteratur

- [1] A. Faltynkova, G. Johnsen og M. Wagner (2021) "Hyperspectral imaging as an emerging tool to analyze microplastics: A systematic review and recommenda-

tions for future development", *Micropl. & Nanopl.*, bind 1, artikel 13.

- [2] G. Lu og B. Fei (2014) "Medical hyperspectral imaging: a review", *J. Biomed. Opt.*, bind 19, artikel 10901.
- [3] W. R. Johnson, D. W. Wilson, W. Fink, M. S. Humayun M.D. og G. H. Bearman (2007) "Snapshot hyperspectral imaging in ophthalmology", *J. Biomed. Opt.*, bind 12, artikel 014036.
- [4] A. L. Jørgensen, M. N. Larsen, V. Petrunin, J. Kjelstrup-Hansen og B. Jørgensen (2022) "Surface temperature determination using long range thermal emission spectroscopy based on a first order scanning Fabry-Pérot interferometer", *Opt. Express*, bind 30, side 2186–2196.



Mads Nibe Larsen er ErhvervsPhD-studerende hos Newtec Engineering A/S samt hos NanoSYD, Mads Clausen Instituttet ved Syddansk Universitet i Sønderborg. Her arbejder han med både udvikling og anvendelse af hyperspektrale termografiske systemer.

PFEIFFER VACUUM

Nyhed
Oliefri vacuumpumpe - HiScroll (6-20 m³/t)
Ekstrem lyd- og vibrationssvag pumpe med kompakt design

Tlf. 3166 8708
Lars.Scholtel@pfeiffer-vacuum.dk
www.pfeiffer-vacuum.com

De Nova Stella – Tycho Brahes bog om den nye stjerne

Christian Marinus Taisbak

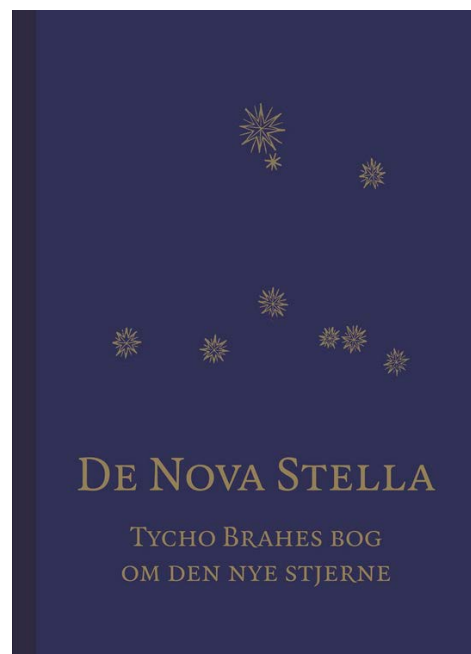
En smuk bog i solidt fast bind, holdt helt i mørkeblå nathimmelfarve med tekst i mælkevejsformat. En bog til at bruge, umulig at slide op, skønt den fortjener det. En tosproget bog på europæisk latin og formfuldendt dansk, døde sprog? I hvert fald sjældne i fuld blomstring i det 21. århundredes 3. årti. Bogen er, som en kapitelovertitel lyder, en omhyggeligt planlagt bog om en skandinav, en skåning i København, som af skæbnen blev begunstiget med talent, familie, adelige og kloge venner og (ikke mindst!) af Naturen. Den lod ham opleve det astronomiske teaters glansnummer, en stjernes død, en supernova, og lod ham forstå, hvad han oplevede, med de bedste hjælpemidler og begreber der var til rådighed, samlet og gemt i århundreder. Kort sagt: Tycho Brahe fortæller om Den nye stjerne, hvad den ligner og hvad den betød: at Brahe blev en videnskabsmand i klasse med tidens største navne, før og efter; Kopernikus, Galilæi, Kepler. For bogen om Den nye stjerne er ikke først og fremmest historien om Tychos bedrift, men om hvilken betydning og hvor meget ny og vigtig viden den bragte til den forunderlige brydningstid hvor Jorden som universets midtpunkt var anfægtet til gavn for forståelsen.

Bogen er “ikke kun en epokegørende videnskabelig afhandling. Den er et omhyggeligt konstrueret litterært, retorisk og videnskabeligt værk”, som fremhævet af udgavens primus motor, Peter Zeeberg. Bogen er og var så nøje planlagt af Tycho, at oversættelopgaven først og sidst gik ud på at forstå hvad der står i den på lærd latin – en opgave der er løst til topkarakter af Peter Zeeberg selv og af to skarpe kendere af de antikke sprog, Gorm Tortzen og Minna Skafte Jensen, tre kvalitetsfilologer af det 20. århundredes bedste danske.

Naturligvis er skildringen af underet den kølige 11. novembraften 1572 det centrale emne – en aften hvor vejret var klart nok og natten lang nok til gode observationer fra godset i Skåne. Andre havde nogle dage tidligere, fra andre lokaliteter, set det samme fænomen, men når det blev Tycho Brahes stjerne, skyldes det hans bearbejdning af synet og hans klarhed over dets betydning for hvad man ellers troede at vide om himmel og jord. Han springer dog ikke lige in medias res med beretningen om den aften oplevelse, men publicerer korrespondancer, især med “vor mand i København”, lægen Johannes Pratensis, som indtrængende opfordrer ham til ikke at undlade at fortælle verden om alt det han selv lærer af sin observation. Og sådan bliver det. Om selve oplevelsen den 11. november er han ret kortfattet:

Jeg var helt sikker på at der aldrig før havde været en stjerne på dette sted på himlen. ... så at jeg såmænd ikke ville tro mine egne øjne. Det var i sandhed det største af de mirakler der er indtruffet i

naturen siden verdens skabelse. ... filosoffer er nemlig enige om at der i den himmelske verdens æteriske region ikke foregår nogen forandring i form af tilblivelse eller tilintetgørelse.



Figur 1. En ny og ukendt stjerne, der overstrålede alle andre på himlen. Det var hvad den dengang 25-årige Tycho Brahe så i stjernebilledet Cassiopeia den 11. november 1572. I de følgende nætter, uger, måneder og år observerede han nøje dens position, lysstyrke og farve mens dens glans aftog indtil den var for svag til at kunne ses med det blotte øje. Men allerede efter et halvt år udgav han sin bog om stjernen.

Den romerske historiker Plinius fortæller dog, at den græske astronom, geograf og matematiker Hipparch opdagede en stjerne der afveg fra alle andre før sete stjerner og som var opstået i hans egen levetid. Tycho gennemgår kendte indvendinger mod denne beretning og slutter:

Jeg nævner ikke dette af trang til at kritisere. Et oprigtigt og dannet menneske skal ikke nedgøre andres arbejde. Vi lader stå hen hvilken og hvilken slags stjerne der var tale om, og om den forsvandt igen eller ej. ... Jeg tror heller ikke at teologerne vil kunne give tilfredsstillende forklaringer på denne sag. De er nemlig ... sikre på at Gud er universets skaber, og at han efter at have udskilt himlene og elementerne med alle de tilhørende skønne ting indstillede enhver form for arbejde og ikke senere har skabt nye ting. ... Ingen skal heller bilde sig ind

at denne stjerne er lig den som viste sig for østens magere da verdens frelser skulle fødes.

Efter en gennemgang af andre bibelske himmelfænomener slutter Tycho kapitlet:

Selvom jeg har besluttet at fremlægge forskelligt om dette nye og først nu fødte himmellegeme, indrømmer jeg dog ærligt at jeg ikke kan forklare noget om dets tilblivelse eller hvorfor det er opstået. Jeg vil kun undersøge den matematiske side af sagen nærmere og tale om stjernens længde- og breddeposition i forhold til fiksstjernerne og Dyrekredsen og om dens afstand til Jorden, Universets centrum. Desuden vil jeg anføre nogle fra astrologien hentede formodninger om denne stjernes indflydelse.

Der følger en tegning af seks tydelige stjerner i konstellationen Cassiopeia og en beskrivelse af den nye stjernes afstand fra disse, angivet i præcise grader og (bue)minutter, tillige med dens sfæriske koordinater. Derefter et omhyggeligt bevis med buelængder, kvadranter og sfæriske trekanter, en rigtig skoletime ved tavlen. Ved stadige henvisninger til lærebøgerne – Kopernikus og Regiomontanus – når han på adskillige sider frem til supernovaens ekliptiske koordinater: længde Taurus $7^{\circ} 1$ minut, bredde $53^{\circ} 56$ minutter. Det sidste duperende regnestykke med de sfæriske trekanter er bestemmelsen af dens rektascension $0^{\circ} 22$ minutter:

Derfor kulminerer denne stjerne ved 20 minutter af første grad af Vædderen ... og når den er ligeså langt inde i Vægten, passerer den igen meridianen nær horisonten. Dens position er derfor næsten sammenfaldende med den cirkel som man kalder jævndøgnskoluren. ... Det er vanskeligt og kræver et meget skarpt intellekt at undersøge stjernernes afstand fra os på grund af deres utrolige afstand fra Jorden. Det kan ikke gøres på nogen lettere og mere sikker måde end ved en måling af deres parallakse, hvis de har en sådan.

Her følger over 6-7 sider en udførlig beskrivelse af parallakse-målingen med tegning af cirkler, radier og vinkler, ... med "et udsøgt og meget lidt fejlbehæftet instrument", hvoraf Tycho slutter, at stjernen

har en position meget højere oppe end Månens sfære, nemlig i selve himlen, tilmed i en kreds der er så langt fra Jorden at Jordens halvdiameter ikke har nogen mærkbar størrelse i forhold til den. Hele Jorden skal betragtes som værende blot et punkt sammenlignet med denne afstand. ... Derfor må denne stjerne placeres i selve himlen. Jeg slutter derfor at denne stjerne ikke er en slags komet ... men er en lysende stjerne på selve firmamentet.



Figur 2. Statue af Tycho Brahe af Siegfried Wagner (1874–1952), opstillet i København i 1932. Foto: Daderot.

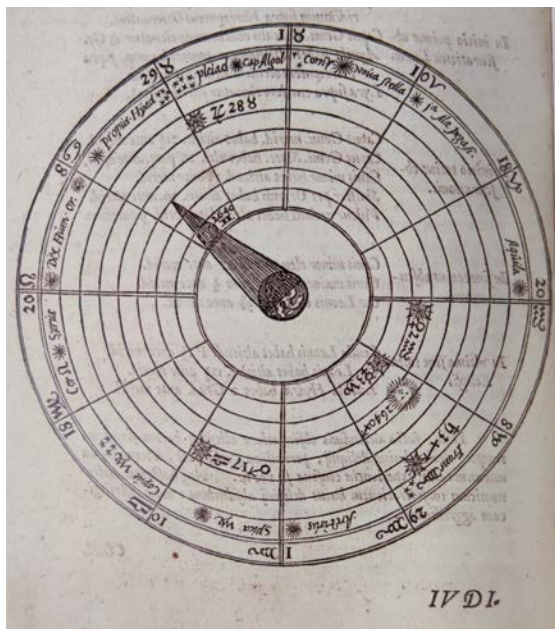
Som den astrolog han også var, den kloge Tycho, må han naturligvis også tage stilling til stjernens eventuelle (ilde)varslende funktion. De følgende ni sider gennemgår en række muligheder:

... det er sandsynligt at Gud hermed vil åbenbare noget meget større for verden end noget menneske kan vide på forhånd med hjælp fra nogen form for naturvidenskab. ... Jeg vil ikke på nogen måde sætte teologernes eller nogen som helst andres opfattelse ud af kraft. ... Dette fag [astrologien] grunder nemlig sine slutninger på en mangfoldig og kun sjældent vildledende erfaring. ... Blandt Guds folk begyndte den sande lærdoms lys så småt at blegne ... og omtrent på denne tid begyndte der i alle stater at ske store forandringer. Grækernes eneherredømme begyndte at vakle i mange krige, både indre og ydre, og Romerriget voksede støt dag for dag indtil imperiets grænser i Rom blev lig med verdens grænser. På samme måde vil efter min mening denne stjerne varsle en stor statsomvæltning. ... De egne hvor denne stjernes virkninger særligt vil hærge, er ... hele det midterste Rusland, Livland, Finland, Sverige og den sydlige del af Norge. ... Dette er hvad jeg kortfattet og overordnet ville gøre opmærksom på vedrørende denne stjernes virkninger. ... Jeg vil indtil videre tie om de ting som kan fremføres af en anden astrologis mere sande og hemmelige kilder. Disse er nemlig kun kendt af yderst få og lægges måske for had af mange på grund af deres uvidenhed. ... det er forbudt at fremstille deres hemmeligheder offentligt.

Såvidt selve bogen om den nye stjerne. Men Tycho har et andet emne der mere vedkommer alle og enhver: Meteorologien,

der ikke kun er utilstrækkeligt udforsket, men i dag ligefremt kompromitteret i en grad så selv den uvidende hob er fuldstændig klar over hvor upålidelige og uvederhæftige de folk er der fremstiller årlige forudsigelser.

Her følger 13 siders beskrivelse af Tychos meteorologiske og klimatiske kalender, som den slags kendtes og brugtes i de følgende århundreder indtil den moderne meteorolog fik sit solidere tekniske og observative fundament – med tre måneder i Nordatlanten for at få endeligt stempel som meteorolog. Dette afsnit om hans vigtigste interesse er skrevet og sendt til DE HØJTÆREDE TJENERE AF BEGGE FORMER FOR ASTROLOGI, HVOR DE END FINDES, MINE HERRER OG VENNER, DER FORTJENER EVIG PRIS. “Farvel. Skrevet i mit studerekammer [Musæo nostro] på Herrevad i december 1572”.



Figur 3. “De himmelske kredses stilling ved tidspunktet for kulminationen på Måneformørkelsen i 1573, 8. december, 8 timer, 10 minutter efter middag.” Fra [1].

Om bogens sidste afhandling, den om den kommede måneformørkelse, skriver Peter Zeeberg i sin indledende præsentation af den “omhyggeligt planlagte bog”, at behovet for systematiske og pålidelige observationer er et gennemgående tema i bogen; det nævnes som et problem at de stjernepositioner man kan finde i opslagsværkerne, ikke er pålidelige. Først beregner Tycho omhyggeligt tidspunktet for formørkelsen ud fra det nyeste og mest pålidelige tabelværk fra 1551. Derefter de alfonsinske tavler fra 1200-tallet og Georg von Peurbachs fra 1400-taller, som alle giver forskellige resultater. Endelig leverer han den tilsvarende beregning på grundlag af sine egne observationer af Solens og Månens bevægelser – også den afviger fra alle de

foregående – samt en anvisning til hvordan man selv kan observere formørkelser og finde ud af, hvem der har ret!

Udgivelsen af selve bogen om stjernen har Tycho selv pakket ind i en korrespondance fra gode venner og lærere, medicinprofessor Hans Frandsen og slotspræst Anders Sørensen Vedel. Dertil et par breve. Sidste afsnit er to metriske passager i tidens foretrukne fortællevers, distikon, skiftevis hexameter og pentameter – et stort digt, “Om Urania”, af Tycho selv og et kortere hyldestdigt af Anders Sørensen Vedel, den senere historiker, forment oversat af Minna Skaftte Jensen.

Denne læser og anmelder er en gammel og god kending af de tre oversættere, Gorm Tortzen, Minna Skaftte Jensen og Peter Zeeberg, sidstnævnte kurator med det endelige ansvar for at denne bog kom ud. At Minna med sin globale karriere som dygtig forsker af oral digtning skulle forvalte Vedels digt, var en selvfølge. Om dem alle, men mærkbart mere Gorm og Peter, er at fortælle at ingen af dem – klassisk sproglige i midten af det 20. århundrede – fra skolen havde noget klart forhold til lærde naturvidenskabelige tekster på latin. Men en ihærdig, tidligt indset lyst til også at indlemme den del af overleveringen i “det klassiske”, ses i nærværende værk tydeligere end i så meget andet, jeg som lærer har haft øje på og fingre i.

Inspireret af Tycho Brahes bebændige greb om de sfæriske trekanter og Menelaos’ geometri på kuglen ser jeg denne udgave af “De Nova Stella” som en sfærisk trekant med sine cirkelbuede sider: I de nederste hjørner tolkene Gorm og Peter, i toppen den orale rytmer Minna, og i midten balancerende på trekantens kugleoverflade Helge Kragh med emitteret professorforstand på hvad det hele handlede om, understregende at nok huskes det som et naturvidenskabeligt uovertruffet spring, men tilfældigt i den forstand at universet ville være blevet opdaget, før eller siden. Ligesom med dets udbredelse og forståelse – som nu denne bog med 20 års forsinkelse. Tak for den, og se så at få den købt og slugt, helst måske i daglige små lysende stjerne-stunder.

Litteratur

- [1] De Nova Stella. Tycho Brahes bog om den nye stjerne (1573). Oversat af C.G. Tortzen, P. Zeeberg og M. Skaftte Jensen under medvirken af C. Fabricius. Redigeret af B. Dorch og P. Zeeberg. Syddansk Universitetsforlag (2022), 239 sider, 250 kr.



Christian Marinus Taisbak er dr. phil. og var indtil 1994 docent i klassisk filologi på Institut for græsk og latin ved KU. Siden har han været ekstern lektor i de matematiske videnskaber i oldtiden. Han leder for tiden en ny 4-binds kommenteret oversættelse til dansk af Euklids Elementer. Bind 2 (bog VII-IX) udkommer hos Gyldendal indenfor nogle måneder.

Ventilator – breddeopgave 101

Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, INM, RUC.

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

Her bringes løsning og kommentar til opgaven fra forrige nummer samt to nye opgaver. Opgaven i sidste nummer af Kvant var denne breddeopgave (nr. 101 i rækken her i Kvant):

Breddeopgave 101. Ventilator

Hvordan afhænger effektforbruget af en ventilator med en roterende propel af dens diameter og dens rotationsfrekvens? Begrund svaret.

Løsning

Grundlæggende må ventilatorens effektforbrug, udover af propellens diameter d og dens rotationsfrekvens ν , afhænge af luftens egenskaber, og af, hvordan ventilatoren er udformet. De relevante egenskaber af luften i sammenhængen er luftens massefylde ρ og dens viskositet η . Da ventilatorens form kan beskrives ved en

række dimensionsløse vinkler og længdeforhold, vil en formel for effektforbruget P skulle søges blandt:

$$P = f(\text{form})\rho^\alpha d^\beta \nu^\gamma \eta^\delta, \quad (1)$$

hvor $f(\text{form})$ er en ukendt dimensionsløs funktion af en række dimensionsløse variable, og eksponenterne α, β, γ og δ skal vælges, så der er samme dimension på begge sider af lighedstegnet.

En rimelig antagelse er, at ventilatorens effekt først og fremmest afsættes som makroskopisk bevægelse af luften, og kun i mindre grad som opvarmning af luften. Det betyder, at det er ρ fremfor η , der har betydning som luftegenskab. Vi indskrænker os derfor til at kræve, at α, β og γ skal vælges, således at dimensionen af P , ML^2T^{-3} , er lig med dimensionen af $\rho^\alpha d^\beta \nu^\gamma$, $\text{M}^\alpha \text{L}^{\beta-3\alpha} \text{T}^{-\gamma}$. Da basisdimensionerne: masse M , længde L og tid T , per definition ikke kan afledes fra hinanden, skal der

være overensstemmelse mellem potenserne for hver basisdimension for sig.

Det ses umiddelbart, at ens potens af tidsdimensionen på begge sider af lighedstegnet forudsætter $\gamma = 3$. Tilsvarende forudsætter ens potens af massedimensionen på begge sider af lighedstegnet $\alpha = 1$. Hvilket, som følge af kravet om ens potens af længdedimensionen, medfører $\beta = 5$. Af dimensionsgrunde er formelen for P altså tvunget til at have formen:

$$P = f(\text{form})\rho d^5 \nu^3. \quad (2)$$

Svaret på opgaven er derfor, at effektforbruget for en given ventilator vil variere med rotationsfrekvensen i tredje potens. Og at effektforbruget for lignedannede ventilatorer varierer med deres lineære udstrækning i femte potens.

Kommentar

I en dårlig ventilator kan effektforbruget, udover at sætte luft i bevægelse, også tænkes at varme luften op. Da det er luftens viskositet, der er den egenskab ved luften der er bestemmende for opvarmningen, må vi så geninddrage η i dimensionsanalysen. Det må vi også, hvis overførslen af propellens bevægelse til luften via et grænselag afhænger af størrelsen af η , og ikke blot af, at η er stor nok til, at det alene er propelgeometrien, der bestemmer luftbevægelsen. Ifølge ligning (1) er det da dimensionen af P , ML^2T^{-3} , og dimensionen af $\rho^\alpha d^\beta \nu^\gamma \eta^\delta$, $\text{M}^\alpha \text{L}^{-3\alpha} \text{L}^\beta \text{T}^{-\gamma} \text{M}^\delta \text{L}^{-\delta} \text{T}^{-\delta}$, der skal være ens. For de tre basisdimensioner betyder det:

$$\begin{aligned} M : 1 &= \alpha + \delta \\ L : 2 &= -3\alpha + \beta - \delta \\ T : -3 &= -\gamma - \delta \end{aligned} \quad (3)$$

Tre ligninger med fire ubekendte, som ikke har nogen entydig løsning. Men ligningerne kan dog bruges til at finde $\alpha = 1 - \delta$, $\beta = 2 + 3\alpha + \delta = 5 - 2\delta$, og $\gamma = 3 - \delta$. Indsættes det i ligning (1) fås:

$$P = f_1(\text{form})\rho d^5 \nu^3 \left(\frac{\eta}{\rho d^2 \nu} \right)^\delta. \quad (4)$$

Formlen er langt fra entydig, da den gælder for alle værdier af δ . Tværtimod kan vi omformulere den til:

$$P = f_2(\text{form}, \frac{\eta}{\rho d^2 \nu})\rho d^5 \nu^3, \quad (5)$$

hvor f_2 , udover af de dimensionsløse vinkler og størrelsesforhold, der fastlægger ventilatorens form, er en ukendt funktion af den dimensionsløse størrelse $\eta/(\rho d^2 \nu)$. Størrelsen er nødvendigvis dimensionsløs, da den er udledt fra kravet om ens dimensioner på begge sider af lighedstegnet, uafhængigt af værdien af δ . Sammenhængen mellem ligning (4) og ligning (5) er, at ligning (5) repræsenterer alle de linearkombinationer, der kan dannes fra ligning (4) med varierende værdier af δ .

Selvom dimensionsanalysen, når η inddrages i overvejelserne, ikke entydigt fastlægger P 's afhængigheder

af ρ , d og ν , som formel (2) gør det, så reducerer den i kraft af formel (5) kortlægningen af P 's afhængigheder af ρ , d , ν og η til måling af f_2 's afhængighed, for en given form, af kun den ene variabel $\eta/(\rho d^2 \nu)$. Dette er i analogi til beskrivelsen af mange hydrodynamiske problems afhængighed af Reynolds tal.

Udtrykket $\eta/(\rho d^2 \nu)$ er – for værdier meget mindre end 1 – størrelsesordensmæssigt den andel af P , der omsættes til varme. Med $\eta/\rho = 0,15 \text{ cm}^2/\text{s}$ for luft ved stuetemperatur, $d = 10 \text{ cm}$ og $\nu = 10 \text{ s}^{-1}$ giver det 10^{-4} for størrelsesordenen af varmeandelen. Vi behøver nok ikke formel (5) ved vurdering af ventilatorer. Formel (2) rækker til formålet. Men måske er formel (5) af betydning for røremaskiner?

Boks 1. Det formelle værktøj til fysisk problemløsning ved hjælp af dimensionsanalyse

En ukendt, ønsket formel for en fysisk størrelse Q_1 som funktion af andre bestemmende fysiske størrelser $Q_2, Q_3, Q_4, \dots$ er af dimensionsgrunde begrænset til at have formen:

$Q_1 = f \cdot Q_2^\alpha Q_3^\beta Q_4^\gamma \dots$,
hvor potenserne $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ sikrer den rigtige dimension af Q_1 , og hvor f enten er:

et tal
eller
en dimensionsløs funktion af dimensionsløse størrelser blandt $Q_2, Q_3, Q_4, \dots$,
eller/og
dimensionsløse produkter af potenser af $Q_2, Q_3, Q_4, \dots$

I almindelighed illustrerer udledningen af formel (5) min foretrukne måde at formidle den formelle side af dimensionsanalyse, jævnfør boks 1.

I formel (5) er α, β og γ fundet til at være henholdsvis 1, 5, og 3, og f_2 fundet til både at være en funktion af de dimensionsløse vinkler og størrelsesforhold, der bestemmer formen, og en funktion af det dimensionsløse produkt af potensfunktioner $\eta/(\rho d^2 \nu)$. Ved samtidigt at dividere f_2 og gange $\rho d^5 \nu^3$ med den dimensionsløse størrelse $\eta/(\rho d^2 \nu)$ i ligning (5) fremkommer formlen:

$$P = f_3(\text{form}, \frac{\eta}{\rho d^2 \nu})\eta d^3 \nu^2. \quad (6)$$

Her er f_3 , indtil den bliver målt, en ukendt funktion, ligesom f_2 er det. Formel (5) og formel (6) er dimensionsmæssigt lige gyldige. Men formel (6) er nok mere relevant for røremaskiner end for ventilatorer. Hvis røremaskinen skaber en stationær laminar strømning, går effekten P alene til gnidningsvarme, bestemt af η . P er dermed uafhængig af ρ , da der ikke skabes øget makroskopisk bevægelsesenergi. $P = f_4(\text{form})\eta d^3 \nu^2$ er da den relevante formel til kortlægning af effektforbruget.

I litteraturen om dimensionsanalyse skelnes der mellem Rayleighs metode og Buckingham's metode. Rayleighs metode anvendes typisk i overskuelige tilfælde, hvor f forventes blot at være et tal. Det er så alene potenserne $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ i produktet af potens-

funktioner repræsenterende $Q_1(Q_2, Q_3, Q_4 \dots)$, der efterspørges. Ved Buckinghams metode er udgangspunktet dimensionsløse produkter af potensfunktioner af $Q_2, Q_3, Q_4 \dots$ og Q_1 . Grundlæggende er der ingen forskel. Der er mere tale om smag og behag. Fremgangsmåden, som boks 1 lægger op til, er en sammenfattende blanding af de to "metoder". Den er udtømmende og efter min mening inviterende i forhold til netop fysisk problemløsning: Hvordan afhænger Q_1 af $Q_2, Q_3, Q_4 \dots$?

Breddeopgave 102 og 103. Modstand

Inden næste nummer af Kvant udkommer, kan læserne overveje løsninger til disse to opgaver fra breddekurset på RUC (fra eksamen juni 2000 og eksamen juni 2008, nr. 102 og 103 i rækken her i Kvant):

Hvad er modstanden for en elektrisk strøm fra indersiden til ydersiden af en hul metalkugle? Begrund svaret.

Hvad er modstanden for en varmestrøm fra indersiden til ydersiden af en hul kugle? Begrund svaret.

Løsninger og kommentar bringes i næste nummer af Kvant.

Litteratur

- [1] J.H. Jensen og T. Hecksher (2018) "Fysikernes hemmelige våben", *Aktuel Naturvidenskab*, nr. 4, side 26–29.

NYT FRA KVANT

– nyt temanummer og nye redaktionsmedlemmer



Nyt temanummer

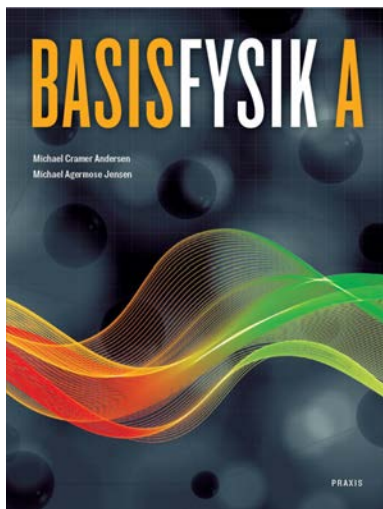
Glæd dig til næste nummer af Kvant, hvor vi sætter fokus på udforskningen af solsystemet med bidrag fra en række danske forskere.

Nye redaktionsmedlemmer

Kvants redaktion er blevet udvidet med to nye medlemmer, og vi siger velkommen til Lars Occhionero, der er formand for Astronomisk Selskab, samt Maren Malling, der er forperson for Kvinder i Fysik samt medlem af Dansk Fysisk Selskabs bestyrelse.

Aktuelle bøger

Emil Enderup Petersen-Friis, Marselisborg Gymnasium.



Michael Cramer Andersen og Michael Agermose Jensen, "BasisFysik A", 2022, Praxis Forlag, 344 sider, 417,50 kr.

BasisFysik fuldent

Med udgivelsen af BasisFysik A er lærebogssystemet BasisFysik fra Michael Cramer Andersen og Michael Agermose Jensen fuldent.

Det læsevenlige og overskuelige layout fra de foregående udgivelser i serien, hvor siderne er inddelt i to spalter (den venstre til mindre illustrationer, billeder og tabeller og den højre til den faglige brødtekst, formler og eksempler) er bibeholdt og fungerer rigtigt godt.

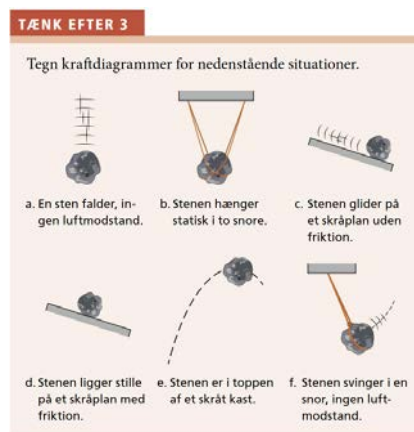
Den faglige gennemgang af emnerne er en blanding af kvantitativ behandling med formler og eksempler på anvendelse af disse og mere kvalitative forklaringer af diverse fænomener og principper. Den kvalitative del fylder måske lidt mere end i nogle andre kendte lærebøger, men de "teksttunge" afsnit er med jævne mellemrum afbrudt af små "Tænk Efter" bokse, hvor læseren bliver stoppet op og tvinges til at reflektere over stoffet. Dette betyder også, at mange elever vil kunne lære meget på egen hånd ved at arbejde med denne bog, og det åbner op for at kunne køre mindre forløb, hvor eleverne skal tilegne sig viden ved mere selvstændigt at skulle arbejde med stoffet.

Hvert kapitel afsluttes med en sammenfatning af de væsentligste pointer og formler, hvilket suppleres med en decideret formelsamling samt tabeller over symboler og konstanter i slutningen af bogen. Dette gør den meget brugervenlig, dels i forhold til den løbende opgaveregning, hvor man i slutningen af hvert kapitel finder et fornuftigt antal opgaver til netop dette, men også i forhold til at løse afleveringsopgaver eller til en evt. skriftlig eksamen.

Bogen er fint illustreret med mange flotte billeder og illustrationer, og der er en god blanding mellem historisk relevante og mere nutidige eksempler, som

dels bidrager til at fastholde og motivere læseren, samt til at perspektivere det faglige stof i forhold til hverdagsfænomener samt teknologisk udvikling og anvendelse.

Udgivelsen dækker sammen med BasisFysik B det faste kernestof til fysik på A-niveau på stx. Ud over at dække kernestoffet, er der også en del uddybende og supplerende stof indenfor de obligatoriske emner, bl.a. er der under behandlingen af tyngdefelter tilføjet et afsnit om den generelle relativitetsteori, gennemgangen af elektriske felter er udvidet med en fornuftig gennemgang af kapacitorer og under elektromagnetisme er der en kort introduktion til Maxwells ligninger. Desuden er der et helt kapitel om speciel relativitetsteori og et mindre kapitel omkring fiktive kræfter, samt appendikser med uddybende gennemgang af vektorer i fysik samt flux og Gauss' lov.

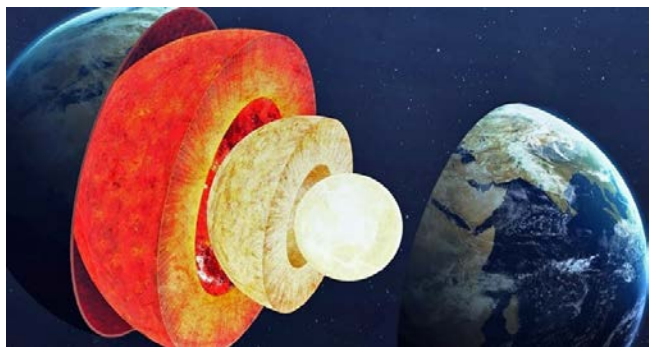


Løbende i bogen er der forslag til 22 eksperimenter i et format, der minder om en slags miniøvelsesvejledninger. Disse øvelser varierer fra helt klassiske eksperimenter, som fx Hooks lov og Laplaces lov, og over til nyere og mere finurlige eksperimenter, som bestemmelse af lysets hastighed i luft ved hjælp af en mikrobølgeovn, små forsøg med en plasmakugle og undersøgelse af magnetfelter ved hjælp af elevernes smartphones. Personligt ville jeg have foretrukket, at disse forslag til eksperimenter lå i slutningen af hvert kapitel, men en liste over alle eksperimenterne i starten af bogen hjælper dog lidt på overskueligheden i forhold til planlægningen af undervisningen.

Det kan virke mærkeligt at udgive en fysisk bog i 2023, og selvom den også kan fås som e-bog, mangler den stadig fordelene fra andre i-bogs systemer, som fx interaktive animationer, videoer, quizzer, selvrettende opgaver m.m. Dette er nok både den største anke mod bogen, men samtidig også den største styrke, da bogens overskuelige layout kombineret med det fysiske eksemplar vil give læseren et rigtig godt overblik og en oplevelse af genkendelighed.

Nyt om Jordens indre kerne

GEOFYSIK. Ny forskning fra Peking Universitet i Kina viser, at Jordens indre kerne roterer langsommere end resten af Jorden. Jordens kerne er en kugle af varmt jern, som befinder sig ca. 5000 km under Jordens overflade. Jordens kerne består af et ydre og et indre lag. Den ydre kerne er flydende, mens den indre kerne er fast, hvilket den danske geofysiker Inge Lehmann viste i 1936 ved at studere udbredelsen af seismiske P-bølger (trykbølger) gennem Jorden. Den ydre flydende kerne bevirker, at den indre faste kerne kan rotere uafhængigt af Jordens rotation. Rotationen af den indre kerne er drevet af magnetfeltet, som den ydre kerne genererer, mens den bliver balanceret af kappens tyngdekraft. Viden om kernen kommer fra at studere jordskælv, der genererer seismiske bølger. Ved at studere små forskelle i de seismiske bølger når de bevæger sig gennem Jordens kerne, kan man få information om kernen.

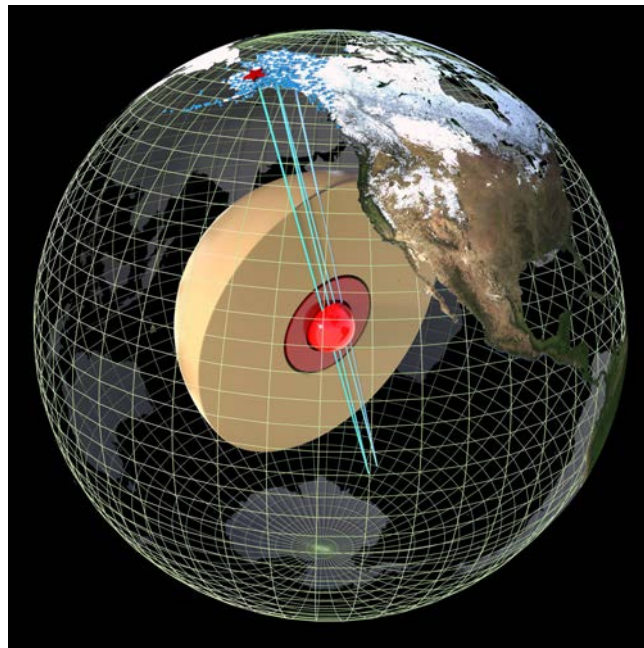


Figur 1. Illustration af Jordens indre: skorpen, kappen, den ydre og den indre kerne.

Det nye studie viser, at den indre kernes rotations-hastighed i forhold til Jordens kappe er faldende. Det er muligt, at kernen stopper med at rotere i forhold til kappen og ændrer rotationsretning. At Jordens indre kerne kan rotere uafhængigt af resten af overfladen, blev vist for omkring 30 år siden. Her kiggede forskerne på seismiske bølger fra jordskælv fra samme sted, men over forskellige årtier. Hastigheden af de seismiske bølger afhænger af materialet, som bølgen udbreder sig i. Hvis de seismiske bølger bevæger sig med samme hastighed gennem Jorden, betyder det, at den indre kerne står stille. Forskerne fandt, at der var forskel i hastigheden af de seismiske bølger og da bølgerne kom fra samme sted, måtte det betyde, at den indre kerne roterer uafhængigt af Jorden. Da bølgerne bliver påvirket af rotationen, kunne de desuden konstatere, at rotationshastigheden måtte være faldet mellem jordskælvene.

Den indre kernes rotationshastighed er studeret over mange år, og forskerne har observeret, at den i 1970'erne begyndte at rotere lidt hurtigere end resten af Jorden, men derefter atter sænkede farten, før den

blev synkroniseret med Jordens rotation omkring 2009. Siden da roterer den langsommere end resten af Jorden. Forskerne mener, at en rotationsperiode er ca. 70 år, og de forventer derfor, at den næste ændring er omkring midten af 2040. Der er dog uenighed blandt geofysikerne om den præcise rotationsperiode.



Figur 2. Et jordskælv i Alaska, der får seismiske bølger til at trænge ind i Jordens inderste indre kerne.

Samtidig med rotationshastighedsstudiet har en anden gruppe fra Australiens Nationale Universitet opdaget, at Jordens kerne har et ekstra adskilt lag, hvilket indtil nu kun har været en hypotese. Ved at måle de forskellige hastigheder, som bølgerne bevæger sig igennem Jordens indre kerne med, mener forskerne, at de har fundet et ekstra særskilt lag inde i Jordens kerne. Indtil nu vidste vi, at Jorden består af fire adskilte lag: skorpen, kappen, den ydre kerne og den indre kerne. Det femte lag er inde i den indre kerne, og man kan forestille sig den som en fast metalkugle centreret i den indre kerne.

Forskerne har analyseret data fra ca. 200 kraftige jordskælv fra det sidste årti. Forskerne studerede seismiske bølger, der bevægede sig fra jordskælvslokationen direkte gennem Jordens kerne til den anden side af kloden og tilbage igen. Ved at udvikle en teknik til at forstærke signalerne fra seismograferne, observerede de for første gang seismiske bølger, der bevægede sig frem og tilbage op til 5 gange langs Jordens diameter. Det er interessant, da det er en ny metode til at undersøge Jordens indre kerne på. Forskerne observerede, at de seismiske bølger, der blev sendt frem og tilbage, ramte

punkter tæt på Jordens center fra forskellige vinkler. De fandt ud af, at bølgerne bevægede sig anderledes i den inderste del af den indre kerne end i den ydre del af den indre kerne. De mener at kunne forklare det med, at krystalstrukturen i kernens inderste lag er forskellig fra det yderste lag. De mener desuden, at det kan forklare hvorfor de observerer, at bølgerne øger eller sænker hastigheden afhængigt af indgangsvinklen til kernen. Det er muligt, at en større begivenhed i Jordens fortid har ændret krystalstrukturen af Jordens indre kerne. Jordens indre kerne er særlig interessant, da den er som en tidskapsel, der kan fortælle om begivenheder, som skete for millioner af år siden. Der er stadig mange ubesvarede spørgsmål om Jordens indre kerne. Måske får vi en dag, gennem studier af kernen, svar på præcis, hvordan Jorden blev dannet.

Kilder: Y. Yang og X. Song (2023) "Multidecadal variation of the Earth's inner-core rotation", *Nature Geoscience*, bind 16, side 182–187.

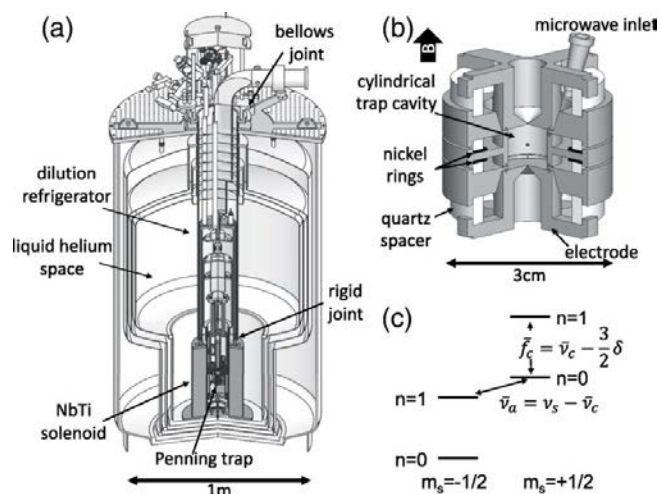
Research Briefing (2023) "Differential rotation of the Earth's inner core changes over decades and has come to near-halt", *Nature Geoscience*, bind 16, side 113–114.

T.-S. Pham og H. Tkalčić (2023) "Up-to-fivefold reverberating waves through the Earth's center and distinctly anisotropic innermost inner core", *Nature Communication*, bind 14, artikel 754.

Mest præcise måling af elektronens magnetiske moment

MAGNETISME. En gruppe fra Harvard Universitet og Northwest Universitet har udført den hidtil mest præcise måling af elektronens magnetiske moment. Det magnetiske moment af en elektron er en indre egenskab, som opstår pga. elektronens spin og ladning. Elektronens ladning, som er i bevægelse, danner en strøm og virker derfor som en magnetisk dipol. Et eksternt magnetfelt vil fx påvirke elektronen med et kraftmoment for at få elektronen til at rette sig efter feltet. Det magnetiske moment fortæller om elektronens tilbøjelighed til at rette sig efter magnetfeltet. Forskerne har bestemt elektronens magnetiske moment μ til $-\mu/\mu_B = 1,00115965218059(13)$ hvor μ_B er Bohrmagnetonen. Præcisionen er 2,2 gange bedre end den indtil da mest præcise værdi, som blev målt for 14 år siden.

Det er vigtigt at måle indre egenskaber som elektronens magnetiske moment med høj nøjagtighed, da præcise målinger vil hjælpe med at udvikle standardmodellen. Elektronens magnetiske moment bruges til at teste standardmodellen ved at studere vekselvirkninger mellem elektroner og virtuelle partikler i et vakuumkammer. Vakuum er som bekendt fyldt med virtuelle partikler, som kan hoppe ind og ud af eksistens. De virtuelle partikler kan vekselvirke med elektronen og ændre dens respons til et magnetfelt og dermed påvirke dens magnetiske moment og g -faktor. Den forventede værdi af elektronens g -faktor kan udregnes, hvor man tager højde for vekselvirkningen med elementarpartikler. Enhver afvigelse fra den teoretiske værdi kan afsløre manglende elementer i standardmodellens partikler og vekselvirkninger. For en elektron kan en afvigelse fx betyde, at elektronen ikke er en elementarpartikel, men har en indre struktur.



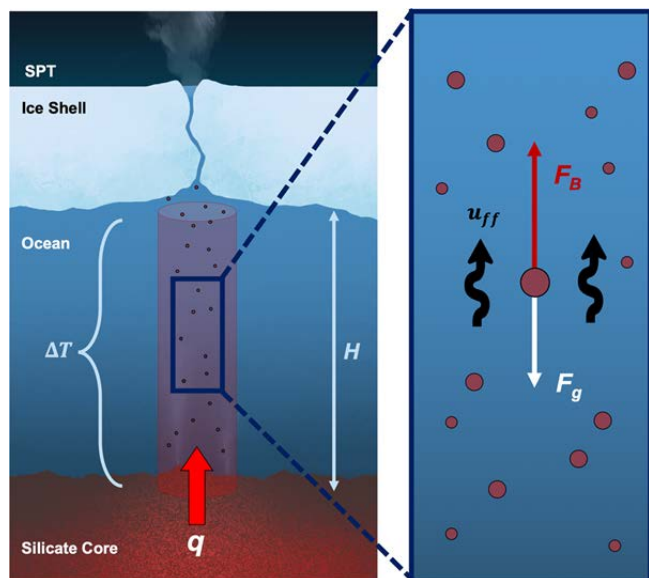
Figur 3. Penningfælden: a) Viser solenoidspolen i kryostat, som danner et stabilt magnetfelt, hvori elektronerne fanges, b) viser elektroderne i Penningfælden, og c) viser de anvendte energiniveauer til målingen. Figur fra kilde.

Elektronens magnetiske moment måles i en såkaldt Penningfælde, der kan fange ladede partikler med elektromagnetiske felter. Penningfælden består af en kryostat med en temperatur nær nulpunktet og et kraftigt magnetfelt på 5 T. Forskerne måler på enkelte elektroner, når de springer mellem forskellige energiniveauer. Ved at tilføje en lille gradient i magnetfeltet kan forskerne bruge teknikken "quantum nondemolition" til at måle kvantespringene uden at ændre elektronens kvantetilstand, hvilket giver den ekstraordinært lave usikkerhed på målingerne. Forskernes har med deres målinger bekræftet, at elektronen er en elementarpartikel.

Kilde: X. Fan m.fl. (2023) "Measurement of the Electron Magnetic Moment", *Phys. Rev. Lett.*, bind 130, artikel 071801.

Nyt tegn på muligt liv på Enceladus

ASTROBIOLOGI. Et nyt studie fra Californiens Universitet viser, at hydrotermiske ændringer i Enceladus' havbund kan være kilden til fundet af kvartspartikler i Saturns E-ring. Enceladus er en af Saturns måner, og består af is. Saturn har som bekendt flere flotte ringe, og E-ringen er bredere og tykkere end de andre, og indeholder bl.a. partikler af is og kvarts. Enceladus er kendt for, at der på sydpolen er observeret gejsere, der spyr søjler af gas ud, og at der under isoverfladen på Enceladus er et ocean af vand. I 2017 opdagede Cassinirumsonden, at der er tegn på hydrotermisk aktivitet på bunden af Enceladus' hav (se nyhedssektionen i Kvant nr. 2, 2017). Cassinirumsonden fløj dengang tæt forbi Enceladus og ind i en af gassøjlerne for at analysere dens kemiske sammensætning. Cassini opdagede, at der fandtes dihydrogenmolekyler (H_2) i gassøjlen. En forekomst af H_2 er et tegn på, at der på Enceladus foregår processer, som frigiver H_2 , og de processer kan stamme fra levende organismer, som vi fx kender det i form af mikrober i hydrotermiske kilder på bunden af Jordens oceaner.



Figur 4. Figur af en hvirvel, der fører partikler op fra Enceladus' hav til gejserne. Ved siden af vises kraftdiagrammet på en opadgående partikel. Figur fra kilde.

Ved at studere Saturns ringe kan man således finde indikationer på muligt liv på Enceladus, da forskerne mener, at de observerede kvartspartikler kommer fra

de hydrotermiske kilder på bunden af Enceladus' ocean, hvorfra de bliver transporteret op til overfladen. Desuden kan gejserne på ismånen sende materiale ud i rummet til E-ringen.

Et modelstudie har vist, at kvartspartiklerne kan blive transporteret gennem havet hurtigere end tidligere antaget. Forskerne mener, at tidevandskræfter fra Saturn deformerer Enceladus' klippekerne og isoverflade, og at bunden af havet bliver opvarmet af de hydrotermiske kilder, som det skaber. Derfor kan havet under isoverfladen være flydende. Tidevandsfriktionen tilføjer varme til havet, og er kilden til de opadgående strømme af varmt vand fra de varme kilder. Strømmene er stærke nok til at opsamle materiale fra havbunden og bringe dem op til isoverfladen. Forskerne har vist, at det kun tager få måneder for partiklerne at rejse fra havbunden op til overfladen, men det er endnu uklart, hvor lang tid, det tager for partiklerne at blive transporteret ud i rummet fra overfladen af Enceladus. Forskerne studerer stadig havets udvikling for at forstå, hvad der kunne ende i rummet. Således kan også sammensætningen af Saturns E-ring give et vigtigt indblik i, hvad præcis der er under Enceladus' isoverflade – måske er der endda liv!

Kilde: A.M. Schoenfeld m.fl. (2023) "Particle entrainment and rotating convection in Enceladus' ocean", *Commun. Earth & Environ.*, bind 4, artikel 28.

Nyt fra Dansk Fysisk Selskab

Maren Malling



Opdatering af DFSs medlemsliste

Dansk Fysisk Selskab har skiftet til et nyt medlemssystem, og vi har derfor brug for at opdatere medlemmernes informationer. Særligt mangler vi e-mail-adresser fra mange. Fremover vil kommunikation til medlemmerne ske via e-mail, og det er derfor vigtigt, at vi har en gyldig e-mail-adresse for alle medlemmer. Vi udsender elektroniske nyhedsbreve via Mailchimp, og afsenderen står som Dansk Fysisk Selskab med adressen mail@danskfysiskselskab.dk.

Er du medlem af DFS, vil du bl.a. have modtaget et nyhedsbrev den 1. marts per e-mail. Hvis ikke, bedes du opdatere din profil med en gyldig e-mail.

Opdatering af profilen sker ved enten at indtaste følgende link (tinyurl.com/5bbe5xan) i en browser eller scanne QR-koden for at gå direkte til medlemsformularen. Formularen kan også tilgås fra vores hjemmeside www.danskfysiskselskab.dk

Vi vil samtidig gerne opfordre alle interesserede til at melde sig ind som medlem i DFS – Danmarks landsdækkende forening for fysik. Alle fysikere er velkomne, og vi glæder os til at afsløre flere spændende nye tiltag i år.

Tilmelding sker via ovenstående links. Ordinært medlemskab koster 400 kr. om året og studerende (inkl.

ph.d.-studerende) betaler kun 150 kr. per år. Med i prisen får man fire numre af Kvant om året. Man får desuden rabat på deltagergebyret ved årsmødet og mulighed for at deltage i medlemsarrangementer.



Opkrævning af medlemskontingent vil fremover ske via e-mail. Som noget nyt er det nu muligt at betale kontingentet via MobilePay. Det er stadig også muligt at foretage automatisk betaling via Betalingsservice, men girokortindbetaling vil ophøre fra 1. maj 2024.

Bestyrelsen for DFS vil gerne benytte lejligheden til at sige en stor tak til lektor emeritus Bjarne Andresen fra Niels Bohr Institutet, som har vedligeholdt selskabets medlemskartotek igennem flere årtier.

Den julianske periode

– et dagligt mål for et stykke af evigheden

Christian Marinus Taisbak

På side 4 i Københavns Universitets Almanak for år 2023 læses:

Året 2023 er det 6736te i den julianske periode. 31. december 2022 kl. 12 (UT) er JD = 2459945.

Forståelsen af denne meddelelse forudsætter den videnskab der med sit oldgræske navn kronologi er en af ethvert civiliseret samfunds allervigtigste beskæftigelser. Kronologiens arbejdsredskaber er *observationer, konstante måleenheder og præcise metoder* – som der ikke er ret mange af fra Naturens side; de kan tælles på få fingre:

- **Døgnet**s længde (= Jordens rotation),
- 7-dages **ugen**, som mirakuløst har holdt sig uændret igennem de efterhånden $2\frac{1}{2}$ årtusinde, der er vidnesbyrd om den,
- og **årets** længde, som med regelmæssig skuddags-regulering lader sig beskrive med hele tal.

Disse enheder takker vi det ene store lysende himmellegeme for, Solen. Men det svagere lysende og foranderlige legeme, Månen, kan også give et bidrag til en målestok, hvis vi regner et gennemsnit ud for et overskueligt antal *lunationer*, dvs. tidsforløb fra en nymåne til den næste. Et sådant forløb er den 19-årige periode, karakteriseret ved *gyldentallet*, hvis funktion er beskrevet i omtalte Almanak side 5. Her fremgår det, at “gyldentallet angiver årets plads i den 19-årige månecyklus, der opstår ved at 19 år meget nær svarer til 235 perioder for Månens faser”. Gyldentallet vokser således med 1 hvert år, og for at finde årets plads i 19-års perioden for 2023 skal man dividere det med 19 (det giver 106 med 9 til rest), og 1 plus resten ved denne division er gyldentallet. År 2023 har altså gyldental 10.

Disse fire-fem mål har været kendt og brugt i alle de samfund, store eller små, som igennem Jordens historie er blevet udforsket. Men hvad har de med en “juliansk” periode at skaffe? Her skal vi høre om en navne-parallell: en romersk hersker, Julius Cæsar (myrdet inden han fik givet navn til den ledertype, vi kender som kejser og zar), lod sine astronomer forbedre det skema, vi kender som kalenderen – en oversigt over årets fordeling af dage og måneder. Den julianske kalender udkonkurrerede de andre mulige i det lange løb fra og med “det Herrens år” A(nno) D(omini) 532, og bruges nu over hele kloden, benævnt den “gregorianske”. Under indtryk af nogle konstanter i det følgende bemærker vi at $532 = 19 \times 28$, men det er et andet kapitel i Tidens historie.



Figur 1. Joseph Justus Scaliger (1540–1609) var en fransk filolog, der indførte den julianske periode. Beregningen i denne artikel viser, at perioden startede den 1. januar år -4712 (= år 4713 f.Kr.). Den næste julianske periode starter i år $(-4712 + 7980) = 3268$. Maleri af Jan Cornelisz van 't Woudt (1608).

I forbindelse med pave Gregor XIII's reform af kalenderen i 1582 udgav en person i Leyden, Joseph Justus Scaliger, et hovedværk i kronologi, *De emendatione temporum* (“Om tidsregningens forbedring”), som han dedikerede til sin far, Julius Scaliger – hvorefter navnet juliansk periode, juliansk dato. Det er dog også muligt, at navnet faktisk henviser til at det er Julius Cæsars kalender, der tænkes på, fordi systemet bygger på den og ikke på den græsk/ægyptiske alexandrinske. Kort fortalt går værket ud på at skabe en fortløbende dage-tælling fra før Historiens begyndelse; til det brug valgte han at finde en dato, hvor tre kendte perioder har fælles begyndelsespunkt: *at finde et årstal hvor 1. januar i et og samme skudår i de tre perioder var en mandag*. Det drejer sig om

- den 15-årige cyklus, som romerriget og dets europæiske afløser brugte til skatteopkrævning, kendt som *indictio*.
- Den 28-årige sol-cyklus, efter hvilken ugedag og kalenderdato med sikkerhed falder sammen (fordi

ugen er 7 dage, og skudåret hvert 4. år, og $4 \times 7 = 28$).

- Gyldentalsperioden, det antal år, 19, der går imellem at fuldmånen falder på samme dag i sin måned; alle tre med speciel interesse i at bestemme dato for påskedag.

Opgaven er således at finde begyndelsesåret for den julianske periode, dvs. at finde et årstal hvor

- den første dag i en indictionsperiode (15 år) og
- den første dag i en solcirkel (28 år) og
- den første dag i en gyldentalsperiode (19 år) er en mandag 1. januar i et skudår.

Idet Scaliger vidste at A.D. 313 var indictio 1, at A.D. 1560 havde solcirkel 1, og at A.D. 532 havde gyldental 1 (året for den kristne tællings begyndelse, både fremad og bagud), formulerede han hvad der svarer til tre diofantiske restklasseligninger:

Find blandt hele tal det største negative tal, som ved

- division med 15 giver rest -2 (= 13, kendt år: 313)
- division med 28 giver rest -8 (= 20, kendt år: 1560)
- division med 19 giver rest 0 (kendt år: 532).

Dette kan udtrykkes som: find $N \equiv -2 \pmod{15} \equiv -8 \pmod{28} \equiv 0 \pmod{19}$.

Vi finder $N \equiv -4712 \pmod{7980}$, hvor $7980 = 15 \times 28 \times 19$, og er kendt som "den julianske periode". Vi husker at minus 4712 astronomisk er 4713 f.Kr, hvis nogen er bange for år 0.

Det drejer sig om følgende tre diofantiske ligninger (brøker med **rødt tryk**); i hvert skridt udfases det størst mulige hele tal, og metoden gentages (Euklids algoritme, vekselvis subtraktion).

$$N = 15x - 2 = 28y - 8 = 19z. \quad (1)$$

Af den sidste ligning i (1), $28y - 8 = 19z$ fås

$$\begin{aligned} z &= \frac{28y - 8}{19} = \frac{38y - 10y - 8}{19} \\ &= 2y - 2\frac{5y + 4}{19} \end{aligned} \quad (2)$$

Da 2 og 19 er indbyrdes primiske, er $\frac{5y+4}{19}$ et helt tal, A , og derfor

$$19A = 5y + 4. \quad (3)$$

Heraf følger

$$\begin{aligned} y &= \frac{19A - 4}{5} = \frac{20A - 5 - A + 1}{5} \\ &= 4A - 1 - \frac{A - 1}{5} = 4A - 1 - B \end{aligned} \quad (4)$$

Den sidste brøk er et helt tal B , $\frac{A-1}{5} = B$, hvoraf

$$A = 5B + 1 \quad (5)$$

Af (4) og (5) findes y :

$$\begin{aligned} y &= 4 \times (5B + 1) - 1 - B \\ &= 20B + 3 - B = 19B + 3 \end{aligned} \quad (6)$$

Af (2) findes

$$z = 2y - 2A = 38B + 6 - 10B - 2 = 28B + 4 \quad (7)$$

Af den første og den sidste ligning i (1) fås (via (7))

$$15x = 19z + 2 = 532B + 78 = 525B + 7B + 75 + 3 \quad (8)$$

og derfor

$$x = 35B + 5 + \frac{7B + 3}{15} = 35B + 5 + C \quad (9)$$

hvor brøken er et helt tal, $C = \frac{7B+3}{15}$, således at

$$15C = 7B + 3 \quad (10)$$

og endnu et helt tal, D , trænger sig på:

$$B = \frac{15C - 3}{7} = 2C + \frac{C - 3}{7} = 2C + D, \quad (11)$$

hvor $D = \frac{C-3}{7}$ og

$$C = 7D + 3 \quad (12)$$

Enhver værdi af D medfører hele værdier af C og B og dermed af x , y og z .

$$\begin{aligned} D &= -1 \gg C = -4 \gg B = -9 \gg x = -314 \\ &\& y = -168 \& z = -248 \\ &\& N = -4712. \end{aligned}$$

q.e.d.

Litteratur

- [1] Tabeller over dagenes numre i perioden er publiceret i R.G. Schram (1908) "Kalendariographische und chronologische Tafeln", Leipzig. Der er siden da udgivet adskillige amerikanske oversigtspublikationer.



Christian Marinus Taisbak er dr. phil. og var indtil 1994 docent i klassisk filologi på Institut for græsk og latin ved KU. Siden har han været ekstern lektor i de matematiske videnskaber i oldtiden. Han leder for tiden en ny 4-binds kommenteret oversættelse til dansk af Euklids Elementer. Bind 2 (bog VII-IX) kommer hos Gyldendal indenfor nogle måneder.

132 udgaver af Kvant kommer online



Kvant får ny hjemmeside, og den er planlagt til at være online i sidste halvdel af april 2023. Vi har desuden fået scannet alle de tidligere udgaver helt tilbage til det første nummer, der udkom i 1990. Det drejer sig om 33 årgange svarende til 132 udgaver af bladet med i alt 4.690 sider. Fremover vil samtlige udgaver af Kvant være frit tilgængelige på den nye hjemmeside, med undtagelse af de seneste fire udgaver (dvs. det seneste år), hvor det kun er udvalgte artikler, der ligger på hjemmesiden. Vi håber, at de mange gode artikler vil blive læst (eller genlæst), og være til glæde for alle fysik- og astronomiinteresserede. Hjemmesiden kan fortsat findes på adressen www.kvant.dk.

Kommende foredrag

Dato	Tid	Foredragstitel	Foredragsholder	Forening
April 2023				
17/4	19.30	Vedvarende energi, uden Ørsted gik det ikke	Frede Blaabjerg	SNU
24/4	19.45	JWST and the first galaxies (på engelsk)	Katriona Gould	AS (Aarh)
Maj 2023				
1/5	19.45	På jagt efter de første galakser med JWST og ALMA	Kasper Elm Heintz	AS (Aarh)
8/5	19.30	James Webb rumteleskopet – liv i universet Efter foredraget uddeles H.C. Ørstedmedaljen til en inspirerende grundskolelærer	Lars Buchhave	SNU
15/5	18.15	På jagt efter de første galakser med JWST og ALMA	Kasper Elm Heintz	AS (Kbh)
22/5	19.30	Klikkemi OBS: Tilmelding via snu.dk er påkrævet!	Morten Meldal	SNU

AS (Kbh): Astronomisk Selskab, Søndre Campus – Islands Brygge St. (Metro), Emil Holms Kanal 2–8, 2300 Kbh. S. Lokale: 23.0.49 (bygning 23, stuen) (astronomisk.dk).

AS (Aarh): Astronomisk Selskab, Aarhus Universitet, Ny Munkegade 118, 8000 Aarhus C (bygning 1530, lokale G122).

Medlemmer af AS får tilsendt et nyhedsbrev før foredragsrækken går igang med information om tilmelding. Andre interesserede kan tilmelde sig via Folkeuniversitetet i hhv. København og Aarhus.

SNU: Aud. 1, H.C. Ørsted-bygningen, Universitetsparken 5, 2100 København Ø (snu.dk, facebook.com/SNU1824). Der er gratis adgang til foredragene i SNU.

OBS: Der må ikke parkeres ved hovedindgangen til Universitetsparken 5, og kun med særlig p-tilladelse andre steder i Universitetsparken. Der kan parkeres med Easypark på Nørre Allé.