

KVANT

Oktober 2024 3

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 35. årgang

- STORMFLOD OVER DANMARK
- ØGET VIDEN OM FORTIDENS HAVIS FRA NYE PROXIER
- DEN INTERNATIONALE RUMSTATION OG DANMARK (DEL 2)
- ABSOLUT HASTIGHEDSGRÆNSE FOR KOSMISKE PROTONER
- MEKANISME BAG RINGE I UNIVERSET • KIF-PRISEN 2024
- KVANTNYHEDER • BREDDEOPGAVER • NYT FRA FORENINGERNE

Løssalgspris: 50 kr.

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

Lars Occhionero, AS

Dorte Olesen, SNU

Finn Berg Rasmussen,

Niels Bohr Institutet, KU

Svend Erik Rugb

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).

Annoncepriser

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.



Produktionsplan

Nr. 4-2024 udkommer ca. 15. december

Nr. 1-2025 udkommer ca. 15. marts

Deadline for mindre bidrag og annoncer
er ca. en måned før, længere artikler skal
modtages to måneder før.

Indhold:

Stormflod over Danmark – modellering, prognoser og eksempler fra
Østersøen

*Kristine S. Madsen, Erik Buch, Erik K. Hansen, Jacob W. Nielsen,
Martin Stendel, Morten A.D. Larsen, Peter Aakjær, Sebastian Pelt og
Xiaohua Yang* 3

Øget viden om fortidens havis fra nye proxier

Helle Astrid Kjær og Nanna Andreassen 8

Den Internationale Rumstation og Danmark

– Anden del: kæmpelyn, kameraer og jordskin

Carol Anne Oxborrow 18

Mekanisme bag ringe i universet

Klaus Nielsen 19

Absolut hastighedsgrænse for kosmiske protoner –

Når standardmodellen møder kosmologien

Bernhard Lind Schistad 22

Transportbånd – breddeopgave 111 med didaktisk kommentar

Jens Højgaard Jensen 26

Er det skuddag den 24. eller 29. februar?

Leif Kahl Kristensen 28

Nyt fra Dansk Fysisk Selskab

Maren Malling 30

Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Cecilie Pedersen 30

Kvant-nyheder

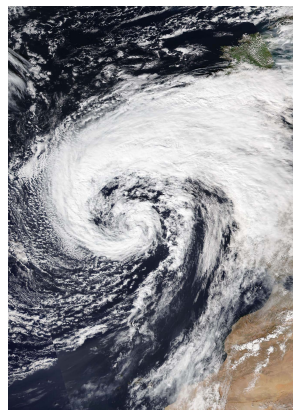
Christine Pepke Gunnarsson 33

Kommende foredrag

. 35

KIF-prisen 2024 uddelt til tre fantastiske rollemodeller

Maren Malling Bagsiden



Forsiden viser stormen Babet den 16. okto-
ber. Stormen ramte Storbritannien fredag
den 20. oktober 2023 om morgenen, og
det sydlige Danmark og nordlige Tyskland
senere på dagen. Læs artiklen om stormflo-
den samt om DMIs stormflodsmodellering
og -prognoser i artiklen på side 3. Foto:
NASA.

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 Fysik og DTU Electro samt Institut for
Naturvidenskab og Miljø (RUC).

Kvant omdeles med PostNord. Såfremt bladet udebliver, opfordres du til at
kontakte PostNords kundeservice på telefon 70 70 70 30 samt orientere Kvant
på e-mail kvant@kvant.dk, så vi kan sende et erstatningseksemplar.

Stormflod over Danmark – modellering, prognoser og eksempler fra Østersøen

Kristine S. Madsen, Erik Buch¹, Erik K. Hansen, Jacob W. Nielsen, Martin Stendel, Morten A.D. Larsen, Peter Aakjær¹, Sebastian Pelt og Xiaohua Yang, Danmarks Meteorologiske Institut

Når stormfloder rammer Danmark med forhøjet vandstand i havet, ofte ledsaget af regn og bølger, er det afgørende for beredskabet at modtage pålidelige prognoser og varsler. Denne artikel tager udgangspunkt i stormfloden i Østersøen den 20. oktober 2023 og beskriver, hvordan en prognose udarbejdes med hjælp fra vejr- og havmodeller. DMI's Klimaatlas viser, at den forhøjede vandstand vi i dag oplever sjældent, vil forekomme langt hyppigere i fremtiden. Artiklen fortæller også, hvordan den historiske stormflod i 1872 kan hjælpe med at undersøge, hvor ekstrem vandstanden i Østersøen kan blive.

Den 20. oktober 2023 ramte en stormflod de danske og tyske kyster i den vestlige Østersø fra Bornholm til Lillebælt. Samtidig betød vind af kulingstyrke, at høje bølger ramte de østvendte kyster. Selvom stormfloden var godt forudsagt flere dage i forvejen, skete der store materielle ødelæggelser. Prisen for genopbygning ventes at blive den højeste nogensinde for en stormflod i denne region, men måske på grund af den store opmærksomhed omkring stormfloden, kostede den heldigvis ingen menneskeliv.

Begivenheden kan beskrives som en tretrinsrakat:

- Vestenvind af moderat styrke skubbede vand ind i Østersøen i dagene op til stormfloden.
- Nordenvind, ligeledes af moderat styrke, over hele området fra den Botniske Bugt i nord til den polske Østersøkyst i syd, omfordelte vandmasserne fra den nordlige til den sydlige del af Østersøen.
- En stærk kuling fra øst tvang vandmasserne vestpå, mod de danske og tyske østersøkyster. Der hvor vinden havde et langt frit stræk, blev bølgerne særdeles høje.

Den højeste vandstand under stormfloden var 2,31 m i Slesvig By. Det er den højeste vandstand, der er målt i Østersøen siden 1913. Samtidig betød høje bølger store materielle ødelæggelser, især for kyster som var eksponerede for åbent hav i østlig retning, såsom i Rødvig Havn og Hesnæs.

Vejrsituationen var domineret af et nordligt og ret stationært højtryk, samt et sydligt lavtryk der bevægede sig mod øst over det europæiske kontinent. Vejr-situationen var dermed af lignende type som skabte stormfloderne i 1872 og 1913.

I dagene omkring stormfloden faldt der store mængder regn, og hele oktober 2023 var desuden den femte vådeste måned i Danmark nogensinde målt. Derfor var vandløbene mange steder godt fulde under stormfloden, og nogle områder oplevede opstuvning i vandløb som følge af den høje vandstand i havet. Alt i alt betød denne cocktail af havvand, bølger og vand fra vandløbene udfordringer med oversvømmelser i mange kystområder.

I denne artikel vil vi beskrive det system af modeller og observationer, der gør det muligt at lave prognoser for stormfloder illustreret med eksempler fra stormfloden i oktober 2023. Vi vil desuden beskrive hvad vi kan forvente af fremtidige stormfloder i Danmark, og sammenligne med den historiske stormflod i 1872.

Stormflodsprognoser

Det er komplekst at forudsige stormfloder, men over de sidste ca. tredive år er der udviklet modelværktøjer der gør vagtgående meteorologer i stand til at varsle stormfloder med høj præcision ofte flere dage i forvejen. For stormfloden i oktober 2023 udsendte DMI de første varsler fem dage før begivenheden. De vigtigste bestanddele for at lave en god prognose for de danske farvande er atmosfære- og havmodeller, der i stor detalje gengiver vindens og vandets bevægelser i 3 dimensioner, for hele Nordsø-Østersø området [1,2].

DMI's modeller er baseret på de grundlæggende fysiske love, og det er de samme typer af ligningssystemer som bruges i både havmodeller, vejrmodeller og klimamodeller. De centrale fysiske love bag modellerne er [3]:

- Newtons 2. lov, der beskriver luftens eller vandets bevægelse i tid og rum. Når Newtons lov skrives op for et volumen af luft eller vand ved Jordens overflade, bliver luftens/vandets acceleration en funktion af corioliskraften, gradienter i tryk, tyngdekraften, centrifugalkraften og friktion. Dette kaldes Navier-Stokes' ligning.
- Kontinuitetsligningen for masse, der siger at luftens/vandets masse er konstant. I DMI's havmodeller antages det desuden at vandet er inkompressibelt, så det betyder at vandets volumen også er bevaret.
- Termodynamikkens 1. lov, der siger at den indre energi i et system er konstant.
- Tilstandsligningen, der forbinder massefylde, tryk, temperatur og saltindhold (for havvand). For havvand er denne empirisk bestemt til høj præcision.

¹Pensioneret fra DMI.



Figur 1. Fotos fra stormfloden oktober 2023. Øverst fra venstre: Folkemødepladsen i Allinge ødelagt af bølger (Foto: Peter Aakjær). Høj vandstand i Køge Havn (Foto: Sebastian Pelt). Nederst fra venstre: København set fra Mosede Havn (Foto: Martin Stendel). Søndre Havnegade i Sønderborg (Foto: Tine Knudsen).

Når modellerne er baseret på grundlæggende fysiske principper, virker de meget stabilt, også i ekstreme vejr-situationer, da de fysiske principper altid er gyldige. Det er dog nødvendigt at simplificere ligningerne en del for at kunne lave effektive computermødelles, der beskriver den tidslige og rumlige udvikling af et større luftrum eller havområde. Derfor skal modellerne testes grundigt. I praksis inddeles luftrummet eller havområdet i et gitternet, og luftens eller vandets bevægelse i hvert gitterpunkt beregnes tidsskridt for tidsskridt.

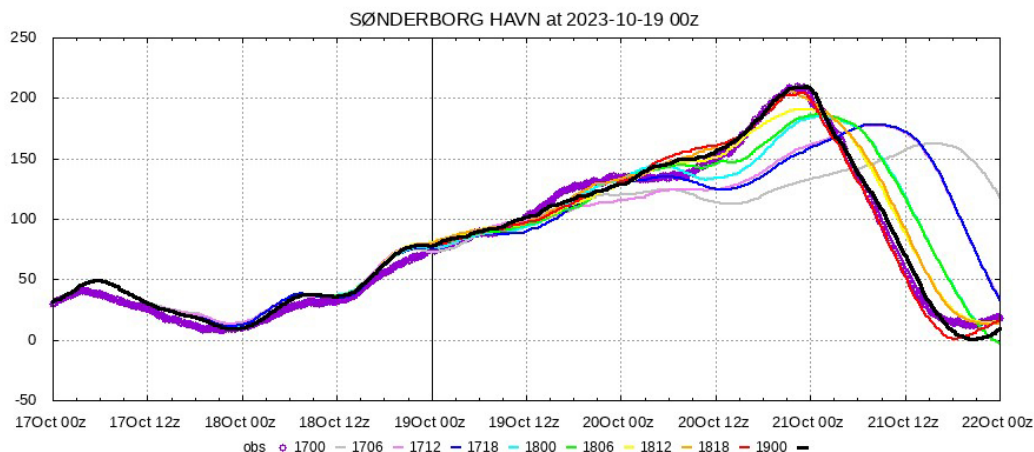
DMI's vejrmødelles er blandt de bedste i verden og specialiseret til vejret omkring Danmark. Modellsystemet hedder Harmonie-Arome og bruges til at beregne vejrpognoaser med et gitternet i kilometerskala og mange vertikale lag. Modellen udvikles og drives i samarbejde med en række europæiske lande. For hele tiden at give grundlaget for de bedste vejrpognoaser, tilpasses modellen løbende til en lang række jordbaserede og satellitbaserede vejrobervationer.

En god model for havet kræver gode data om havets kystlinje, dybde, og vandtilførsel fra de omkringliggende hav- og landområder. DMI's havmodel for de danske farvande er designet til dette. Modelopsætningen har et højtopløst gitternet i de indre danske farvande og særligt i en række fjordområder og snævre passager, mens gitternettet i Nordsøen og Østersøen er mindre finmasket. De forskellige områder er forbundet med såkaldt 2-vejs nesting, så vandets bevægelse og vandstanden ind gennem de snævre danske farvande beskrives bedst muligt [1].

En anden afgørende komponent er vandstandsobservationer. De kan i sig selv ikke benyttes til at forudsige vandstanden flere dage ud i fremtiden, men de kan bruges til at justere modelresultaterne ind til virkeligheden, når der beregnes korttidsprognoser, dvs. nogle få timer ud i fremtiden.

Vejr- og havmodellerne bliver løbende valideret, hvilket er afgørende både for at forbedre modellerne og for at de vagtgående stormflodsmeteorologer kender modellernes styrker og svagheder. På den måde kan meteorologen korrigere en prognose for kendte fejl eller usikkerheder i fx en lavtryksbane eller havmodellens fremstilling af vandets bevægelse i en snæver fjord, inden meteorologen udsender varsler. Meteorologen kan også sammenligne modelresultater fra den operationelle model med observationer, tidligere prognoser og andre lande og institutters prognoser, inden varslene udsendes, for på den måde at opbygge et varsel der er så retvisende som muligt og med så velbeskrevet en usikkerhed som muligt.

Et relativt nyt værktøj, som er under udvikling, er ensemble-havmodelkørsler. Ensemble-kørsler for vejrmødelles er relativt velkendte. Her afvikles vejrmødelles et antal gange hver time med lidt forskellige startbetingelser eller lidt forskellig beskrivelse af modellens fysik, for at se, hvor meget det betyder for vejrets udvikling. Hver afvikling – eller "kørsel" – er et ensemblemedlem, og til sammen giver alle disse kørsler et ensemble, eller en gruppe, af bud på hvordan vejret kan udvikle sig. På den måde fås et billede af usikkerheden på vejruddigten.



Figur 2. Observeret havniveau (tyk lilla) og prognoser fra DMI's HBM DKSS havmodel for forskellige prognostidspunkter for Sønderborg (tal angiver dato og tid, f.eks. 1700 = 17/10 kl 00). Den forhøjede vandstand var forudsagt fra den 17/10, mens prognosen for den præcise vandstand og timing blev forbedret, efterhånden som stormfloden nærmede sig, og blev stabil da højtopløste vejrprognoser blev tilgængelige fra DMI's Harmonimodel 54 timer før begivenheden (for prognoser ud over 54 timer anvendes prognoser fra en mere grovmasket global vejrmodel).

Det kan fx ses for nedbør og temperatur på www.dmi.dk, når man vælger "vis usikkerhed" på 2-døgns prognosen for en given lokalitet. På DMI arbejder vi på at bruge ensemble-vejrmodellen som input til stormflodsmodellen, og vi sammenligner vores prognoser med især de tyske og svenske prognoser.

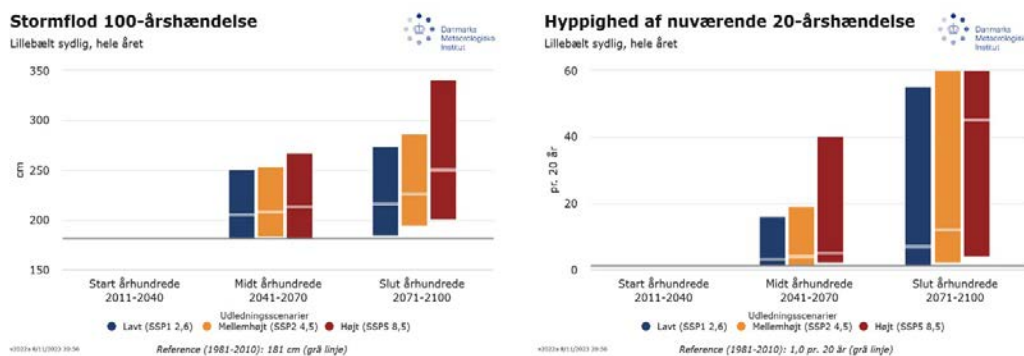
Som beskrevet ovenfor er DMI's modeller i dag baseret på de grundlæggende fysiske love. Det kan give en præcis beskrivelse af virkeligheden, men er også meget beregningstungt. Der forskes i disse år i at bruge maskinlæring og AI både som erstatning for og sammen med de klassiske modeller.

På baggrund af havmodellens prognoser samt prognoser fra vejr-, bølge- og oversvømmelsesmodeller, observationer, viden om vejret og tidligere erfaringer, udsender de vagtgående meteorologer varsler om forhøjet vandstand til beredskaberne og befolkningen. I Danmark varsler DMI for forhøjet vandstand 36 timer før hændelsen, med et forvarsel op til 5 dage før den forhøjede vandstand. Det kan vi fordi situationer med forhøjet vandstand ofte skyldes vejrphenomener af relativ lang varighed, fx et lavtryk, som kan forudses flere dage i forvejen. Det kan dog godt ske, at forhøjet vandstand i havet kommer som en overraskelse, oftest fordi små ændringer i vindretningen eller en upræcis

repræsentation af en snæver passage i havet betyder, at modellen ikke rammer præcist med hensyn til niveauet af eller tidspunktet for den forhøjede vandstand i de komplekse danske farvande.

Fremtidige klimaforandringer

Vandstanden i verdenshavene og omkring Danmark er stigende på grund af klimaforandringer. Den længste tidsserie af vandstandsobservationer i den danske del af Østersøen stammer fra Gedser. Den viser, at vandstanden er steget 14,7 cm siden målingerne begyndte for 126 år siden. Danmark hæver sig fortsat efter sidste istid, det kaldes landhævning. Når landhævningen medregnes, ligger stigningerne i middelvandstanden omkring Danmark tæt på den globale middelværdi, som er 20 ± 5 cm fra 1901 til 2018 [5]. Vandstandsstigningerne i fremtiden bliver større end i sidste århundrede, afhængig af klimascenarie og af hvordan havet og iskapperne reagerer på de globale temperaturstigninger (figur 3) [6, 7]. Dette har stor effekt på stormfloder, idet der skal mindre blæsevejr til for at skabe en højvandshændelse, når havet står højt i forvejen. Bedste bud er at det vi i dag kender som en 20-års vandstand vil forekomme med få års mellemrum i slutningen af århundredet, i et middelhøjt klimascenarie.



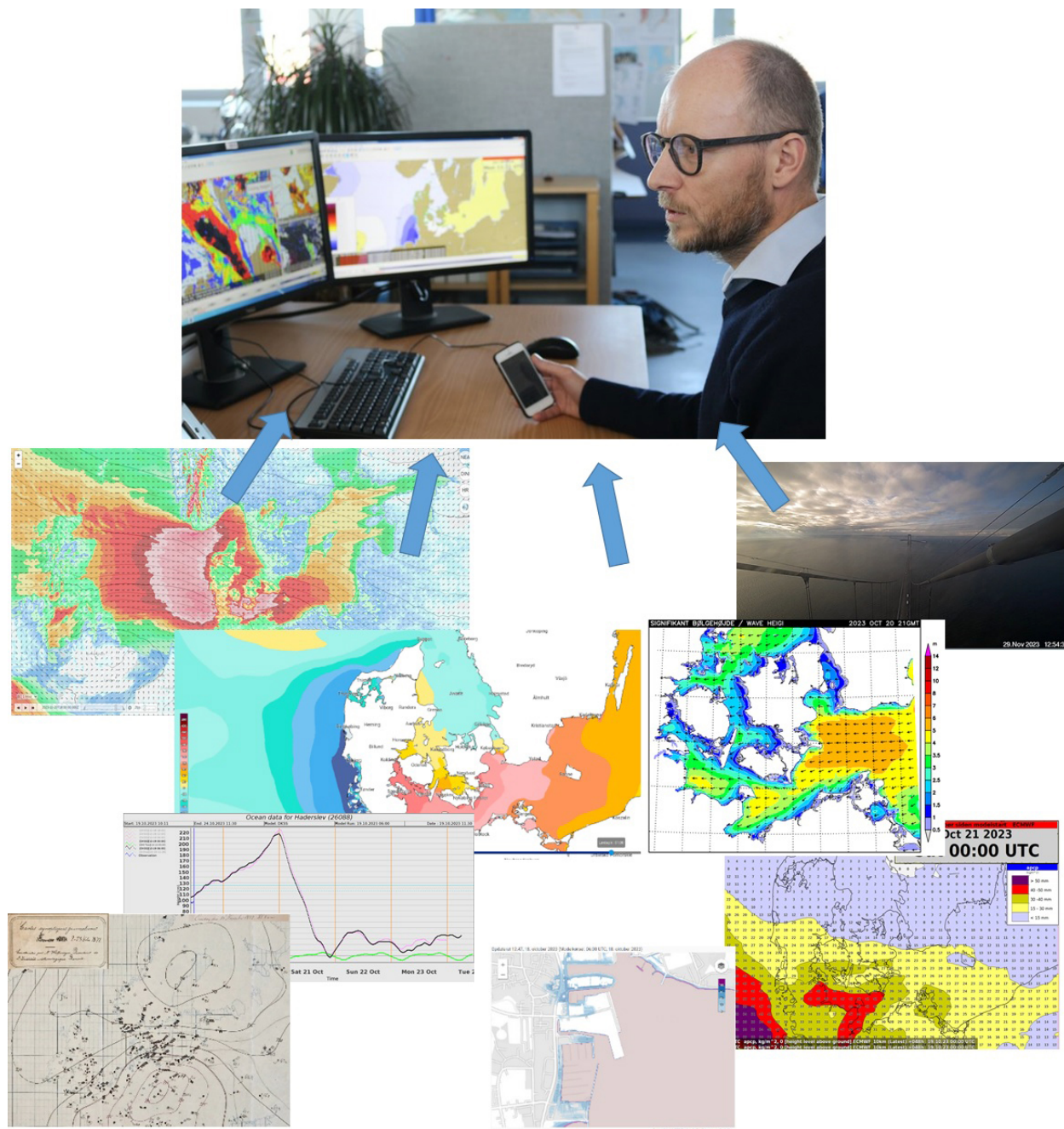
Figur 3. DMI's Klimaatlas angiver vandstandsstigningerne langs alle danske kyststrækninger, og viser stigende højder for f.eks. en 100-års stormflod (venstre) og meget højere frekvens af det vi i dag kender som en 20-års hændelse (højre) [6, 7]. Figureerne er eksempler fra Klimaatlas, gældende for det sydlige Lillebælt.

Sammenligning med stormfloden i 1872

13. november 1872 oplevede Danmark en de største naturkatastrofer i landets historie, da en voldsom stormflod ramte den vestlige Østersø – det samme område som i 2023. Vejrsmønstret, der lå bag, mindede om det vi så i 2023, men var meget kraftigere, længerevarende og centreret længere mod øst, hvilket betød vind af orkanstyrke i området mellem Bornholm og Østsjælland-Falster. Det resulterede i forhøjede vandstande på op til 3,3 meter. Hertil kommer at den kraftige vind skabte bølger på op til 8-10 meter, der især ramte Bornholms og Falsters østkyst.

I 1872 var det ikke muligt at forudsige og varsle vejr og hav, endsige kommunikere denne viden til myn-

digheder og befolkning. Så befolkningen i de berørte områder samt besætningen på de skibe, der befandt sig i den vestlige Østersø, var totalt uforberedte. Den skabte derfor meget store materielle ødelæggelser, og 90 personer i Danmark og omkring 160 i Tyskland omkom, selvom kysten var langt mindre udnyttet og beboet end i dag. Desuden gik omkring 600 skibe tabt i den vestlige Østersø og flere hundrede søfolk, det eksakte tal er ukendt, mistede livet. Efter denne katastrofale stormflod blev der taget initiativ til bygning af diger langs de mest udsatte kyster, i Danmark især på Lolland og Falster. Der er dog i dag lange kyststrækninger, der ikke er beskyttet mod stormflodssituationer væsentligt mindre end 1872 niveauet, som fx 2023 stormfloden.



Figur 4. DMI's meteorologer er på vagt 24-7 og udsender varsler for farligt vejr baseret på modelprognoser, observationer og viden og erfaringer. Fra oven: DMI meteorolog Erik K. Hansen på vagt; vindstyrke og isobarer fra DMI Harmonie-vejrmodellen [2]; webcambillede fra Storebæltsbroen; vandstand fra DMI DKSS havmodellen [2]; bølger fra DMI WAM-modellen [2]; vandstandsobservation for Haderslev; prognose for akkumuleret nedbør fra ECMWF-vejrmodellen [2]; historisk vejrkort fra stormfloden i 1872 tegnet af DMI's tidligere direktør Hoffmeyer; oversvømmelsesprognose for Aabenraa fra DMI-SCALGO-oversvømmelsesmodellen [4].

En sammenligning mellem 1872- og 2023-stormfloderne viser, at vandstanden i Østersøen forud for 1872-stormfloden kun var moderat forhøjet. Klimaforandringer har desuden betydet at vandstanden er steget omkring 15 cm ved de danske kyster siden da. Med andre ord er stormfloden i 1872 ikke det værst tænkelige scenarie i dag. Hvis stormfloden var sket med de samme begyndelsesbetingelser, som vi så i 2023 og med nutidens eller fremtidens højere middelvandstand som udgangspunkt, vil det resultere i væsentlig højere vandstand [8]. I en netop udgivet rapport om en fremtidig stormflodssikring af København er det på den baggrund anslået, at den værst tænkelige gentagelse af 1872-stormfloden kunne give helt op til 1 m højere vandstande, hvis den skete i dag.

Stormfloden i 1872 blev mindet ved 150 års dagen i 2022, og i den forbindelse beskrevet i historisk perspektiv af Aakjær og Buch i “Stormfloden 1872 - da Østersøen druknede Danmark” (2022) og i skønlitteraturen af P.F. Jensen i “Rans Vilje” (2023).

Litteratur

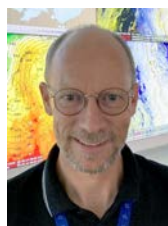
- [1] J. She, M.A.D. Larsen, J.W. Nielsen, T.S. Rasmussen, J. Murawski, V. Frishfeld og O.K. Leth (2024) “Fra operationel oceanografi til digital oceanografi – et modelleringsperspektiv”, *Vand og Jord*, bind **31**, nr. 2, side 78–81, <http://www.vandogjord.dk/>.
- [2] DMI-havmodeller, <https://ocean.dmi.dk/models/index.php>.
- [3] E. Kaas (2024) “Multiplicity of Time Scales in Climate and the Earth System”, side 3–52 i B. Booß-Bavnbek, J.H. Christensen, K. Richardson og O.V. Codina “Multiplicity of Time Scales in Complex Systems”, Springer Cham, Schweiz, doi:10.1007/978-3-031-28049-8.
- [4] S. Svith og A. Fonseca (2019) “Nyt værktøj skal styrke beredskabets kamp mod oversvømmelser”, <https://www.dmi.dk/nyheder/2019/nyt-vaerktoej-skal-styrke-beredskabets-kamp-mod-oversvoemmelser>.
- [5] P. A. Arias m.fl. (2021) “Technical Summary”. I “Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change” [V. Masson-Delmotte m.fl. (red.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK og New York, NY, USA, doi:10.1017/9781009157896.002.
- [6] Klimaatlas, www.klimaatlas.dk.
- [7] P. Thejll m.fl. (2023) “Methods used in Klimaatlas, the Danish Climate Atlas”, DMI Rapport 22-37, ISBN 978-87-7478-736-5, https://download.dmi.dk/Research_Projects/klimaatlas/v2022a/Rapport_22-37.pdf.
- [8] E. Andrée, J. Su, M.A.D. Larsen, M. Drews, M. Stendel og K.S. Madsen (2023) “The role of preconditioning for extreme storm surges in the western Baltic Sea”, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, bind **23**, side 1817–1834, doi: 10.5194/nhess-23-1817-2023.



Kristine S. Madsen er forsker og specialkonsulent i Vejr-forskningsafdelingen på DMI. Hun forsker i spillet mellem vand, vejr og klima, med speciale i havniveaustigninger og stormfloder.



Erik Buch er tidligere afdelingsleder på DMI og har forsket i fysisk oceanografi.



Erik K. Hansen er operationel meteorolog på DMI. Han arbejder med udarbejdelse af vejrudsigter og varsler, herunder særligt stormflodsvarsling.



Jacob W. Nielsen er specialist i operationel havmodellering i Vejr-forskningsafdelingen på DMI.



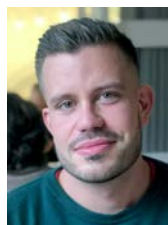
Martin Stendel er forsker i Nationalt Center for Klimaforskning (NCKF) på DMI og arbejder bl.a. med rekonstruktion af historiske data fra Rigsarkivet i projekt ROPEWALK.



Morten A.D. Larsen er enhedsleder for Hav og Radar i Vejr-forskningsafdelingen på DMI.



Peter Aakjær er tidligere direktør på DMI og har forsket i meteorologi og geofysik.



Sebastian Pelt er meteorolog i Vejr-forskningsafdelingen på DMI.



Xiaohua Yang er specialist i operationel vejrmodellering i Vejr-forskningsafdelingen på DMI.

Øget viden om fortidens havis fra nye proxier

Helle Astrid Kjær og Nanna Andreassen, Afdelingen for Is-, Klima- og Geofysik, Niels Bohr Institutet

Klimaet ændrer sig i disse år, og i Arktis sker opvarmningen fire gange hurtigere end globalt. I sidste mellemistid var klimaet varmere end idag, og under istidens havde klimaet i Arktis flere abrupte opvarmninger, som kan bruges som analog for nutidens forandringer. Flere nye havis-proxier viser, at temperaturen i Arktis og særligt ændringer i fortiden var stærkt forbundne med ændringer i havisens udbredelse. Øget viden om havisen og den feedback, havisen laver i klimasystemet, er altså essentiel for at forstå også vores fremtidige klima.

Arktisk opvarmning sker abrupt

Det globale klima opvarmes i disse år, hvilket har store konsekvenser for klodens samfund og natur. Klimamodellerne viser, at de arktiske egne kommer til at opleve en endnu større opvarmning på grund af de mange feedbackmekanismer, der relaterer sig til kryosfæren (fx tab af havis). Den globale middeltemperatur steg i perioden 1979–2021 med næsten 0,19 grader per ti år, mens temperaturen i Arktis er steget næsten fire gange hurtigere per ti år [1]. Særligt er temperaturen i området rundt om Svalbard og i Barentshavet steget med mere end 1 grad per dekad i perioden 1979–2018 [2].

De nuværende observationer viser en stigning i temperaturen i Arktis, der er mere abrupt og dækker et større område, end hvad de fleste CMIP-klimamodeller (se boks) forudsiger selv for Arktis i perioden frem mod 2100. For RCP2.6, som repræsenterer 2-gradersmålet, har mindre end 40% af CMIP5-modellerne en opvarmning, der tilsvarende den allerede observerede [2]. Den opvarmning, vi forventer fra modellerne frem mod 2100, er altså allerede sket og dækker et bredere område end det, flere af modellerne forudsiger. Yderligere kan nogle af modellerne ikke reproducere de seneste årtiers hurtige temperaturstigninger i Arktis, formentlig fordi havisen og dens associerede feedbackmekanismer ikke er repræsenteret stærkt nok i modellerne [2,3].

Grundet den nutidige opvarmning er havisens udbredelse og tykkelse faldende.

CMIP

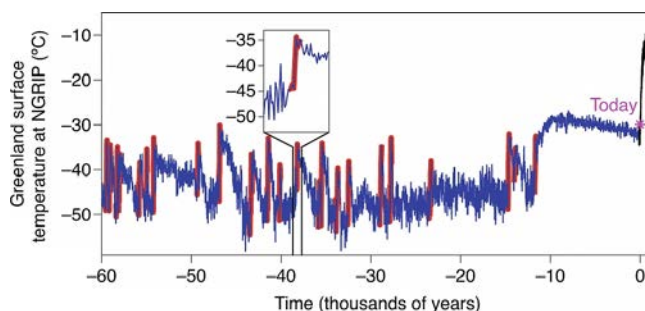
CMIP (Coupled Model Intercomparison Project)-modeller er de klimamodeller, der er blevet brugt i de seneste IPCC-rapporter.

CMIP-modellerne blev brugt til at forudsige fremtidens klima under forskellige scenarier for udledning af drivhusgasser, disse scenarier bliver kaldt RCP (Representative Concentration Pathways)-scenarier.

De forskellige scenarier (RCP2.6, RCP4.5 og RCP8.5) repræsenterer de ekstra W/m^2 , der tilføres Jorden i hvert scenarie. CMIP 6 bruger andre scenarier kaldet fx SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP5-8.5 (Shared Socioeconomic Pathways).

Palæoklima kan hjælpe os til at forstå tidligere abrupte hændelser

De abrupte ændringer i nutidens Arktis kan sættes i perspektiv ved hjælp af palæoklimatiske proxyer (figur 1). Vandisotoper fra iskerner er en proxy for temperatur [4]. Man kan måle vandisotop-indholdet enten ved massespektrometri eller ved kontinuert “cavity ring down spectroscopy” [5]. Med sådanne vandisotoper fra grønlandske iskerner kan man se klimaets variationer de seneste 130.000 år.



Figur 1. Temperaturen de sidste 60.000 år kan estimeres ved brug af vandisotoper. Her er vandisotoperne målt i den grønlandske iskerne NGRIP (blå) og sat sammen med CMIP-modellen EC-Earths-prognose for fremtidsscenariet RCP8.5 (sort), altså det varmeste fremtidsscenarie. Den lille stjerne indikerer nutidens temperatur. Herudover vises med rød, hvornår abrupt opvarmning større end 1 grad per tiår i mindst 40 år i træk er sket. Figur fra [2].

Ved at kigge på iskerner fandt den danske forsker Willi Dansgaard, at den seneste glacielle periode havde 25 sådanne abrupte opvarmninger kaldet Dansgaard-Oeschger (DO)-events, bestående hver af en abrupt opvarmning til en varmere periode (kaldet en interstadial), og så en retur til det kolde istidsklima kaldet stadial. Senere har flere dybe iskerner valideret DO events.

Fra sådanne grønlandske vandisotopmålinger kan vi se, at den hastighed af opvarmning, der sker i dag, ellers kun sker i forbindelse med DO-events i den glacielle periode. Der har altså ikke været tilsvarende abrupt opvarmning, som den vi ser i dag, i den varme Holocæne periode (de seneste 11.700 år).

Derudover kan vi ved at bruge vandisotoperne observere, at der i den sidste mellemistid, Eemtiden for 130-115 tusind år siden, var op til 8 ± 4 grader varmere end i dag i Nordvestgrønland (ikke vist) [6], mens Eemtiden i global middeltemperatur er estimeret til at have været blot 1-2 grader varmere.

Skal vi forstå den abrupte opvarmning i de polare egne i dag, og ikke mindst potentielle afledte konsekvenser, kan vi benytte palæoklimaet som en analog og dermed opnå viden om de forskellige dele af klimasystemet, og ikke mindst deres tidslige relation.

Havisens rolle

Havisen er en af hovedspillerne, når vi skal forstå den forstærkede opvarmning i Arktis. Havis er den is, der dannes på havet, når det er under vands frysepunkt. Havisen kan man yderligere splitte i to kategorier: sæsonvarierende havis og flere års havis, altså når havisen er til stede gennem hele året og flere år i træk. Den flerårige havis kan opnå en tykkelse på flere meter. Udbredelsen af havisen i Arktis er størst i marts måned og mindskes hen over sommeren for at nå sin mindste udbredelse i september (figur 2).

Havisen er vigtig for klimasystemet. Når havisen dannes af det salte havvand udfryses saltene, hvilket er med til at gøre havvandet tungere, og denne proces er vigtig for dybhavsdannelsen og havcirculationen. Er temperaturen i Arktis under frysepunktet, fungerer havisen som et låg ovenpå det relativt varme hav, men når havisen forsvinder, er der istedet direkte adgang til havoverfladen, der fungerer som et stort varmereservoir for den kolde ovenover liggende luft. Herudover bevirker havis-albedo-feedback, at den mørke havoverflade bedre absorberer indgående kortbølget stråling, mens den lyse havisoverflade reflekterer strålingen og dermed energien væk igen. Endelig er havis-randen et vigtigt biologisk område, og ændringer i havisen påvirker derfor hele fødekæden.

Det er altså relevant at se på, hvordan havisen har ændret sig i relation til tidligere tiders opvarmning og varme perioder.

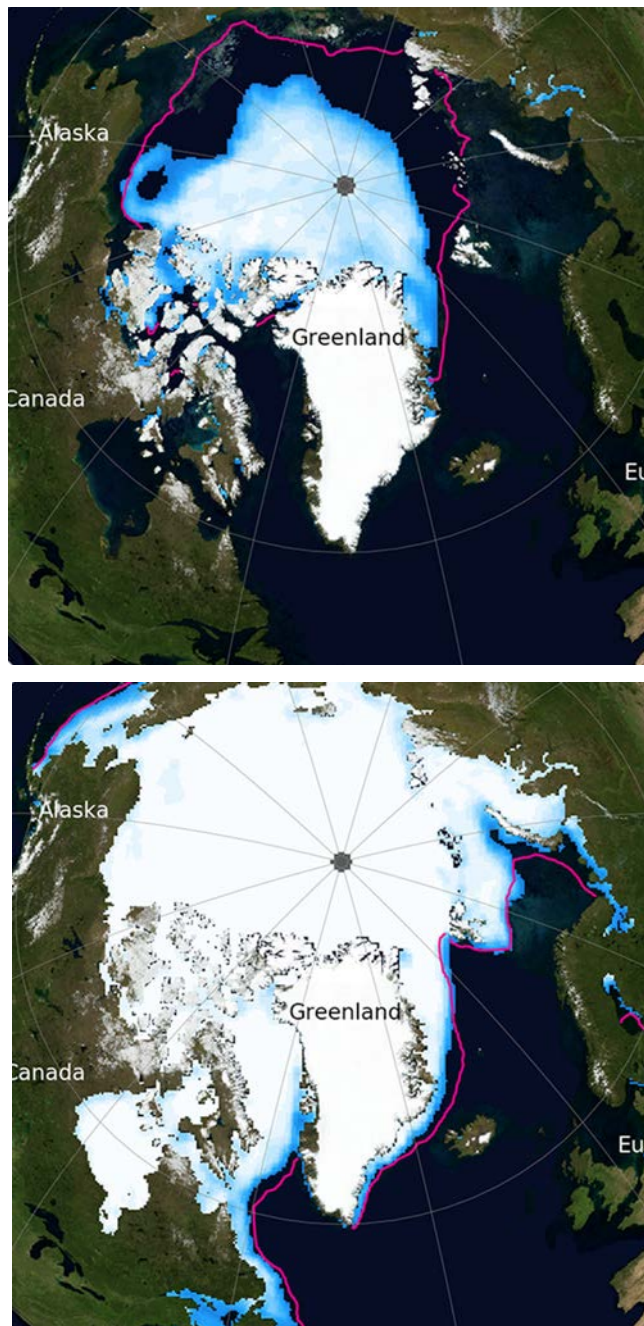
Havis proxyer

For at forstå den naturlige variation mellem is og temperatur kan vi kigge tilbage i tiden. Flere proxyer for havis eksisterer (se tabel 1 og figur 3).

Sedimentkerner fra havets bund lejrer tidligere tiders marine organismer. Måler man i sådanne sedimentkerner indholdet af biomarkøren IP25 [7], der stammer fra specifikke arter af diatomeer, der lever i nærheden af havis-randen, får man en idé om, hvordan tidligere tiders førsteårs havis varierede. Samtidig kan specifikke foraminiferer, der kun kan leve i åbent vand, yderligere hjælpe til med at bestemme grænsen for havisens udbredelse [8].

Iskerner fra land er unikke, idet de har høj tidslig opløsning. I iskerner fra Grønland bruger man indholdet af fysiokemiske proxyer, der kan berette om havisens udbredelse. Det er for eksempel måling af havsalt, natrium (Na^+) eller klor (Cl^-), som udfryses ved dannelsen af havis [9], eller målinger af brom (Br^-), der gennem radikale kemiske processer, opkoncentreres over førsteårs havis via brom-eksplosioner [10]. I iskernerne findes også enkelte biokemiske proxyer fx jod, som produceres af alger ved havisranden, men her skal man være mere forsigtig i analysen, da jod også indgår i andre klimavariierende processer [11]. Fælles for iskerne-havis-proxyerne er, at de er blevet transporteret

op til isen af vinden, og at transportprocessen og nedbøren undervejs skal estimeres, før man endeligt kan afgrænse fortidens havis udbredelse



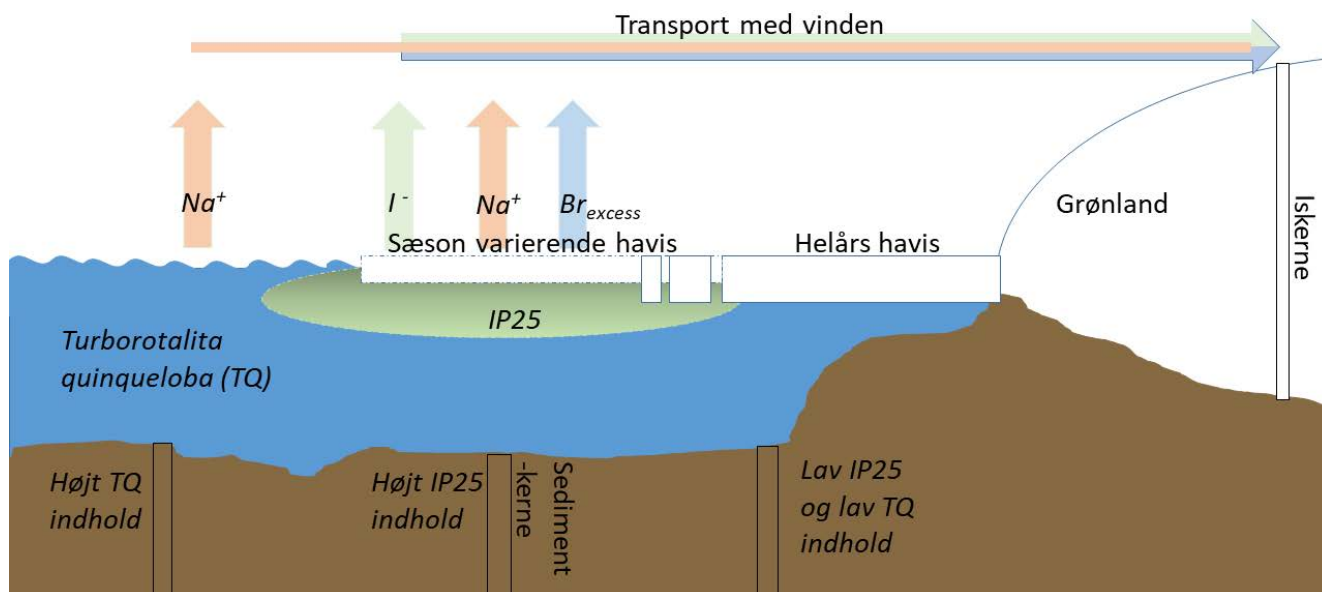
Figur 2. Havisens udbredelse i år 2020, samt i lilla middel udbredelsen for perioden 1981–2010. Øverst er havisens sommer-minimum repræsenteret (september) og nederst havisens udbredelse i marts (vinter max). Figur: National Snow and Ice Data Center (NSIDC).

Havisen driver opvarmning i Arktis

Ved at studere de ovennævnte proxyer har vi fundet evidens for at havisen er stærkt linket til tidligere tiders abrupte temperaturændringer.

Eem – den sidste mellemistid

I den sidste varme periode, Eemtiden (figur 4, øverst), hvor temperaturerne over Grønland var 8 ± 4 grader varmere end i dag, dokumenterer man i sedimentkerner fra det centralarktiske bassin rigelige mængder af den



Figur 3. Simpel illustration af havisen og de proxyer, der bruges til at rekonstruere havisens udbredelse. *Turborotalita quinqueloba* (TQ), der bedst trives i det åbne subpolare hav, og de organismer, der producerer IP₂₅, som trives nær havisen, bevares i sedimentet når de dør og falder til bunds. Dermed opnås fx en høj koncentration af TQ i sedimentet under åbent vand og ingen under helårshavisen, hvor de ikke trives. Mens forskellige ioner, der findes i iskernerne, oprindeligt kommer fra åbent hav (Na⁺), alger (I⁻) og førsteårs havis (Br_{excess}, Na⁺). Pilene repræsenterer transporten af disse ioner fra havets overflade og op til isen via vinden (se referencer i tabel 1 for en mere detaljeret beskrivelse af processer).

subpolare foraminifera *Turborotalita quinqueloba* (TQ), der ikke er forenelig med havis [8].

Det bakkes op af et højere niveau af jod fra iskernen NEEM under Eemtiden end det man finder i Holocæn, altså en større primærproduktion i det centrale arktiske bassin end i dag og også foreneligt med åbent vand [11].

IP₂₅ fra sedimentkerner i det centrale Arktis, der relaterer til den sæsonvarierende havis, viser at, på trods af de op til 8 grader varmere temperaturer over Grønland, var der stadig noget sæsonvariabel havis tilbage i det centrale arktiske bassin. Samme proxy viser til gengæld at i Barents havet var al havisen forsvundet [12].

Istiden

I istiden var den globale middeltemperatur ca. 6 grader koldere end i dag, men temperaturen i Arktis var meget skiftende. Man ved, fra vandsotoper i iskerner og borehulstemperaturer i Grønland, at det for 20.000 år siden var 18–23 grader koldere end i dag på Grønland. Men vandsotoperne fra Grønland viser også, at klimaet skiftede fra kolde stadiale perioder (GS) til pludseligt varme interstadiale perioder (GI). Temperaturen steg med op til 15 grader på bare få årtier. Disse abrupte opvarmninger, er de førnævnte DO-events. Hvorfor disse varme perioder (glaciale interstadiale - GI) eksisterer, og hvilke processer, der er involveret, er stadig en videnskabelig diskussion, men nyere evidens viser, at havisen også i istidens klimavariationer har en essentiel rolle.

Istidens arktiske bassin

Under istiden følger koncentrationen af havsalt ionen Na⁺ i de grønlandske kerner generelt temperaturen med højere koncentrationer i de kolde perioder (GS)

og omkring 10 gange lavere koncentrationer af Na⁺ under de varme GI. Det tolkes dels som et resultat af øgede vinde under istiden og dermed øget transport af urenheder generelt til isen, dels som et resultat af mindsket nedbør i det kolde klima og dermed en opkoncentrering af ioner generelt i iskernerne, og endelig som en funktion af øget havisdække i de kolde perioder, med opkoncentrering af havsalte i særlige frostformationer oven på havisen i forbindelse med havisdannelsen.

Under de kolde GS-perioder var havis udbredt (figur 4, midt venstre). Og i NEEM-iskernen fra det nordvestlige Grønland, der repræsenterer Canadas arktiske bassin (Baffinbugten og Labradorhavet) finder man under istidens maxima for 20.000 år siden kun lidt Br⁻-øgning relativt til Na⁺ (havsalt), altså et havisdække, der er komplet og ingen førsteårs havis i bassinet [10].

Under den hurtige transitionen til de varme GI-perioder viser de højtopløste “Br-excess”-målinger fra NEEM-iskernen, at det konstante havisdække ved Baffinbugten og Labradorhavet mindskes samtidig med opvarmningen og blev erstattet af sæsonvarierende havis (figur 4, midt højre). Den synkrone mindskning af havis i de canadiske bassiner og opvarmningen viser, at havisen og dens feedbackmekanismer formentlig er en forstærker for opvarmningen til de varme interstadialer, der ses i de grønlandske iskerner [13]. Under selve den varme periode observeres en øget variabilitet i første års havisen ved Baffinbugten.

I Norskehavet ændrer havisen også karakter tæt ved eller endda umiddelbart før Dansgaard-Oeschger-opvarmningerne og sæsonvarierende havis erstatter tidligt i opvarmningen det mere permanente havisdække (IP₂₅, “Br-enrichment” [14]), der i de kolde perioder

lå som et isolerende lag helt ned til ca. 60°N. De klimamodeller, der kan generere spontane DO-events understøtter målingerne fra sedimentkerner i Norskehavet og viser også, at havisen først mindskes i det

sydligste Norskehav, hvorefter større dele af havisen forsvinder i det nordatlantiske bassin [15]. Altså at havisdækket i Norskehavet er en precursor for temperatur-opvarmningen ved Grønland og for ændringer i resten af det nordatlantiske bassin.

Sedimentkerner	
Proxy	Beskrivelse
IP ₂₅ (PIP ₂₅)	IP ₂₅ er et lipid, der stammer fra særlige diatomer, der lever i nærheden af havisranden, og repræsenterer den sæsonvarierende havis. Sættes nogle gange i relation til den totale mængde lipider og kaldes så PIP ₂₅ [7]. Identificeres ved karakteristiske GC-retentionstid og massespektra.
TQ-subpolar foraminifer <i>Turborotalita quinqueloba</i>	Denne foraminefer lever i dag i det subpolare miljø, og er ikke forenlig med havis [8]. Den og andre foraminefera identificeres ved microscop efter filtrering af sedimentet.
Iskerner	
Proxy	Beskrivelse
Na ⁺ /Cl ⁻	Havsalt (NaCl) bliver opkoncentreret, når havis dannes, og i forbindelse med formation af særlige iskrystaller ovenpå tynd havis ("frost flowers"), men kan også transporteres direkte fra havet til toppen af iskapen, særligt når vindene er kraftige [9]. I isen kan saltionerne måles kontinuert og man kan opnå en årlig opløsning tilbage til 60.000 år fvt.
Br excess	Br ⁻ som også oprindeligt stammer fra havet bliver opkoncentreret relativt til natrium over førsteårs havis gennem bromin-explosioner, som kræver en saltoverflade fx havis. Man måler derfor både Na ⁺ og Br ⁻ og kigger på hvor meget ekstra Br ⁻ der er, i forhold til den fra havvand forventede ratio [10]. Br måles med ICP-SFMS typisk i en opløsning på 20–50 cm tilsvarende 3–20 års midler. I måles tilsvarende Br og i samme opløsning.
Jod	Globalt stammer atmosfærisk jod fra inorganisk emission af HOI og I ₂ fra havets overflade, samt biogenisk produktion af alkyljod. Men i arktiske egne er der yderligere en biogenisk produktion af HOI og I fra alger under og ved havisen [10, 11]. Br måles med ICP-SFMS typisk i en opløsning på 20–50 cm tilsvarende 3–20 års midler.

Tabel 1. Overblik over de her nævnte havisproxyer.

Under selve den varme interstadiale periode sker der en langsom og gradvis afkøling, og havisen spreder sig igen over det nordlige og centrale Baffinbugt-område observeret ved en mindskning i variabiliteten af Br⁻ i NEEM-kernen, der starter bare 100–600 år efter DO'ens begyndelse, muligvis som følge af, at ferskvand fra smeltende iskapper erstatter det ellers saltholdige overfladevand. Fordi ferskvandet har lavere frysetemperatur øges havisens udbredelse i Baffinbugten. Havis-ekspansionen fører så dette ferskvand yderligere mod syd, hvor dybvandsformationen og dermed transporten af varme mod nord forstyrres og transitionen til glacial stadial er komplet [13].

Havisen synes altså at spille en rolle både i forbindelse med opvarmningen og afkølingen.

Transitionen til Holocæn

Transitionen fra det kolde glaciële klima til det varme Holocæn er overvejende drevet af en stigning i solindstrålingen på den nordlige halvkugle.

Den iskerne, der repræsenterer Norskehavet, viser, at fra ca. 17.500 år siden begyndte opvarmningen synkront

med reduktionen af permanent havis, og det bekræftes yderligere fra sedimentkerner, der også viser en temperaturstigning i Nordatlanten. Den sæsonvarierende havis i Norskehavet dominerer under Yngre Dryas, og herefter erstattes havisen primært af åbent vand [10, 13].

I det canadiske arktis følger den sæsonvarierende havis ("Br excess") temperaturen over transitionen, og der ses altså en overgang fra permanent havisdække til sæsonvarierende havis med åbent vand i sommeren [10].

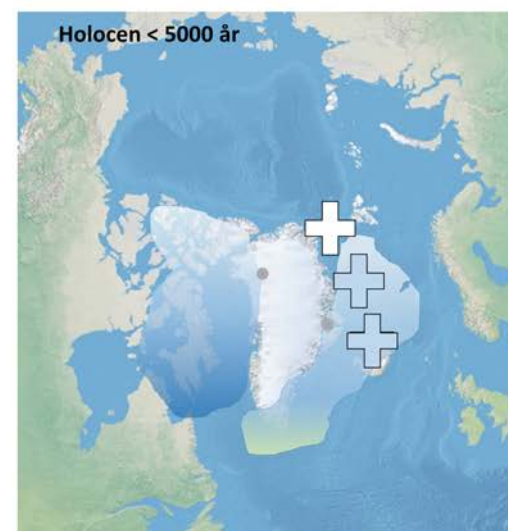
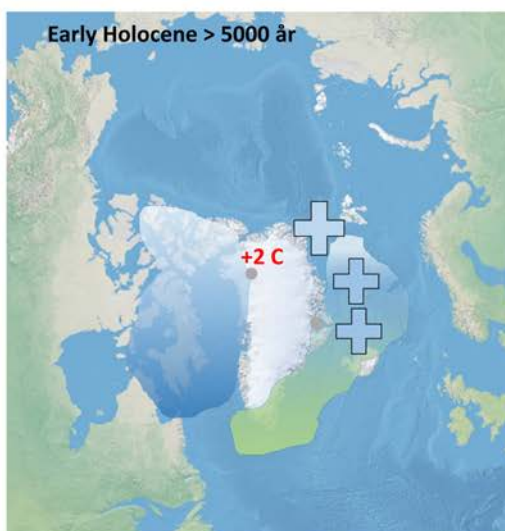
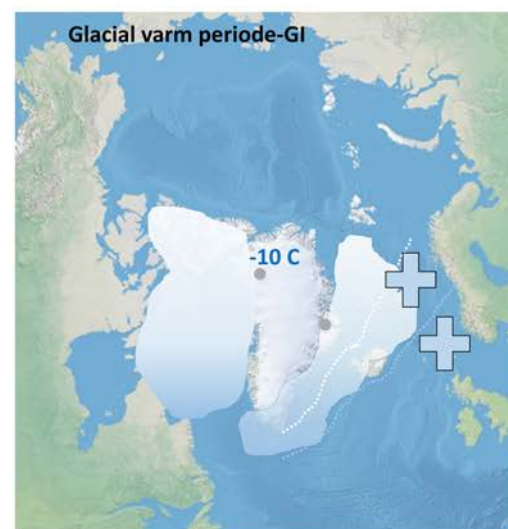
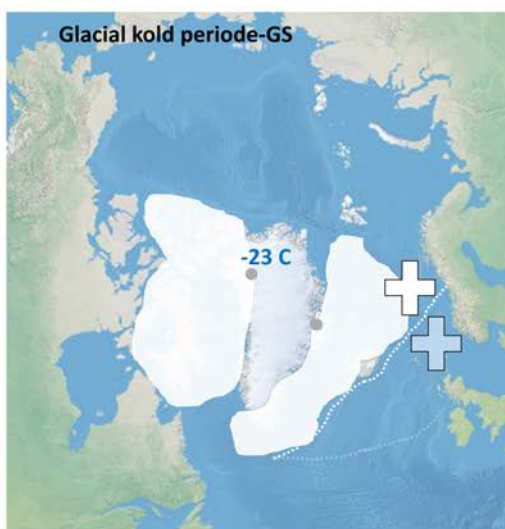
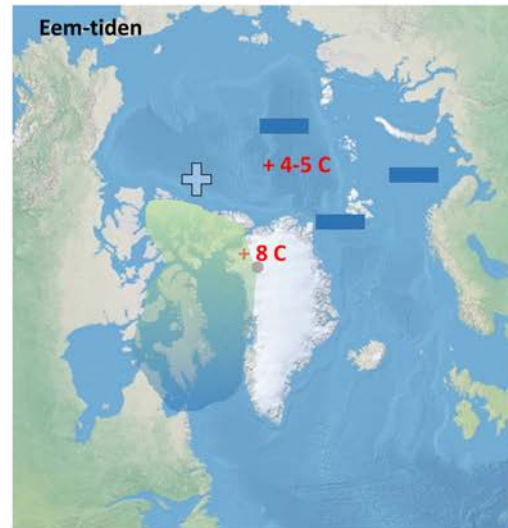
Holocæn - vores varme periode.

I det tidlige holocæn (figur 4, bund venstre) er solindstrålingen høj og i iskernen NEEM fra det nordvestlige Grønland som repræsenterer Baffinbugten, finder man for 8–9 tusind år siden den største udbredelse af sæsonvarierende havis, samtidig med temperaturerne over Grønland er 2–3 grader varmere end i dag [10].

I sedimentkerner fra den østlige side af Grønland i Framstrædet, hvor den arktiske havis i dag bliver transporteret langt mod syd af den grønlandske havstrøm, findes for samme periode det laveste niveau af første års havis i Holocænperioden.

Ved Østgrønland og nord for Island var havisen også reduceret i forhold til i dag, men en smule sæsonvarierende havis eksisterede. Samtidig er jodniveauet højt i den østgrønlandske iskerne fra Renland og repræsenterer åbent marint produktivt vand ud for det centrale Østgrønland [16]. Altså er tidlig Holocæn en periode, hvor havisen ligger langt mod nord.

Herefter startede en langsom øgning af havisen i det nordligste Nordatlanten. Det fører til Holocæns maksimale niveau af "Br excess" i den østgrønlandske iskerne RECAP, altså store mængder af sæsonvarierende havis for ca. 5.000 år siden, og der sker også et abrupt fald i jodkoncentrationen, altså den østgrønlandske algeproduktionen ophører abrupt samtidig med sæson varierende havis breder sig (figure 4, bund højre).



Figur 4. Viden om havisens udbredelse fra havis proxier målt i sediment og iskerner. Øverst ses den varme periode Eem (øverst). I midten er vist Istidens kolde (GS) og istidens varmere (GI) perioder, altså forskellen henover en såkaldt DO event og nederst vises henholdsvis tidlig Holocæn (10000-5000 år siden) og senere Holocæn (5000 år siden og frem) separat. Resultater fra sedimentkerner er indikeret med et plus for havis, mens minus indikerer åbent vand. Omridset nord-vest for Grønland indikerer det omtrentlige kildeområde for henholdsvis iskernen NEEM, mens RECAP iskernens omtrentlige kildeområde er vist øst for Grønland på samme måde. Grå prikker indikerer iskernernes geografiske position. Farverne indikerer havis der bliver gennem flere år uden at smelte om sommeren (hvid), sæson varierende havis (lyseblå), samt biologisk primær produktion (grøn) og åbent hav, repræsenteret ved subpolare marine organismer (blå).

Ved Framstrædet og omkring Island observeres en stadig øgning af havis frem til for ca 1000 år siden. Siden den middelalderlige varmeperiode for ca. 700 år siden har der været en retur til mere variable havisforhold begge steder [16].

Fortidens palæoklima kan hjælpe med at forudsige fremtiden

Den viden vi har om havis fra både sediment- og iskerner viser, at havisen og temperaturforandringer i Arktis er stærkt relaterede. Havisen er altså nøglen til at forstå fremtidens temperaturudvikling i Arktis. Derfor er det yderst vigtigt at fremtidige klimamodeller kan repræsentere havisen og de fysiske processer og feedbackmekanismer, der relaterer til den.

Vi kan ved at bruge de mange højt opløste palæoklimatiske proxyer, der er udviklet de seneste år, og som tilsammen giver indgående viden om havisens udbredelse og relaterede tidsskalaer, tjekke at modellerne kan reagere abrupt nok og har den rette mængde havis ved forskellige klimatiske konfigurationer, og dermed opnå større tiltro til fremtidige klimascenarier for Arktis.

Modellerne, der skal bruges ved den næste IPCC-rapport, CMIP7, er under udvikling, og det er derfor yderst vigtigt, at den nye viden inkluderes i modellerne og de resultater og fremskrivninger for klimaet, der forventes de kommende år.

Litteratur

- [1] M. Rantanen m.fl. (2022) "The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979", *Communications earth & environment*, bind 3, side 168.
- [2] E. Jansen m.fl. (2020) "Past perspectives on the present era of abrupt Arctic climate change", *Nature Climate Change*, bind 10, side 714–721.
- [3] J. C. Stroeve m.fl. (2012) "Trends in Arctic sea ice extent from CMIP5, CMIP3 and observations", *Geophysical Research Letters*, bind 39, side L16502.
- [4] W. Dansgaard m.fl. (1993) "Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record", *Nature*, bind 364, side 218–220.
- [5] V. Gkinis m.fl. (2021) "A 120,000-year long climate record from a NW-Greenland deep ice core at ultra-high resolution", *Scientific Data*, bind 8, side 141.
- [6] NEEM community members (2013) "Eemian interglacial reconstructed from a Greenland folded ice core", *Nature*, bind 493, side 489–494.
- [7] S. T. Belt m.fl. (2007) "A novel chemical fossil of palaeo sea ice: IP25", *Organic Geochemistry*, bind 38, side 16–27.
- [8] F. Vermassen og H. Coxall (2023) "Disappearance of Arctic sea ice during summers of the Last Interglacial", *Nature Geoscience*, bind 16, side 669–670.

- [9] R. H. Rhodes, X. Yang og E. W. Wolff (2018) "Sea ice versus storms: what controls sea salt in arctic ice cores?", *Geophysical Research Letters*, bind 45, side 5572–5580.
- [10] J. P. Vallerøonga m.fl. (2021) "Sea-ice reconstructions from bromine and iodine in ice cores", *Quaternary Science Reviews*, bind 269, side 107133.
- [11] J. P. Corella m.fl. (2022) "Climate changes modulated the history of Arctic iodine during the Last Glacial Cycle", *Nature Communications*, bind 13, side 88.
- [12] R. Stein m.fl. (2017) "Arctic Ocean sea ice cover during the penultimate glacial and the last interglacial", *Nature Communications*, bind 8, side 373.
- [13] F. Scotto m.fl. (2022) "Sea ice fluctuations in the Baffin Bay and the Labrador Sea during glacial abrupt climate changes", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, bind 119, side e2203468119.
- [14] H. Sadatzki m.fl. (2019) "Sea ice variability in the southern Norwegian Sea during glacial Dansgaard-Oeschger climate cycles", *Science Advances*, bind 5, side eaau6174.
- [15] G. Vettoretti, P. Ditlevsen, M. Jochum og S.O. Rasmussen (2022) "Atmospheric CO₂ control of spontaneous millennial-scale ice age climate oscillations", *Nature Geoscience*, bind 15, side 300–306.
- [16] N. Maffezzoli m.fl. (2021) "Sea ice in the northern North Atlantic through the Holocene: Evidence from ice cores and marine sediment records", *Quaternary Science Reviews*, bind 273, side 107249.



Helle Astrid Kjær er lektor ved Niels Bohr Institutet og leder de kontinuerlige kemiske målinger af iskerner i Afdelingen for Is-, Klima- og Geofysik. Hendes forskning støttes af Danmarks Frie Forskningsfond (1131-00007B), H2020, og Novo Nordisk Challenge projektet PRECISE.



Nanna Andreasen er ph.d.-studerende ved Niels Bohr Institutet i Afdelingen Is-, Klima- og Geofysik. Hun arbejder med rekonstruktion af havisens udbredelse i Holocæn og med diatomeer i iskerner. Hendes forskning støttes af Danmarks Frie Forskningsfond (1131-00007B).

Den Internationale Rumstation og Danmark

– Anden del: kæmpelyn, kameraer og jordskin

Carol Anne Oxborrow, DTU Space

Denne artikel er anden del af tre artikler om danske eksperimenter på den Internationale Rumstation, ISS. Jeg fokuserer her på eksperimenter, jeg kender til personligt, enten som forskningsleder eller gennem mine kolleger på DTU Space og DMI. Her fortæller jeg om vores forskningsprojekter udført af den danske ESA-astronaut, Andreas Mogensen, under hans iriss- og Huginnmissioner til ISS i 2015 og 2023-4. Som medlem af ESA, Den Europæiske Rumorganisation, er Danmark med i verdens største rummissioner, også på ISS.

Andreas Mogensens rummissioner: iriss og Huginn

I Kvant 2024 nr. 2 [1] har jeg skrevet om Andreas Mogensens udvælgelse og træning, samt om ISS generelt. I denne artikel vil jeg fortælle om hans to missioner og noget om, hvad han lavede på de to ture. Andreas blev udvalgt som astronautkandidat i 2009 og var færdiguddannet og hyret som astronaut i 2010, men han måtte vente indtil september 2015 for at blive opsendt til ISS på hans iriss-mission, der varede 10 dage. Den var en kort mission, hvor formålet var at tage derop i en frisk Soyuz/Progress-kapsel og for at bringe en lignende kapsel, der havde været deroppe i 6 måneder, ned igen. Grunden til denne lidt usædvanlige mission var, at ledelsen for ISS hos NASA, ESA og Roscosmos var begyndt at eksperimentere med et-års-missioner, i stedet for de sædvanlige halvårs-ture.



Figur 1. ISS set fra forsiden. Columbus. ESA's laboratorium-modul, hvor Andreas havde sin arbejds- og soveplads, ses forrest til venstre, med ASIM-instrumenterne på det nederste stativ for enden af Columbus. Billede: NASA/ESA (CC BY-NC-ND 2.0 DEED).

Det viste sig imidlertid, at kapslerne ikke kunne klare mere end omkring 6 måneder i rummet. Hver besætning, der opsendes, har deres kapsel parkeret på stationen som redningsbåd, indtil de kommer ned i denne igen. Af sikkerhedsmæssige grunde skulle Andreas og hans kapsel-kammerater, Sergei Volkov og Aidyn Aimbetov, levere en ny af slagsen til dem, som havde været deroppe allerede i 6 måneder, og skulle blive der 6 måneder til. Deres første opgaver, da de nåede ISS, var at flytte stolene, der var støbt til netop dem, fra den nye kapsel til den gamle, de skulle ned med.



Figur 2. Andreas Mogensens missions-emblemer.

Andreas' første meget korte mission hed iriss (med "iss" i navnet), efter den græske gudinde for regnbuen og gudernes budbringer. Hans 6-måneders mission i 2023-2024 hed Huginn efter en af de to ravne, der sidder på hver side af Odin og udsendes om dagen for at samle viden om Jordens tilstand, som de giver videre til Odin om natten. De to missions-emblemer, der vises i figur 2, er fyldt med symboler: iriss-skibet er også en vikingehjelm i rød, hvid og ESA-blå. Huginn-emblemet har en mere subtil symbolik med Danmark-formede skygger i ravnens vinger, og hvide reflekser der viser hvordan Andreas rejser fra sin hjemby, København, til ISS. Stjernerne tegner i vikingeruner symbolet for "sikre rejser".

Billeder fra ISS

Lige efter Andreas' første mission til ISS var offentliggjort, indkaldte Uddannelses- og Forskningsministeriet (UFM) forslag til eksperimenter, han kunne udføre under missionen. Det skulle være forsøg, der var nemme, hurtige og kun brugte udstyr, der allerede var oppe på ISS. Et stykke udstyr, de har deroppe, er et HD-videokamera. Der er en lang historie med fotografering fra ISS – Andreas har selv en stor, privat samling af billeder af lufthavne, fordi han altid har været fascineret af dem. Mellem 2014 og 2019 kunne man se en live stream fra et HD-videokamera monteret på ydersiden af ISS (HDEV-eksperimentet) – og denne var vildt fascinerende, som at flyve med rumstationen over Jorden.

Som forskere i DTU Space's Atmosfærisk Elektricitetsgruppe indsendte Torsten Neubert og Olivier Chanrion et forslag om at filme lyn manuelt fra ISS. Forslaget blev godkendt som "Thor-eksperimentet". På

det tidspunkt i 2014 var gruppen og mange ingeniører på DTU Space og Terma A/S i gang med at færdiggøre ASIM-instrumenterne, der skulle op til ISS i 2017, og vi så derfor Thor som en kort forgænger for ASIM-missionen. Vi kunne se i forvejen fra HDEV, at på nattesiden af Jorden funkler det med lynnedslag hele tiden – men der var meget lidt videnskabelig analyse af disse optagelser. Vi fik tildelt flere gange femten minutter af Andreas' dyrebare tid til at filme voldsomme uvejr gennem et køje i Pojsk, den russiske dokningskapsel. Olivier Chanrion forsynede ESA med uvejrspgnsoser hver dag – og Thor blev sat i gang.



Figur 3. Andreas Mogensen og forfatteren med en 3D print-model af ASIMs røntgen- og gammastrålingsenhed, MXGS, november 2015. Foto: DTU Space.

Thor 2015

Desværre kom der ikke særlig meget ud af disse planlagte observationer, da køjet var svært at fotografere igennem. Andreas er dog langt mere end bare pligtbefyldende. Vi havde fået at vide fra UFM, at vinduesmodulet Cupola ikke kunne bruges til vores eksperiment, fordi den er helliget astronauternes pauser. Fair nok – de har et meget stressende arbejdsliv. Men Andreas ville ikke lade eksperimentet ligge, og under en pause i Cupola en nat kunne han se, at ISS var på vej hen mod et meget aktivt uvejr over Bengalbugten. Han hentede kameraet frem og filmede 2 minutter med optagelser af lyn, og dermed så han noget helt nyt.

Vores forskningsgruppe på DTU Space beskæftiger sig ikke med selve lynet, men med det fænomen, der udløses over stormskyer i forbindelse med lynnedslag og stærk elektrificering af stormskyer: kæmpelyn, der fås i mange varianter, og ses over de mest energirige uvejr, først og fremmest i troperne. Det var Olivier Chanrion, der gennemgik Andreas' film – billede for billede. En lidt redigeret udgave af filmen kan ses på YouTube: https://youtu.be/vZkw_o25UyM. For det første kan man

se de almindelige lynnedslag, der oplyser skyerne nedefra – og der er mange af dem. Se for eksempel figur 4, hvor vi klart kan se stormskyernes tårnform. Nogle af disse skytoppe når helt op i stratosfæren og kaldes for “over-shooting tops”, der bringer fugtighed og adskillige partikler højt op i atmosfæren, og dermed har betydning for Jordens klima. I det nederste venstre hjørne af filmen kan man skimte solpanelerne på en Soyuz-kapsel parkeret på ISS.



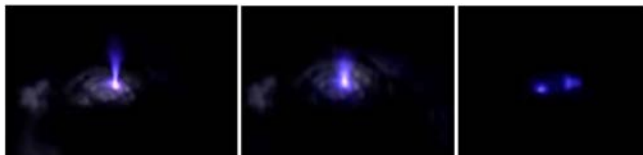
Figur 4. Lynnedslag oplyser stormskyer over Bengalbugten. Foto: ESA/Andreas Mogensen/DTU Space.

De mere usædvanlige begivenheder ses bedst med et kamera, idet de næsten sker for hurtigt for menneskeøjene. Røde Feer (Red Sprites) er forholdsvis talstærke fænomener (hvis man Googler ‘Red Sprites images’ kommer der hundredvis af billeder frem). Andreas har snuppet nogle af dem, og vi kan se, at den røde fe sker samtidigt med et lynnedslag, der dominerer billedet i figur 5.



Figur 5. Rød fe set i forbindelse med et lynnedslag. Foto: ESA/Andreas Mogensen/DTU Space.

Noget mere usædvanligt end en rød fe er blåstråler og kæmpestråler, men det som blev set for første gang i Andreas' film (som han ville have haft svært at se under optagelserne) var blå-stråler, blå-glimter, blå-begyndere og blå-korona'er, der først kom frem med Olivier Chanrions finkæmning af filmen. Disse navne dækker over en bred vifte af vedvarende aktivitet på toppen af en enkelt elektrificeret sky på en måde, der ikke var set før. Vi kan også se, at disse blåstråler ikke er udløst i forbindelse med et lynnedslag, men opstår som følge af skyens opladning.



Figur 6. : Et lille udpluk af de næsten 200 blå begivenheder, der ses i Andreas Mogensens Thor-film.

Andreas var medforfatter til artiklen i *Geophysical Research Letters* [2].

Artiklens konklusioner lød: "... mange nedslag på kilometer-skala på niveauet med skyernes top i omkring 18 kilometers højde, pulserer med blå lys og kan nå helt op til stratosfæren i 40 kilometers højde. De understreger, at tordenstormsaktivitet kan påvirke stratosfærens kemi med mulige følger for Jordens energibalance." I øvrigt havde Olivier Chanrion talt mere end 90 blå begivenheder i minuttet i Andreas' film. Thor-eksperimentet var meget vellykket og langt over alles forventninger.

Thor var bare et enkelt eksperiment ud af flere som Andreas lavede under iriss-missionen. Han var med til at afprøve SkinSuit fra University College London, der skulle holde astronauters rygsøjler samlet i vægtløs tilstand. Han lancerede en CubeSat, AAUSAT5, der var bygget af studerende fra Aalborg Universitet. Han havde stor succes med at styre en opdagelsesvogn fra rummet, og han brugte en ny form for handske, der styrer en robthånd med følesans-feedback, således at astronauten har fornemmelsen af at røre ved objektet med robthånden og dermed kan udføre ganske følsomme opgaver, uden at gå uden for ISS. Alle disse eksperimenter er direkte nødvendige for fremtidens rummissioner, men de har også store anvendelsesmuligheder her på Jorden.

Thor-Davis 2023-24

Vi havde travlt i årene mellem iriss-missionen og 2022, da Andreas' anden mission blev offentliggjort af UFM og ESA. Da opslaget om eksperimenter udkom, var vi ikke begrænset til udstyr, der allerede fandtes på ISS, men denne gang havde vi mulighed for at udvikle instrumenter selv. Derfor kom Olivier Chanrion og Nicolas Pedersen i gang med at lave et kamerasæt, hvori et almindeligt HD-videokamera kunne filme sammen med et neuromorfisk eller "Event"-kamera. Problemet vi altid har med at studere kæmpelyn, er at det sker meget hurtigt selv i forhold til almindeligt lyn. Et lynnedslag til Jorden med alle dens processer varer omkring 0,5 sekunder, mens kæmpelyn kan være så korte som en tiendedel af et almindeligt lyn. Derfor har vi brug for meget fin tidsopløsning for at følge med i kæmpelynets udvikling. Til de jordbaserede lynstudier kan man købe et meget dyrt, tungt og energikrævende videokamera, der kører med 100.000 billeder i sekundet, og udover selve kameraet må man også købe et kølesystem til kameraet. Det hele er meget dyrt, men til gengæld indsamler systemet megabytes af data ved hvert nedslag.

Sådan noget er totalt uegnet til rummissioner på alle måder, inklusive den tunge datastrøm. Derfor foreslog vi at bruge en forholdsvis ny form for et kamera, der kun sender oplysninger ud, når lysniveauet i et enkelt

billedelement ændrer sig, enten med mere lys eller mindre lys. Derfor er datastrømmen meget lille. Sådan et kamera kaldes for et neuromorfisk kamera, fordi det fungerer som vores egne øjne og hjerner – vi ser kun de interessante nye ting, der sker, ikke den kedelige baggrund. Kameraet selv vejer 100 g, bruger 1,5 watt og er på størrelse med en pakke cigaretter (hvis jeg må sammenligne med noget så gammeldags) – jeg var helt forbløffet, da det blev leveret på instituttet. For at få fuld anvendelse af det, der svarer til 100.000 billeder i sekundet, må man have komplementerende billeder fra et videokamera, der viser alle de ting, der ikke ændrer sig i de millisekunder, kæmpelynet er på spil.



Figur 7. Olivier Chanrion viser Andreas Mogensen kamerasættet, han skal bruge under Huginnmissionen.

Figur 7 viser Andreas Mogensen og Olivier Chanrion på en pressekonference nogle måneder før opsendelsen til ISS. Her fik Olivier mulighed for at vise Andreas kamerasættet, der skulle bruges til lyn-optagelserne. Den lille røde æske lige over Oliviers tommelfinger er Davis 246 event-kameraET. Men at få et kamerasæt op til ISS kræver langt mere end at vise udstyret til en astronaut. Oliver og Nicolas Pedersen måtte udvikle en hel del software og lave elektronik for at få de to forskellige kameraer til at fungere sammen, ligesom ESA og NASA har et hav af sikkerhedskrav, der skal implementeres og dokumenteres. Og der skal skrives en enormt detaljeret brugervejledning til astronauterne.

Softwaren kan opdeles i to enheder. Under selve optagelsen er der software, som styrer elektronikken, der starter og standser de to kameraer samtidigt og behandler datastrømmen. Når data ankommer til DTU Space, er der software til at danne billeder ud fra de sparsomme data fra event-kameraet. I modsætning til et almindeligt kamera har Thor-Davis-kameraet en stor "dynamisk rækkevidde". Det vil sige, at kameraet er lige så godt til at registrere meget små ændringer i lysniveauet, når der er svagt lys i de begyndende lynprocesser, som det er til at registrere det stærke lys, der opstår, når lynet er i fuld sving. Dermed kan vi analysere alle faser af kæmpelynets dannelse, opblomstring og forsvinden.

Der var også brug for en hel del praktisk arbejde, der havde at gøre med sikkerhed og vejledning, inden kamerasættet kunne godkendes til opsendelse til ISS. Det skulle således undersøges, om det fx er muligt, at linsesystemet på videokameraet kan eksplodere, hvis

kameraet pludselig befinder sig i et miljø uden lufttryk. Derfor skal der bores små huller ind til hver del af udstyret, der kan gemme luft i sig. For at undgå, at en astronaut kan ramme vinduet med kameraet og ødelægge udstyret, skal der laves en beskyttende krave omkring kameraets åbning. Denne lille sorte krave kan ses på forsiden af den røde æske i figur 7 og er næsten lige så stor som selve kameraet.

Heldigvis blev Andreas Mogensen ikke skadet af eksploderende linser eller stumper af et knust kamera. Han havde selv arbejdet for, at Thor-Davis og Jordskins-eksperimentet skulle udføres i Cupola, og vi fik lov til at få Thor-Davis-computeren monteret lige uden for vinduesmodulet. Erfaringerne fra Thor-eksperimentet viste, at planlagte observationer ikke er de bedste, selv med daglige uvejrprognoser. Derfor fik Andreas lov til at bruge Thor-Davis-kameraerne, når der var mulighed for gode optagelser på 12 bestemte lørdage. På ugens fem hverdage er astronauternes arbejdsdage planlagt i 15 minutters perioder, så her kan der ikke komme lejlighedsvis optagelser. Søndagene er til astronauternes egne hobbyer og interesser (såsom at fotografere lufthavne). Men lørdagene er afsat til rengørings- og husholdningsopgaver, og her kan man sagtens kigge ud af Cupola en gang imellem, guidet af prognoser, for at se om der kommer noget interessant. Denne strategi har fungeret meget godt for eksperimentet, og igen gik Andreas langt udover det pligtopfyldende – til sidst fik vi data fra over 30 lørdage. I 21 dage havde han hjælp fra en anden ESA-astronaut, Marcus Wandt, hvis mission hed Muninn efter den anden af Odins ravne. Vi håber på, at de to amerikanere, der p.t. er strandet på ISS, vil bruge noget af ventetiden på også at lave nogle kæmpelyn-observationer.

Nogle billeder er blevet offentliggjort fra missionen og kan ses på [3]. Figur 8 viser kvaliteten af billederne, der kommer ned fra Thor-Davis. Billedet til højre viser lynet og den røde fe, som er i gang med at udvikle sig i en kort tidsperiode, mens videobilledet til venstre viser de samlede fotoner over et længere tidsrum. Her kan udviklingen ikke ses, og lynet er overeksponeret.



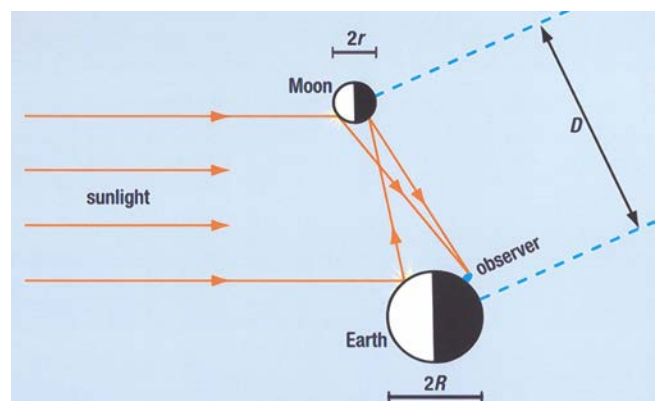
Figur 8. Billeder af lyn og rød fe taget samtidigt med HD-videokamera (venstre) og Davis eventkamera (højre) af Andreas Mogensen under Huginnmissionen.

Thor-Davis var bare et enkelt eksperiment udført af Andreas Mogensen under Huginnmissionen. De andre eksperimenter omfattede 3D-print i metal af reservedele (DTU); Mental sundhed og motion med virtuel realitet (DTU, [4]); effektiv vandrensning med en ny Aquaporin-membran; overvågning af astronauternes

søvnrytme med EEG; lys og døgnrytme på ISS samt en eksperimentel platform for skolebørn, der vil lave forsøg. Hvert af disse eksperimenter har en fascinerende historie bag sig, og derfor overlader jeg det til forskerne selv at fortælle om deres eksperimenter og resultater. Men som afslutning vil jeg fortælle om et andet eksperiment, jeg har fulgt på nært hold, fordi data om Jordskin behandles i min egen kælder, nemlig af min mand, Peter Thejll fra DMI. Det har været vildt spændende at se helt nye billeder af Månen dukke op i “Daddy’s Den” hver aften i seks måneder.

DMI Jordskin 2024

Der har været Jordskins-forskning på DMI i over 20 år. Tanken er, at nøjagtige målinger af Jordskinnet over længere perioder kan vise, hvordan Jordens evne til at reflektere sollys ændrer sig i takt med, at klimaet opvarmes. Hvor meget lys, der reflekteres eller absorberes i atmosfæren, har store konsekvenser for opvarmningen. Så hvad er Jordskin for noget? Vi kender alle til måneskin, som jo er sollyset reflekteret fra Månen og kan ses på Jorden. Jordskin er sollyset reflekteret af Jorden og op på Månen. Den sol-oplyste side af Månen er alt for lys til at se effekten af lyset reflekteret fra Jorden, men på Månens ikke-oplyste side kan man se Jordskinnet, der meget svagt reflekteres fra Månen som vist i figur 9.



Figur 9. Jordskin reflekteres først fra Jorden og så fra Månen.

Der har været forsøg på at studere Jordskin fra et lille teleskop oprettet af en gruppe danske og svenske forskere på toppen af en vulkan på Hawaii. Men selv på sådan et bjerg er der en hel del atmosfære mellem teleskopet og Månen, som kan ses i det spredte lys i figur 10. Billedet er sammensat af mange enkeltbilleder. Bruger man billeder nok, kan detaljerne på selv den almindeligvis mørke side ses. Da Jorden set fra Månen er større end Månen set fra Jorden, oplyser Jorden Månen ret stærkt – det hjælper også til at lade den mørke sides detaljer træde frem.

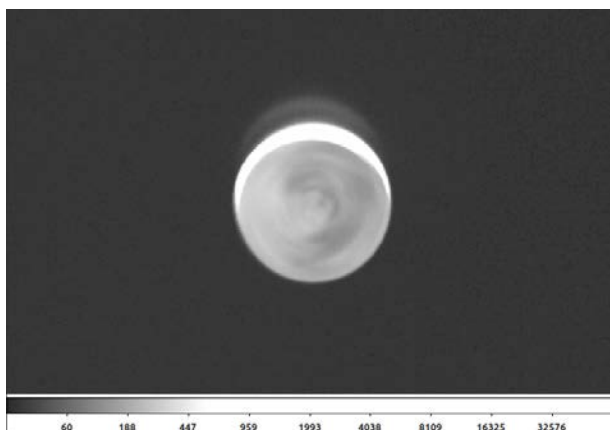
Den stærke spredning af lyset fra den lyse side til den mørke side gør det meget svært at bestemme Jordskinsstyrken til den nødvendige grad af nøjagtighed, der er 0,1%. Ved at fotografere Månen uden for Jordens atmosfære kan man komme tættere på denne nøjagtighed. Jordskins-eksperimentet under Huginnmissionen var et forsøg på at finde Jordens refleksivitet bedre end

0,1%. Denne gang brugte Andreas Mogensen det helt almindelige HD-kamera for at filme nymånen. Igen gik Andreas grundigt til værks, og der kom langt mere data ud af missionen end forventet. Udover disse billeder fra ISS, var folk verden over inviteret til at tage billeder af Månen med deres egne højkvalitetskameraer og poste dem på nettet med #NewMoonSnap og #Huginn som etiketter. Dermed kunne forskere sammenligne jordbaserede billeder med rumbaserede billeder.



Figur 10. Månen med både måneskin og jordskin som set med Jordskins-teleskopet på Hawaii.

Prøv at google “Earthshine” for at se de mange billeder af fænomenet.



Figur 11. De første billeder fra Huginnmissionen viser klart jordskin uden atmosfærisk spredning.

Som set i figur 11 er billederne fra Andreas Mogensens optagelser af betydeligt højere kvalitet uden

tegn på atmosfærisk spredning af lyset fra den oplyste del af Månen. Men et andet problem, dog af langt mindre grad, er nu dukket op, som tit er tilfældet med nye og forbedrede forsøg. Lige ovenover den oplyste bue kan man se en svag bue mere, som er en refleks fra Cupola-vinduet mellem kameraet og Månen – og dermed mellem astronauterne og det livløse og luftfrie rum. I andre billeder ses flere refleks-buer, fordi vinduerne i Cupola er lavet af flere glas-plast lag for at gøre dem skudsikre med hensyn til mikrometeoriter.

Forskerne på DMI kan nu komme tættere på de 0,1%, der kræves for at følge med i Jordens daglige, månedlige, årlige og lang-tids ændringer i refleksivitet. Der arbejdes videre med Andreas Mogensens billeder, men den endelige løsning forudsætter et automatisk kamerasystem, der kan registrere Månebilleder regelmæssigt i mange år, uden atmosfære eller vindue imellem. Derfor arbejder folk på DTU og DMI på at lave et kamerasystem, der kan opsættes på ISS, eller anden satellit, for at sende den nødvendige strøm af billeder tilbage til Jorden og dermed fortælle om planetens udvikling og fremtid.

Dette er den anden del af serien om Danmarks eksperimenter på ISS. I den tredje og sidste artikel fortæller jeg om to langvarige missioner, vi har i gang på den Internationale Rumstation, ASIM og Nicer, samt det kommende TOTEM-projekt.

Litteratur

- [1] C.A. Oxborrow (2024) “Den Internationale Rumstation og Danmark – Første del: Fra Skylab til Shenanigans”, *Kvant*, bind **35**, nr. 2, side 6–9.
- [2] O. Chanrion, T. Neubert, A. Mogensen, Y. Yair, M. Stendel, R. Singh og D. Siingh (2017) “Profuse activity of blue electrical discharges at the tops of thunderstorms”, *Geophysical Research Letters*, bind **44** side 496–503.
- [3] <https://www.space.dtu.dk/om-os/nyheder/nyhed?id=46693140-bf37-496c-9ce1-2dc73bc018b7>
- [4] P.L. Thomsen (2024) “Virtual Assistance Mental Balance – et værktøj til vedligeholdelse af astronauters psyke”, *Kvant*, bind **35**, nr. 2, side 10–12.



Carol Anne Oxborrow er fysiker, ph.d. Hun har arbejdet på DTU Space i 26 år med adskillige rummissioner: INTEGRAL, Planck, ASIM, MIRI på JWST og nu ATHENA WFI, der skal opsendes i 2038. Carol Anne er leder af ASIM Science Data Centre og forskningsgruppen for Atmosfærisk Elektricitet på DTU Space, samt viceleder af Afdelingen for Astrofysik og Atmosfærens Fysik.

Mekanisme bag ringe i universet

Klaus Nielsen

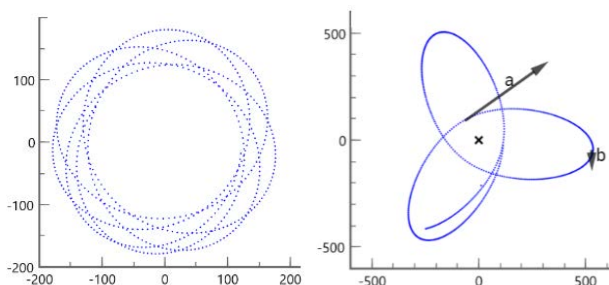
Der er mange astronomiske observationer af ringe i universet; ringe om planeter, ringe i galakser, og senest en gigantisk ringstruktur i universet. De simuleringer, jeg har lavet af galakser m.m., viser, at der findes en enkelt forklaring, der kan være med til at forstå, hvordan ringe dannes i universet.

Ellipser og snirkler¹

Når et legeme kun er påvirket af en centralkraft

$$FG = \text{konstant} \cdot r^n, \quad (1)$$

hvor r er afstanden til centrum af bevægelsen og $n < 0$, vil der kunne opstå en tilstand, hvor legemet bevæger sig på en cirkel. Hvis FG bliver lidt mindre, vil legemet først bevæge sig lidt væk fra centrum for dernæst at bevæge sig indad igen. Hvis $n = -2$ bliver legemets bevægelse ellipseformet, som for drabanter om stjerner. Er $n \neq -2$ bliver legemets bevægelse mere kompleks, men legemet snirkler sig stadig ud og ind mellem to afstande fra centrum. Når legemet er tættest på centrum, er farten størst og større, end hvis legemet kredsede i en cirkel i samme afstand. Når legemet er længst væk fra centrum, er farten mindst og mindre, end hvis legemet kredsede i en cirkel i samme afstand.

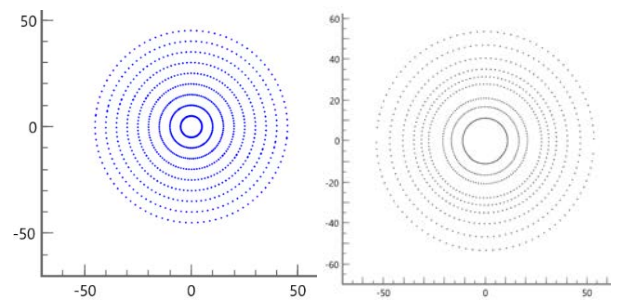


Figur 1. Til venstre: Et legemes bevægelse i en snirkloide omkring et centrum når $n=-1$. Til højre: Et legemes bevægelse i en snirkloide, a og b er hastighedsvektorer.

Antag, at der til et givet tidspunkt er opstået en cirkelformet ring i rummet, hvor alle dellegemer i ringen bevæger sig på en cirkel. Hvis centralkraften derefter bliver mindre, vil alle dellegemerne begynde at bevæge sig mellem to afstande til centrum. Udefra ser det bare ud til, at radius i "cirklen" først bliver større for dernæst at aftage igen. Men den bagvedliggende mekanisme er, at hver enkelt dellegeme bevæger sig på en ellipse eller snirkloide.

Antag, at der til et givet tidspunkt er opstået mange ringe om samme centrum i rummet. Hvis centralkraften FG bliver mindre, vil hver enkelt dellegeme begynde at bevæge sig på deres egen snirkelformede bane. Da ringene til en start har forskellige afstande til centrum,

sker der det interessante, at nogle af de inderste ringe kan indhente de ringe, der ligger lidt yderligere. I stedet for mange ringe om et centrum, vil det nu se ud som om, at der er færre ringe om centrum, nu med større tæthed end før.



Figur 2. Til venstre: En model af en skiveformet galakse til start. De viste 9 baner består alle af 102 prikker. Til højre: viser galaksen, når centralkraften FG bliver mindre efter 2 omløbstider for stjerner i den yderste bane. Det ses at banerne har ændret afstand mellem hinanden og skabt større eller mindre tæthed af stof/stjerner. Der er opstået tæthedsringe om centrum af galaksen.

The Big Ring

Antag, at der først er dannet en kolossal stor skive af stof, hvor hvert dellegeme kredser i deres egen cirkel om et centrum. Hvis universet udvider sig vil centralkraften FG på hvert dellegeme blive mindre², der vil opstå ringe af stof om centrum. Måske vil ringene på et tidspunkt samle sig i kun en enkelt ring, der vil kunne opløse sig i flere ringe igen afhængig af universets yderligere udvidelse.

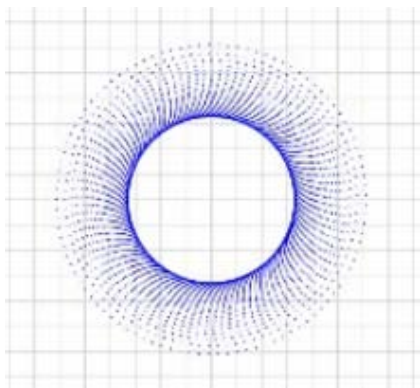


Figur 3. The Big Ring – 6,9 milliarder lysår borte har astronomer spottet en næsten perfekt cirkel af galakser med en diameter på svimlende 1,3 milliarder lysår.

¹Forfatterens udtryk. Snirkloider ligner hypocykloider uden at være det matematisk.

²Det er næsten utænkeligt at universets udvidelse ikke har indflydelse på strukturer i rummet, der er så store. Der bør af samme grund regnes relativistisk, så hermed en opfordring til det.

Figur 4 viser en simulation af en skiveformet massefordeling, hvor alle dellegemer først har kredset i cirkler om et centrum. Senere er centralkraften FG blevet meget mindre, hvilket bevirker, at de inderste baner fra starten er blevet til de yderste baner.



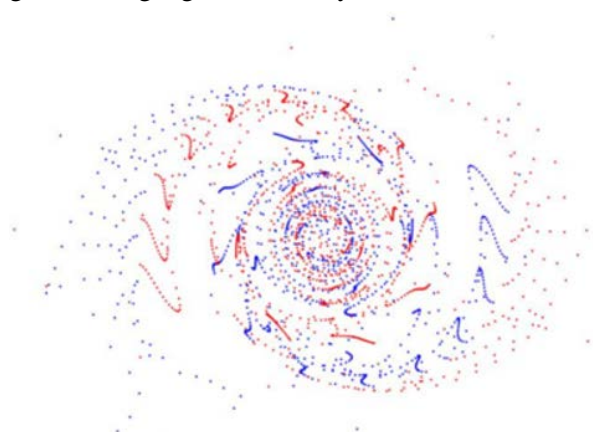
Figur 4. Simulation af en skiveformet massefordeling, hvor de inderste baner er blevet til de yderste baner.

Ringene om Galakser m.m.



Figur 5. Malmstrømsgalaksen.

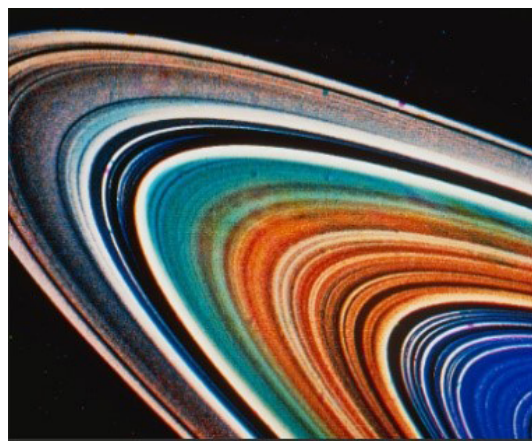
Antag, at der først er dannet en stor skive af stof, hvor hvert dellegeme kredser i deres egen cirkel om et centrum af galaksen. Hvis galaksen på passende vis er påvirket af andre nabogalakser, der fjerner sig, vil den resulterende centralkraft FG på hvert dellegeme blive mindre, og der vil kunne opstå tæthedsringe af stof om centrum. Måske kun en enkelt ring, der vil kunne opløse sig i flere ringe igen efter et stykke tid.



Figur 6. En simulation af en spiralgalakse, hvor to nabogalakser har trukket i en galakse med mange "tæthedsringe" om centrum. Simulationen er fra 2001.

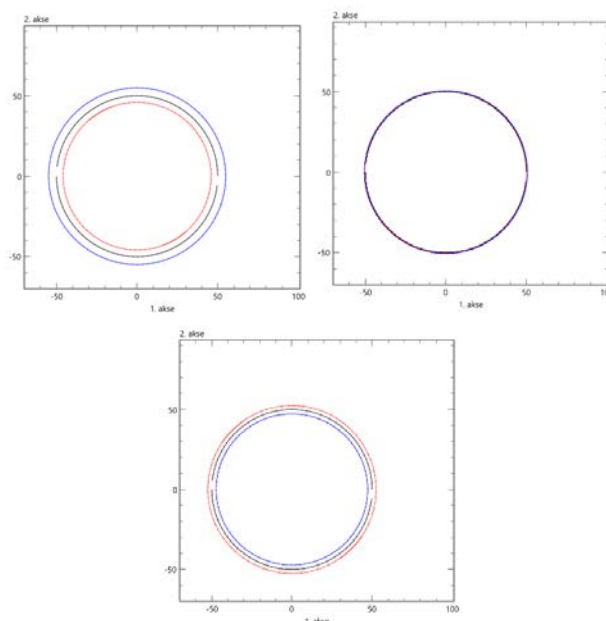
At universet udvider sig, har måske også en betydning for en galakses udseende. Bare en minimal ændring i centralkraften FG for et legeme vil betyde, at dellegemerne begynder at snirkle omkring galaksens centrum. Da dellegemerne snirkler rundt i hver deres snirkloide, kan påvirkningen fra nabogalakser let skabe spiralstrukturer, se figur 6.

Ringene om planeter

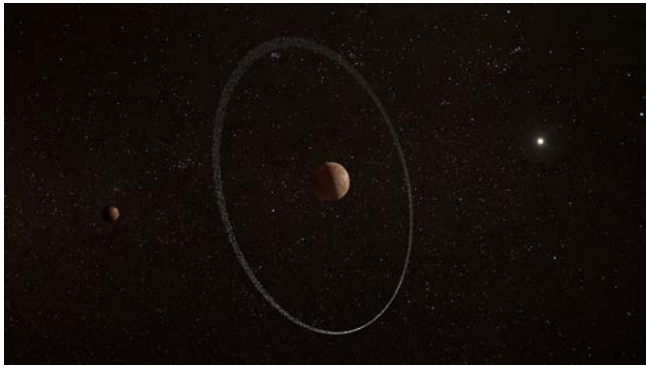


Figur 7. Ringene om Saturn fotografet fra Voyager 2.

Ringene om planeter opstår på en lidt anden måde. En drabant, der nærmer sig en planet, kan blive pulveriseret i planetens tyngdefelt. De enkelte dellegemer fra drabanten lægger sig derefter om planeten i en cirkelformet ring. Men de enkelte dellegemer bevæger sig på ligedannede ellipser, så det udefra ser ud som om, ringen kan bevæge væk fra og ind igen mod planeten. Da bevægelsen hverken er en cirkelbevægelse eller en bestemt ellipse, kaldes de her for ellipsecirkler.



Figur 8. Øverst til venstre: Start viser en indre rød ellipsecirkel og en ydre blå ellipsecirkel. Øverst til højre har den røde ellipsecirkel bevæget sig ud af og den ydre blå ellipsecirkel har bevæget sig indad for at mødes i den sorte cirkel. Nederst har de to ellipsecirkler "byttet" plads.



Figur 9. Sidste år annoncerede astronomer opdagelsen af en vidt adskilt ring omkring dværgplaneten Quaoar i Kuiperbæltet. Grafik: ESA.

Afrunding

Kendskab til dellegemers bevægelse under påvirkningen af en centralkraft har stor betydning for forståelsen af ringstrukturer mm i universet. Antagelser som at alle legemer bevæger sig rundt i cirkelformede baner i galakser, kan give forkerte estimater for hvor meget stof der er i galaksen. Da alle dellegemer i en galakse bevæger sig i deres egen snirkloide, vil galakserne også hele tiden ændre udseende, dog i super slowmotion.

Mekanismen med, at der dannes ringe, der snirkler om et centrum, så det ser ud som, at det er cirkelformede ringe, der bevæger sig væk og ind mod et centrum, er næppe hele forklaringen på ringdannelser i Universet. Der skal selvfølgelig også regnes relativistisk når det er store afstande/hastigheder i universet for The Big Ring. Men de enkelte galakser vil snirkle sig væk fra et centrum uafhængig af hvordan centralkraften FG bliver mindre.

Litteratur

[1] www.fysikogmatematik.wordpress.com



Klaus Nielsen er cand.scient. i fysik og matematik fra Københavns Universitet 1982. Han har undervist i matematik og fysik fra 1979 til 2020 på gymnasier og VUC'er. Fik i 2000 NKT's Uddannelsespris for at "forvandle Tivoli til et moderne laboratorium for matematik- og fysikundervisning". Er nu PHD – Pensionist Hele Dagen – med tid til at lave programmer, "opfinde" forsøg og skrive artikler til hjemmesiden.

Absolut hastighedsgrænse for kosmiske protoner – Når standardmodellen møder kosmologien

Bernhard Lind Schistad, Midtbyens Gymnasium, Mercantec

En konsekvens af den specielle relativitetsteori er, at ingen partikler kan overstige lyshastigheden, og at partikler med masse aldrig kan nå helt op på lyshastigheden. Men det viser sig, at for protoner gælder en lavere hastighedsgrænse, som skyldes vekselvirkning med den kosmiske baggrundsstråling. Denne hastighedsgrænse kan ovenikøbet observeres i den kosmiske stråling, der rammer jorden. Ophavet til fartgrænsen er den såkaldte Greisen–Zatsepin–Kuzmin-effekt. Vi vil her se på, hvad der forårsager denne effekt, og hvad konsekvenserne er for kosmisk stråling.

Hastighed i relativitetsteorien

Før vi ser på hvad der er specifikt for protonen, vil vi lige beskrive hastighed i den specielle relativitetsteori. I denne teori vil den totale energi for en partikel med hvilemasse m_0 være givet ved:

$$E = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2}, \quad (1)$$

hvor p er partiklens impuls og c er lyshastigheden. Sammenhængen mellem impuls og hastighed er:

$$p = \gamma m_0 v, \quad (2)$$

hvor v er hastigheden og

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3)$$

er Lorentzfaktoren.

Når vi sætter dette ind i udtrykket for energien og løser med hensyn på hastigheden, får vi:

$$v = c \sqrt{1 - \frac{m_0^2 c^4}{E^2}} \quad (4)$$

For en partikel i hvile giver dette $v = 0$, mens hastigheden går asymptotisk mod c , når energien går mod uendelig. Partiklen kan nå vilkårligt tæt på lyshastigheden, men kan aldrig nå helt derop.

Tilsvarende er hastigheden altid lig lyshastigheden, hvis hvilemassen er nul.

Den kosmiske mikrobølge baggrund

Hele universet er fyldt med mikrobølgestråling, som stammer fra Big Bang. Denne stråling blev udsendt, da universet blev gennemsigtig og temperaturen var faldet til 3000 K, ca. 380.000 år efter Big Bang. På grund af universets udvidelse er temperaturen nu faldet, så strålingen i dag svarer til sort hulrumsstråling fra et objekt med en temperatur på 2,72 K.

Det er karakteristisk for denne stråling, at den er isotrop i alle retninger. På grund af denne egenskab, fungerer den som et slags referencesystem. Hvis en observatør bevæger sig med stor hastighed i forhold til dette system, vil han observere, at bølgelængden

i bevægelsesretningen vil blive ændret på grund af relativistisk dopplerskift.

Relativistisk dopplerskift

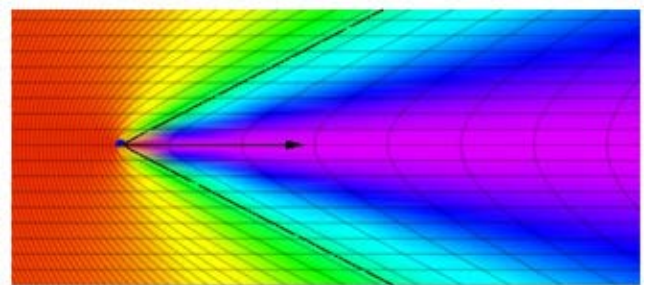
Når en observatør bevæger sig i forhold til en lyskilde med stor hastighed, vil han observere, at lysets bølgelængde i bevægelsesretningen bliver forkortet, mens bølgelængden forlænges i den modsatte retning. Dette kaldes dopplereffekten. Vi kan høre en tilsvarende effekt for lyden i et tog, når toget passerer en jernbaneovergang med akustisk signal.

For meget høje hastigheder gælder den relativistiske formel for dopplerskift af frekvensen:

$$f_r = \gamma (1 - \beta \cos \theta_s) f_s \quad (5)$$

Her er $\beta = \frac{v}{c}$, f_s er frekvensen af lyset i lyskildens referencesystem og θ_s er vinklen i forhold til bevægelsesretningen.

Effekten ved en hastighed på $0,86 c$ er vist på figur 1. Her ser vi, hvorledes farven på gult lys fra en stationær lyskilde ændres i forskellige retninger for en observatør, der bevæger sig med $0,89\%$ af lyshastigheden.



Figur 1. Relativistisk dopplerskifte for en observatør, der bevæger sig med $0,89\%$ af lyshastigheden.

Sort hulrumsstråling fra et objekt med en temperatur på 2,72 K har en gennemsnitlig bølgelængde på $\lambda_s = 1,9$ mm. Men på grund af dopplereffekten vil en proton, som bevæger sig med $99,998\%$ af lyshastigheden, opleve kosmisk mikrobølgestråling i bevægelsesretningen med en bølgelængde på $19 \mu\text{m}$. Dette svarer til en fotonenergi på $0,065 \text{ eV}/c^2$. Dette har ingen virkning på protonen, som har en masseenergi på $938 \text{ MeV}/c^2$.

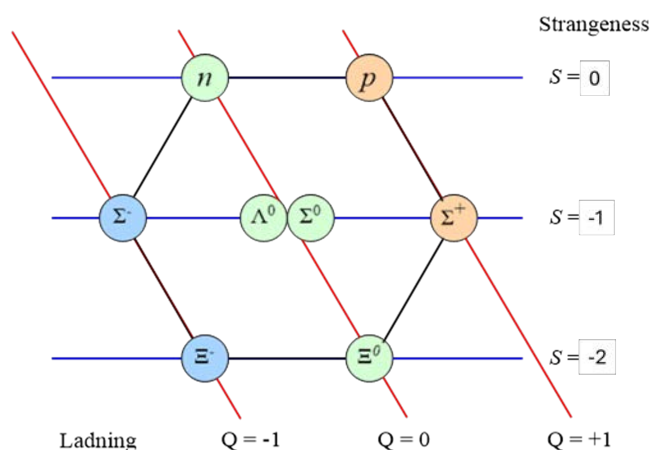
Hastighedsgrænsen for protonen

Vi vil nu undersøge hvad der sker med baggrundsstrålingen ved ekstremt høje hastigheder. Vi starter med protonerne i LHC, som er verdens største protonaccelerator. Her opnår protonerne en energi på $7 \text{ TeV}/c^2$. Dette giver en hastighed på 99,9999991% af lyshastigheden.

Protonerne i LHC bevæger sig i et metalrør, som danner et Faradaybur, men store dele af LHC selv er kølet ned til lave temperaturer på grund af de superledende magneter (som er kølet med flydende helium). Vi regner derfor for nemheds skyld med, at mikrobølgebaggrunden i LHC er den samme som i resten af universet.

Protonerne i LHC vil derfor se en mikrobølgebaggrund med en bølgelængde på 8,5 pm og en fotonenergi på $146 \text{ keV}/c^2$. Dette vil kun have en minimal virkning på protonerne, da deres energi er otte størrelsesordener højere.

Men kan vi forestille os, at fotonenergien kunne blive så høj, at der sker noget med protonen? For at svare på dette, vil vi se lidt på, hvad der eventuelt kunne ske med en proton. Protonen er en baryon med halvtalligt spinkvantetal ($s = \frac{1}{2}$). Den består af tre kvarker, to u -kvarker og en d -kvark. Men der findes flere andre baryoner med samme spin. Sammen med neutronen danner de en oktet (figur 2).



Figur 2. Baryonoktetten med halvtalligt spin.

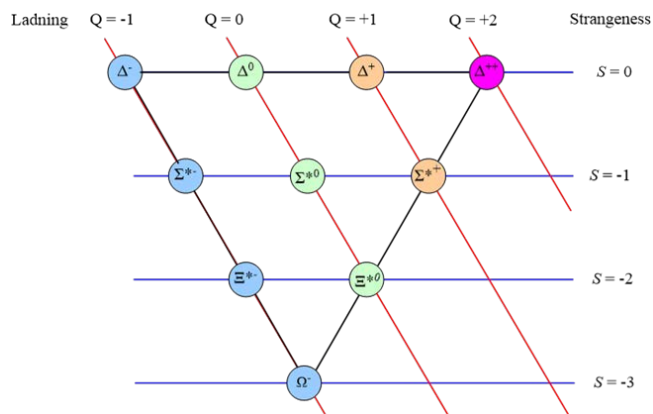
Alle baryonerne i oktetten består af tre kvarker. Men alle de andre indeholder en eller to s -kvarker og har derfor kvantetallet strangeness ($S \neq 0$). Der findes i øvrigt også baryoner med kvarkerne fra andre familier, men deres masse er for stor til, at de kan spille nogen rolle her.

Protonen har spin $S = \frac{1}{2}$, som er det samme som kvarkerne. Det vil sige, at to kvarker må have spin i samme retning, mens den tredje kvark har modsat rettet spin. På grund af Paulis eksklusionsprincip må to identiske partikler ikke have samme kvantetilstand. Det medfører, at de to u -kvarker i protonen altid har modsat rettede spin, men d -kvarken kan have spin op eller spin ned. Vi har derfor to mulige spintilstande for protonen, nemlig $(\uparrow\uparrow\downarrow)$ og $(\downarrow\uparrow\downarrow)$.

Når en proton rammes af en højenergetisk foton, vil den kunne ændre sin kvantetilstand, men den elektromagnetiske vekselvirkning kan ikke ændre en

kvark til en anden type. Den eneste mulige ændring vil være enten at flytte en kvark til et højere energiniveau eller ændre dens spintilstand.

Vi vil derfor se, om der findes en anden baryon med samme kvarksammensætning som protonen, men med et andet spinkvantetal. Det viser sig, at der også findes baryoner med spinkvantetal $S = \frac{3}{2}$. De danner en decet – en gruppe på ti medlemmer –, som er vist i figur 3.



Figur 3. Baryondecetten.

Alle baryonerne i denne decet er ustabile og henfalder til andre baryoner og mesoner. Da elektrisk ladning og strangeness er bevaret, er der kun en baryon i denne decet, som protonen kan forvandles til ved at absorbere en foton. Dette er Δ^+ (delta-plus)-baryonen, som også består af to u -kvarker og en d -kvark. Da Δ^+ -baryonen har $S = \frac{3}{2}$, må alle tre kvarker have samme spintilstand. Der er derfor to muligheder, nemlig $(\uparrow\uparrow\uparrow)$ og $(\downarrow\downarrow\downarrow)$. Men da de to u -kvarker ikke kan være i samme kvantetilstand, må den ene være i et højere energiniveau. Δ^+ har derfor en højere masse end protonen, nemlig $1232 \text{ MeV}/c^2$.

Deltabaryonen er ustabil og henfalder til en proton og en neutral pi-meson, eller en neutron og en positiv pi-meson:

$$\Delta^+ \rightarrow p + \pi^0 \quad (6)$$

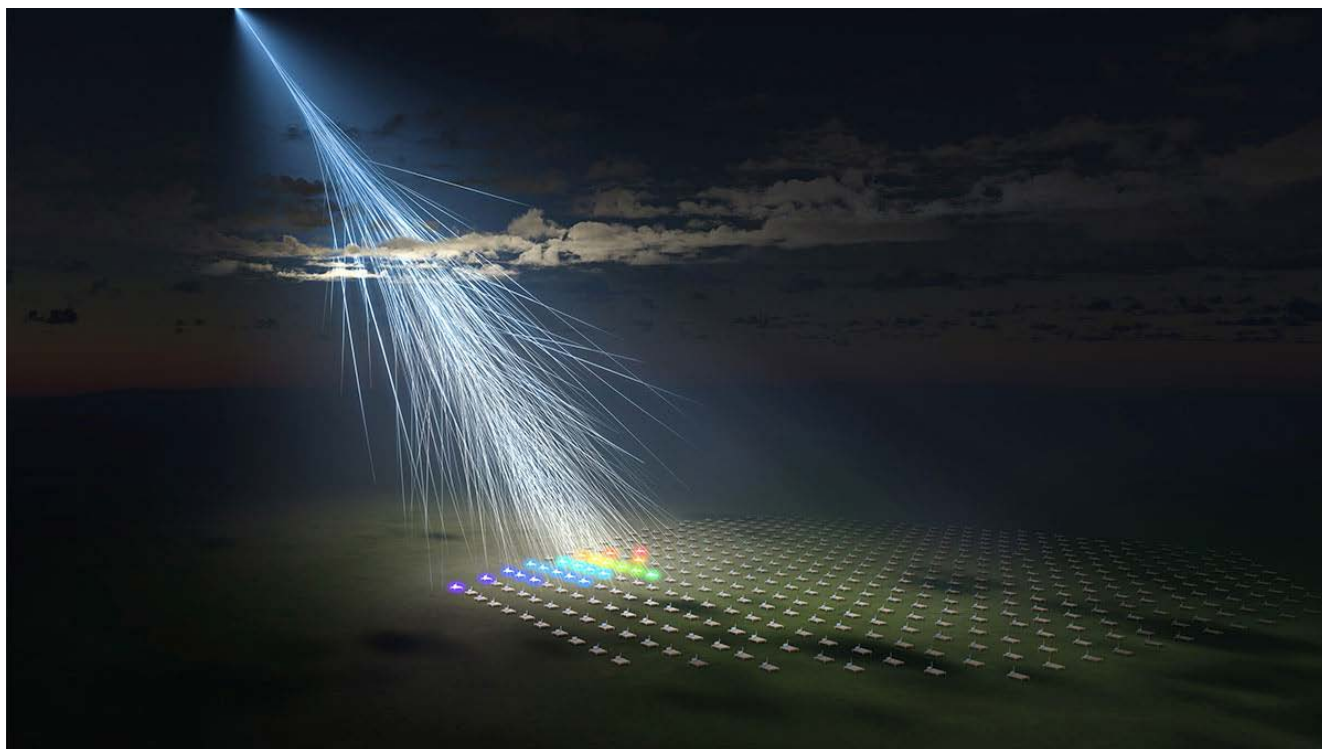
$$\Delta^+ \rightarrow n + \pi^+ \quad (7)$$

Dens gennemsnitlige levetid er $5 \cdot 10^{-24} \text{ s}$.

Da fotonen har spin $S = 1$ vil en proton, som absorberer en foton med energi lig med massedifferencen mellem protonen og deltabaryonen, få vendt spinnets på den ene u -kvark, så de alle har samme spinkvantetal, men den ene u -kvark vil i et kort øjeblik være i en højere energitilstand. Derefter vil deltabaryonen henfalde til en proton eller neutron med lavere energi end den oprindelige proton havde.

Denne effekt medfører, at en proton i praksis aldrig kan accelereres til højere hastighed end den hastighed, hvor mikrobølgebaggrundsstrålingen med dopplerskift når massedifferencen mellem protonen og deltabosonen. Denne grænse kaldes Greisen-Zatsepin-Kuzmin-grænsen.

Vi vil nu prøve at finde hvor denne grænse ligger. Massedifferencen mellem deltabosonen og protonen er $294 \text{ MeV}/c^2$. Dette svarer til en foton med bølgelængden $\lambda_r = 4,2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$ (4,2 fm er ca. fire protodiametre). For at en foton fra den kosmiske mikrobølge



Figur 5. Byge af sekundærpartikler fra højenergetisk proton.

Denne partikelstråling består hovedsagelig af protoner (80%), men også alfapartikler (16%) og en substantiel andel af tungere kerner. Forholdet mellem de forskellige partikeltyper viser sig at svare til det, vi ser i Solen og andre stjerner. Dette antyder, at ophavet til strålingen må være kollaps af stjerner ved for eksempel en supernova. Desværre er det umuligt at retningsbestemme strålingen, da vores galakse her et magnetfelt af størrelsesorden 10^{-11} T, som vil afbøje elektrisk ladede partikler selv ved disse høje energier, da krumningsradius for en proton med energi 10^5 GeV/c² vil være ca. 10 lysår.

Når vi sammenligner fluksen af de højenergetiske protoner med hyppigheden af supernovaeksplosioner (ca. 1 hver 50 år i en galakse som vores), ser det ud til, at hovedparten af disse partikler kommer fra supernovaer [5].

Ved energier over 10^{17} eV/c² er fluksen af protoner så lav, at vi ikke kan detektere dem med en partikeldetektor. Men vi kan observere den kaskade af sekundærpartikler, som skabes, når protonen rammer atomkerner (nitrogen eller oxygen) i atmosfæren.

Dette vil give ophav til en kaskade med op til 10 milliarder sekundærpartikler over en afstand på nogle kilometer (figur 5). Denne byge vil bevæge sig som en pandekage af elektrisk ladede partikler, nogle hundrede meter bred og få meter dyb.

Når denne byge bevæger sig gennem atmosfæren, vil den eksitere luftmolekylerne. Når de falder tilbage til grundtilstanden, vil de udsende lys med bølgelængde i området 300–400 nm. Lyset udsendes næsten udelukkende fra nitrogenatomer. Hver elektrisk ladet partikel vil give ophav til 4–5 fotoner per meter. Dette giver en stor mængde lys, som kan detekteres ved jordoverfladen.

For at observere dette lys, anvender man store

sfæriske spejle, som fokuserer lyset på et “insekt øje” bestående af fotomultiplikatorrør, som er følsomme for ultraviolet lys. Når et rør rammes af en foton, vil det give ophav til en elektrisk puls. Ved at summere signalerne fra alle detektorer, kan man måle antal fotoner og dermed den totale energi i partikkelkaskaden [3].

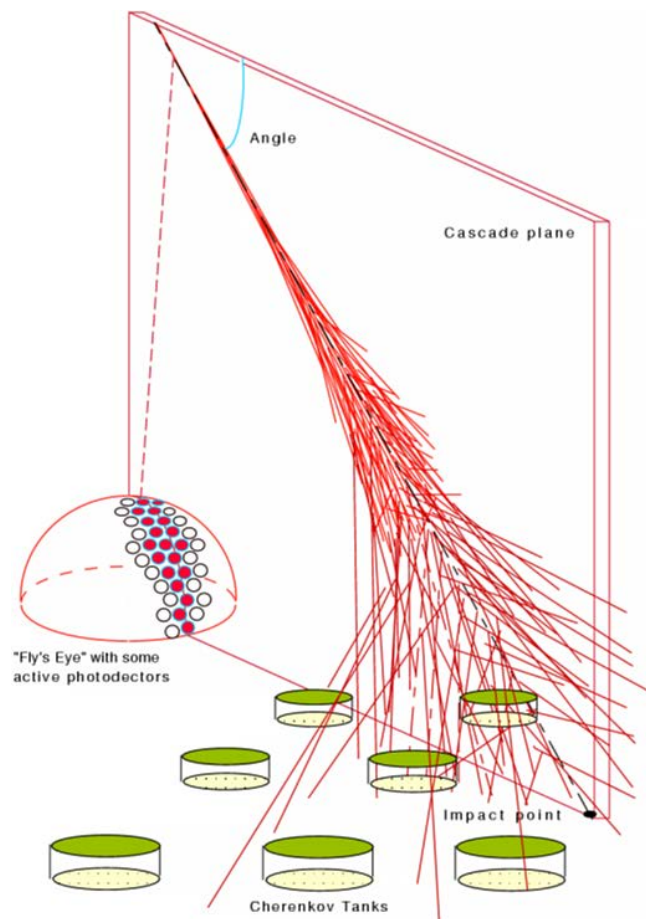


Figur 6. Fly's Eye-deketoren i Utah.

High Resolution Fly's Eye-dektoren [6] er bygget til at observere lyset fra sådanne byger af sekundærpartikler. Det ligger i ørkenen i Utah og optog data i perioden 1997 til 2006. Detektoren består af et stort antal sfæriske spejle, som fokuserer lyset på et kamera, som består af 256 pixler med fotomultiplikatorrør (figur 6). Disse rør kan detektere en enkelt foton med bølgelængde i området 300–400 nm. Signalerne fra samtlige kameraer summeres, og dette signal er proportionalt med energien af den indkommende proton.

En anden detektor for højenergetiske protoner er Pierre Auger-observatoriet, som ligger på Amarilla-

pampassen i Argentina. Den består af to detektorsystemer. Lys fra partikelkaskaden opfanges med spejle og fotomultiplikatorer, men i tillæg detekteres elektrisk ladede partikler i kaskaden direkte i store vandtanke (figur 7). Når elektrisk ladede partikler rammer vandet, udløser de Cherenkovlys, som detekteres med fotomultiplikatorer. Signalerne fra begge detektor typer kombineres, og man kan måle energien i partikelkaskaden.



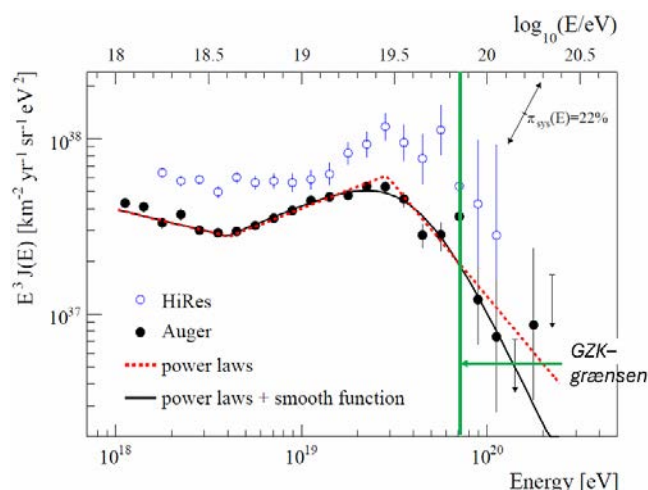
Figur 7. Pierre Auger-deketoren.

Resultaterne fra de to detektorer [8] er vist i figur 8. Her har vi logaritmen til energien (i elektronvolt) på x-aksen og energifluxen på y-aksen. De sorte målepunkter kommer fra Augerdetektoren, mens de blå kommer fra Fly's Eyedetektoren. Greisen-Zatsepin-Kuzmin-grænsen er markeret med grønt. Som vi ser, knækker energispektret ved denne grænse, og når vi tager højde for måleusikkerheden, er der ingen protoner med energi højere end $4,7 \cdot 10^{19} \text{ eV}/c^2$

Konklusion

Når protoner når hastigheder, der giver en gammafaktor $\gamma = 5,01 \cdot 10^{10}$, vil den kosmiske mikrobølgebaggrund, på grund af relativistisk dopplerskifte, have en energi (set fra protonens referencesystem), som er høj nok til at flippe spin på en af u -kvarkerne, og dermed forvandle protonen til en deltabaryon. Denne er ustabil og vil straks henfalde til en proton eller neutron og en pi-meson. Dermed vil protonen tabe den energi, der blev tilført ved acceleration over hastighedsgrænsen. Dette betyder,

at det ikke er lyshastigheden, men derimod Greisen-Zatsepin-Kuzmin-(GZK)-grænsen, som er den yderste hastighedsgrænse for protoner. Dette kan observeres i energispektret for kosmiske protoner.



Figur 8. Energispektrum af kosmiske protoner.

Litteratur

- [1] K. Greisen (1966) "End to the cosmic-ray spectrum?", *Physical Review Letters*, bind **16**, side 748–750.
- [2] G.T. Zatsepin og V.A. Kuz'min(1966) "Upper limit of the spectrum of cosmic rays", *Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters*, bind **4**, side 78–80.
- [3] R.U. Abbasi m.fl. (High Resolution Fly's Eye Collaboration) (2008) "First Observation of the GreisenZatsepin-Kuzmin Suppression", *Physical Review Letters*, bind **100**, side 101101.
- [4] P. Blasi (2013) "The Origin of Galactic Cosmic Rays", *Nuclear Physics B – Proceedings Supplements Volumes*, bind **239-240**, side 140–147.
- [5] T.W. Donnelly m.fl. (2017) "Foundations of Nuclear and Particle Physics", side 575, Cambridge University Press.
- [6] J. N. Matthews (2001) "Description of the High Resolution Fly's Eye Detector", *Proceedings of ICRC*, side 350.
- [7] A.A. Watson, "The Pierre Auger Observatory - why and how", CERN Document Server, cds.cern.ch/record/1017825/files/p191.pdf.
- [8] D. Veberic (2011) "The end of the cosmic ray spectrum", *Il Nuovo Cimento*, bind **C 34**, side 85–92.



Bernhard Lind Schistad er cand.real. fra Universitetet i Oslo. Han har været forsker i partikelfysik ved Niels Bohr Institutet og CERN og senere arbejdet med udvikling af grafiske systemer og radar. Han underviser i fysik og matematik på Midtbyens Gymnasium, Mercantec, i Viborg.

Transportbånd – breddeopgave 111 med didaktisk kommentar

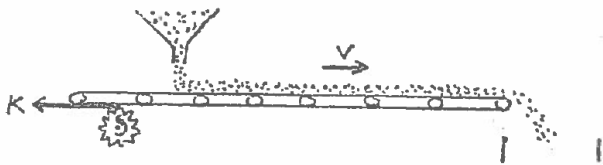
Af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, INM, RUC.

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. 111 her i Kvant):

Breddeopgave 111. Transportbånd

Et transportbånd fungerer som vist på figuren.



Hvor stor en kraft skal båndet påvirkes med af motoren? Begrund svaret.

Løsning – (pedantisk løsning med nødvendig systemafgrænsning)

Vi vil anvende Newtons II lov på det afgrænsede system, som består af den mængde materiale, der på et tidspunkt befinder sig mellem c og e på figur 1, og en tilstødende del af transportbåndet. Tidsrummet dt senere befinder materialemængden sig mellem d og f på figuren. Systemet materiale plus stykket af transportbåndet er i vandret retning påvirket imod højre af spændingen i transportbåndet, S_h , i systemets højre kant, minus spændingen i transportbåndet, S_v , i systemets venstre kant, $S_h - S_v$. Da den samlede kraft i vandret retning på stykket af transportbåndet ved tandhjulet mellem a og b er nul, er $S_h - S_v = K$. Den resulterende ydre kraft i vandret retning på vores afgrænsede system i figur 1 har

altså samme størrelse som K , den kraft, båndet påvirkes med af motoren.

Systemet kan hele tiden opdeles i tre delsystemer. Stykket af transportbåndet i vandret bevægelse med hastigheden v med den konstante masse m_t . Et delsystem af materialet med massen $m_l(t)$ i lodret fald. Og et delsystem af materialet med massen $m_v(t)$ i vandret bevægelse med hastigheden v . Da systemet hele tiden består af de samme materielle dele, er dets samlede masse, $m = m_t + m_l(t) + m_v(t)$, konstant. Per definition er tyngdepunkthastigheden af det samlede system i vandret retning $v_{CM} = (m_t \cdot v + m_l(t) \cdot 0 + m_v(t) \cdot v) / m$. Ifølge tyngdepunktssætningen anvendt på det samlede system er kraften K , som båndet skal påvirkes med af motoren, derfor:

$$K = m \frac{dv_{CM}}{dt} = v \frac{dm_v}{dt}. \quad (1)$$

Kommentar

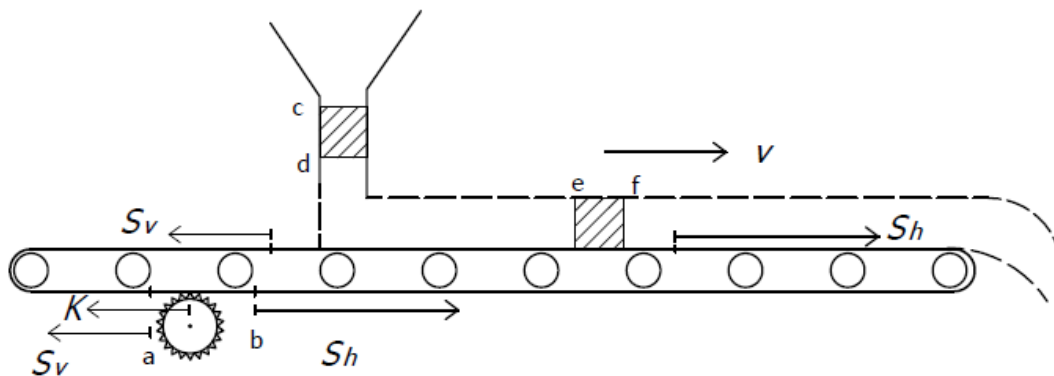
Jeg har brugt opgaven i undervisningen til at illustrere, at det er nødvendigt at definere sit system af partikler, når man anvender Newtons II lov på andet end en enkelt partikel.

Uden at have gjort det kan man forledes til at opskrive loven som:

$$K = \frac{d(mv)}{dt}, \quad (2)$$

tolke m som massen på transportbåndet, og, da v er konstant, nå frem til:

$$K = v \frac{dm}{dt}. \quad (3)$$



Figur 1. Systemafgrænsning.

Så har jeg i min undervisning sagt, at resultatet er rigtigt, men begrundelsen forkert. Newtons II lov for et system af partikler fremkommer ved addition af loven for de enkelte partikler og Newtons III lov for den indbyrdes vekselvirkning mellem partiklerne. Ved additionen ophæver de indre kræfter parvis hinanden på grund af Newtons III lov. Resultatet af additionen er derfor, at summen af de ydre kræfter på systemet er lig med ændringen per tidsenhed af summen af de enkelte partiklers masser gange deres hastigheder. Når ligning (2) umiddelbart tolkes som en udgave af Newtons II lov med m som den varierende masse på transportbåndet, er systemafgrænsningen i modstrid med den generelle udledning af loven for et system af partikler. Ved den generelle udledning er massen af systemet forudsat konstant.

I stedet for opgavens spørgsmål om, hvor stor en kraft båndet skal påvirkes af, kunne der være spurgt efter, hvor stor en effekt, P , motoren skal levere. I forlængelse af ligning (1) er svaret:

$$P = Kv = v^2 \frac{dm_v}{dt}. \quad (4)$$

Halvdelen af effekten omsættes til øget kinetisk energi, E_{kin} , på transportbåndet, idet:

$$\frac{dE_{\text{kin}}}{dt} = \frac{d(m_v v^2/2)}{dt} = \frac{v^2}{2} \frac{dm_v}{dt}. \quad (5)$$

Hvad blev der af den anden halvdel? Den går til varmeudvikling på grund af de stød, der accelererer massedelens vandrette hastighed fra nul til v , når de rammer båndet. Herudover udvikles der varme ved opbremsningen af massedelens lodrette fald, men den leveres af tyngdefeltet og ikke af motoren.

Efter min vurdering illustrerer behandlingen af transportbåndsproblemerne på en god måde, hvordan en ikke opskriftbunden forståelse af klassisk mekanik rækker ud over den klassiske mekanik som basis for anden fysikforståelse. Selvvalgt systemafgrænsning er en generelt

anvendelig erfaring i det meste fysik. Det gælder også erfaring med vektorkarakteren af impulsbevarelse og Newtons II lov for ændringer af impuls. Og det gælder erfaring med brud på mekanisk energibevarelse eller arbejde-mekanisk energi-sætningen.

Breddeopgave 112 og 113. Overfladespænding

Inden næste nummer af Kvant udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningerne til disse to opgaver fra breddekurset på RUC (fra eksamen januar 2012 og februar 2017, nr. 112 og 113 i rækken her i Kvant):



Figur 2. Appelsiner og citroner. Foto: Wikimedia Commons.

112. En vanddråbe svinger mellem at være appelsinformet og citronformet (figur 2). Hvordan afhænger svingningstiden af dråbens størrelse? Begrund svaret.

113. Ved elektrostatisk maling sprøjtes små dråber maling påført elektriske ladninger mod det jordede metalelement, der skal males. For megen påført ladning på en dråbe fører til, at den eksploderer. Hvordan afhænger den maksimale ladning, en dråbe kan eksistere med uden at eksplodere, af dråbens størrelse? Begrund svaret.

Løsninger og kommentar bringes i næste nummer af Kvant.

Er det skuddag den 24. eller 29. februar?

Af Leif Kahl Kristensen

Forskellige medier angiver enten den 24. eller 29. februar som skuddag i skudår. Vi skal se, at det skyldes en sammenblanding af tre forskellige kalendere. Forskellen har betydning for ugedagene beregnet af Søndagsbogstaverne.

Skuddagen

I republikkens tid søgte Roms kalender at holde trit både med Månens faser og årstiden ved hvert andet år at indskyde 22–23 skuddage. På 8 Solår indskydes således 3 måneder, som kombineres med 8 Måneår på 354 (= $12 \times 29,5$) dage. Systemet blev administreret af ypperste-

præsten ("Pontifex maximus"), men misligholdt. Fra sin tid i Ægypten vidste Julius Cæsar, at Solåret er på 365 plus $\frac{1}{4}$ dag. Han fordelte skuddagene på månederne, så de fik den længde, vi bruger i dag, og indførte sin skuddag hvert fjerde år i februar. Han beholdt dog den komplicerede måde at datere på ved at angive antal dage

til næste ny- eller fuldmåne. Dette er Roms kalender.

Kirken (Vatikanet) overtog Roms kalender i mid-delalderen, men benævnte efterhånden dagene efter helgener, martyrer eller velgørere. Dette er den liturgiske kalender.

De to kalendere blev brugt jævnsides. I et normalår på 365 dage blev “septimo ante Calendas Martias” således til “Papias”. “Sexto ante Calendas Martias” blev til “Matthias” og “pridie Calendas Marts” til “Øllegaard”.

Omkring renæssancen blev dagen angivet ved dens nummer i måneden. Det kendes som den julianske kalender. I Almanakken ses, at der til den 23. februar var knyttet: “Papias”, til den 24. “Matthias” og til den 28. “Øllegaard”. Personerne mindedes i kirken på deres dato, og herved opstod en ny kalender – den liturgiske. Intet navn blev knyttet til skuddagen, som hed “bis sexto ante Calendas Martias”, fordi en martyr født denne dag kun ville blive mindet hver fjerde år. Fødselsdagen blev derfor ændret til dagen efter. Roms kalender benyttes stadig, når paven udtaler sig “ex Cathedra” og udsteder buller. De sidste 7 dage i februar i skudår er således: Papias, Skuddag, Matthias og så fremdeles til Øllegaard.



Figur 1. Juli måned fra 1701-almanakken.

Almanakken betegner disse dage fortløbende fra 23. februar til den 29., så Matthias bliver den 25. februar. Det er en fejl. Der burde stå: 23. februar Skuddag, 24. februar – 28. februar (pridie = dagen før 1. marts). I normalåret findes den 29. slet ikke, men her er den 24. taget ud. Folk, der ikke kunne latin, lærte den romerske kalender at kende i den liturgiske variant, hvor skuddagen ikke har noget navn. I den julianske kalender, hvor dagen angives fortløbende ved nummer i måneden, bliver den 29. februar automatisk skuddag.

I S.E. Urban og P.K. Seidelman [1] angives side 597, linje 12 til 16, at fra det 11. århundrede blev almanakkerne ændret, så “leap day become February 29, instead of the day after February 23”. På side 598, linje 3 angives den 29. februar eksplicit. Tydeligere kan det ikke siges af verdens førende eksperter indenfor astronomi og kronologi.

Søndagsbogstaverne

Når der indsættes en skuddag, og den 24. februar reelt fjernes, men den 29. februar indsættes, har det indflydelse på ugedagene. I normalåret sættes bogstaverne fra A til G ind i cyklisk rækkefølge. Bogstavet ved søndagene i et givet år benævnes Søndagsbogstavet. I skudår er der to Søndagsbogstaver, det første bruges før skuddagen – det andet resten af året. Det findes ved en divisionsrest af årstallet. I 2024 er de GF. G giver søndage den 7. januar, 18. februar, 25. februar og F den 17. februar, 24. februar og 3. marts.

F. 16	Juliane								
L. 17	Findanus								
S. 18	1. s. i fasten	Quadragesima Invocavit Concordia					31	24	-11 43
Hvem er den største? Luk 22,24-32									
Uge 8									
M. 19	Ammon						7	28	12 24 -11 22 1
Ti. 20	Eucharis							26	23 -11 1
O. 21	Tamperdag	Samuel Tusmørket varer 40 ^m						24	23 -10 39
To. 22	Peters stol							21	23 -10 17
F. 23	Papias							19	23 - 9 55
L. 24	Skuddag	O f. m. 13 ^h 30 ^m Reminiscere Matthias C fjernest Jorden Regulus kulm. midn.						16	23 - 9 33
S. 25	2. s. i fasten							14	23 - 9 11
Drengen med den urene ånd. Mark 9,14-29									
Uge 9									
M. 26	Victorinus							7	12 23 - 8 45
Ti. 27	Inger							9	22 - 8 24
O. 28	Leander	Tusmørket varer 39 ^m						7	22 - 8
To. 29	Øllegaard							4	22 - 7 4

Figur 2. Uddrag af februar måned fra 2024-almanakken.

Bruger vi skuddagen den 29. februar, giver G søndag den 25. februar og F den 3. marts – i overensstemmelse med Almanakken.

Bruger vi derimod 24. februar giver G søndag den 18. februar og F den 24. februar. I ugen 18. til og med 24. februar er der således 2 (skriver to) søndage. I 2016 skulle der være 2 torsdage i ugen, som i talemåder udtrykker det umulige.

I Almanakken er der elementer fra Roms, den julianske og den liturgiske kalender samtidigt. Det er en logisk fejl, som ikke kan bortforklares og ikke i 50 år har været mulig at få rettet.

Litteratur

[1] S.E. Urban og P.K. Seidelman (2012) Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac, 3. udgave, University Science Books

Leif Kahl Kristensen er mag.scient. og lektor emeritus fra Aarhus Universitet. Han var den første kandidat i 1961 fra Det fysiske Institut på Aarhus Universitet og har gennem mange år forsøgt at finde relativistiske effekter i asteroiders bevægelse. De foreliggende observationer af asteroiden 51 Nemausa tillod kun en nøjagtig bestemmelse af Vædderpunktet, som bidrog til fiksstjerne-kataloget FK5. Han har også arbejdet med at forbedre baner, som var så usikre, at asteroiderne ikke kunne genfindes.

Nyt fra foreningerne

Nyt fra DFS

Maren Malling



Generalforsamling med foredrag og fredagsbar

Dansk Fysisk Selskabs generalforsamling for 2024 afholdes fredag den. 4. oktober 2024 kl. 13:30 i Margrethe Bohr Auditoriet, Niels Bohr Bygningen, Jagtvej 155 A, 2200 København N.

Inden selve generalforsamlingen byder vi på to spændende foredrag! Kom og hør om den nyeste forskning indenfor henholdsvis klimafysik og eksperimentel partikelfysik (anti-brint forskning) med disse to fremragende forskere:

- Christine Hvidberg, Professor, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet
- Jeffrey Hangst, Professor, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

Foredragene bliver afholdt på engelsk, og alle er velkomne til at deltage. Efter generalforsamlingen afholdes fredagsbar med favorable priser og mulighed for at melde sig ind i DFS.

Det vil være muligt at deltage virtuelt, så medlemmer fra hele landet kan være med. Medlemmer vil få tilsendt et zoom-link i god tid inden generalforsamlingen.

DFS Årsmøde 2025

Næste årsmøde i DFS afholdes den 14.-15. maj 2025 i Hovedstadsområdet. Nærmere info om sted, foredragsholdere og sessioner følger. Medlemmer vil få direkte besked via nyhedsbrev, og man kan desuden holde sig orienteret på selskabets hjemmeside.

Opkrævning af medlemskontingent for 2024

Opkrævning af kontingent for 2024 vil ske digitalt via e-mail. Medlemmer opfordres til at sørge for, at deres profil på foreningsadministration.dk er opdateret med en gyldig e-mailadresse, da al information fra selskabet udsendes digitalt.

Konference om kvinders rolle i Niels Bohr Institutets historie

Kvinder i Fysik afholder i samarbejde med Niels Bohr Arkivet en 2-dages konference med titlen "The Women of NBI – Then and Now". Konferencen afholdes den 12.-13. november i Aud. A på Niels

Bohr Institutet, Blegdamsvej 17, 2100 København Ø. Alle er velkomne, og det er gratis at deltage, men tilmelding er nødvendig. Program og tilmelding findes på kvinderifysik.dk/2024/06/04/women-of-nbi/.

Konferencen byder på en perlerække af foredragsholdere, som enten vil fortælle om historiske kvinder fra Niels Bohr Institutets tidligste dage eller præsentere deres egen forskning og karrierevej. Der vil desuden blive afholdt en paneldiskussion. De bekræftede foredragsholdere er:

- Anthea Coster, MIT Haystack Observatory
- Liselotte Højgaard, Rigshospitalet, Københavns Universitet og DTU
- Christian Joas, Niels Bohr Arkivet
- Namiko Mitarai, Niels Bohr Institutet
- Lene Oddershede, Novo Nordisk Fonden
- Bente Rosenbeck, Institut for Nordiske Studier og Sprogvidenskab
- Anja Skaar Jacobsen, KVUC og Institut for Naturvidenskabernes Didaktik
- Rob Sunderland, Niels Bohr Arkivet
- Irene Tamborra, Niels Bohr Institutet
- Elisabeth Ulrikkeholm, FOSS

Offentligt foredrag om Lise Meitner

Tirsdag den 12. november kl. 17:30-19:00 afholdes et offentligt foredrag om Lise Meitners liv og opdagelsen af fusion med Anthea Coster fra MIT Haystack Observatory. Det foregår i Lundbeckfond Auditoriet på Københavns Biocenter, Ole Maaløes Vej 5, 2200 København N. Alle er velkomne! Foredraget kræver ikke tilmelding.

Følg DFS' og KIFs aktiviteter

Følg selskabets aktiviteter her:

danskfysiskselskab.dk

www.linkedin.com/company/dansk-fysisk-selskab

kvinderifysik.dk

linkedin.com/company/dansk-fysisk-selskab

Nyt fra SNU

Cecilie Pedersen

Fra forsker til folk

Gennem 200 år har Selskabet for Naturlærens Udbredelse (SNU) dannet ramme om formidling af naturvidenskab og teknologi til brede kredse af den danske befolkning.

"Fra forsker til folk" markerer SNU's 200-årsjubileum og viser, hvordan videnskabelig forskning har ført til ændringer i vores hverdag – fra H.C. Ørstedes

opdagelse af elektromagnetisme, der gav os elektricitet overalt i samfundet og i dag muliggør effektive vindmøller og elbiler, til Niels Bohrs atommodel, der har ført til nye diagnosemetoder i lægeverdenen, atomkraft og den moderne elektronik, vi omgiver os med.

Udstillingen præsenterer naturvidenskabelig formidling med udgangspunkt i udvalgte videnskabspersoner og deres forskning, der samtidig har spillet en stor rolle for SNU's egen historie: H.C. Ørsted, Martin Knudsen, S.P.L. Sørensen, Niels Bohr og Kirstine Meyer.

Selskabet for Naturlærens Udbredelse blev stiftet af H.C. Ørsted i 1824 med ambitionen om at give alle mulighed for at høre om de nyeste landvindinger inden for fysik og kemi. Flere store forskere og formidlere har stået i spidsen for SNU gennem tiden, heriblandt H.C. Ørsted selv, havforskeren Martin Knudsen, fysikeren Niels Bohr og astrofysikeren Anja C. Andersen, der i dag er selskabets præsident.



Rundetaarn er et oplagt sted til en udstilling om Danmarks fremmeste videnskabsfolk. Tårnet var i århundreder et centrum i dansk videnskabshistorie i kraft af Københavns Universitets observatorium på toppen, som Ole Rømer har været en af lederne af. Herfra udgik den astronomiske forskning ligesom astronomiens mere praktiske sidegrene, meteorologien og landmålingen. Bibliotekssalen, hvor udstillingen vises, rummede tidligere Universitetsbiblioteket, hvor generationer af forskere har fordybet sig i bøgerne og nået nye indsigter.

Book et klassebesøg i udstillingen

I forbindelse med udstillingen er det muligt for skole- og gymnasieklasser at booke et særligt forløb i "Fra forsker til folk" – en oplagt udflugt for naturfagene! Klasserne opdeles i hold og får en rundvisning, deltager i små fysikforsøg og arbejder med selvstændige opgaver, hvor de udforsker udstillingen.

Forløbene henvender sig primært til naturfagene i grundskolen samt 1.–3.g i gymnasiet og andre ungdomsuddannelser, og er udviklet til at dække dele af det almindelige pensum. Skoleklasser kan tilmelde sig besøg mandag til torsdag fra uge 34 til 41. Udstillingen og klassebesøget er gratis, når entré til Rundetaarn er betalt.

SNU tilbyder 9 forskellige temaer til de tilmeldte klasser:

- Børsteormen (Natur/teknologi fra 3.-6. klasse)

Eleverne bygger en lille robot, en 'børsteorm', som de kan tage med hjem

- Den elektriske strøms virkninger (Natur/teknologi fra 3. klasse og fysik 7.–9. klasse) Gennem en lille række undersøgelser opleves den elektriske strøms tre virkninger
- Skramloteket (Natur/teknologi og naturfag i grundskolen) Lær at lodde i Skramlotekets værksted, når vi skal lodde en kobberskulptur, der kan lyse.
- Hvad er NBI? (Naturfag og teknologiforståelse i både grundskole og ungdomsuddannelser) Byg f.eks. din egen mobiloplader med solceller og hør, hvad der foregår på NBI – Niels Bohr Institutet i København.
- CERN 70 år (Naturfag på ungdomsuddannelser og grundskolens ældste klasser) Introduktion om, hvad der foregår på CERN og nogle aktiviteter, der illustrerer det.
- Robotterne kommer (Teknologiforståelse i praksis i både grundskole og ungdomsuddannelser) Arbejd med simple, små robotter og programmering.
- Linjespektre – model og forsøg (Fysik i gymnasiet) Introduktion til Bohrs atommodel og forsøget laserens bølgelængde.
- pH – en dansk opfindelse (Kemi i gymnasiet) Introduktion til pH-skalaen.
- Spejlvendte dage (Alle målgrupper) Dyk ned i kemien bag livets drejning.

Man kan læse mere om udstillingen og booke klassebesøg på snu.dk.

Udstillingen kører 17. august – 20. oktober, hvorefter den pakkes ned og sendes til Odense Universitetsbibliotek. Udstillingen vil blive sat op hurtigst muligt, men åbningsdatoen er endnu ikke fastsat.

Generalforsamling i Selskabet for Naturlærens Udbredelse den 8. april 2024

Generalforsamlingen startede med præsidentens beretning for 2023.

Foråret havde budt på hele 6 foredrag, 3 indenfor astrofysik og rumforskning, begyndende med Thomas Greves foredrag om James Webb-teleskopets jagt på de første stjerner, galakser og supertunge sorte huller, senere Roman Golds foredrag om Mælkevejens sorte hul og i maj Lars Buchaves foredrag om exoplaneter og jagten på liv i universet. Indimellem fortalte Ole G. Mouritsen om videnskaben bag smagen som drivkraft i den grønne omstilling, Frede Blaabjerg om vedvarende energi og afslutningsvis havde Danmarks nyeste Nobelprismodtager Morten Meldal talt om klikkemi. Ved foredraget 8. maj om exoplaneter fik lærer Per Saxtorph Jørgensen fra Skramloteket overrakt H.C. Ørsted-medaljen til en inspirerende grundskolelærer.

Efteråret bød på 5 foredrag, hvoraf to var ledsaget af prisuddelinger. Sæsonen begyndte med et foredrag af Peter Vesborg om Power-to-X, og nr. 2 foredrag af Jacob Østergaard handlede om energigør. I oktober holdt

Merete Bilde et foredrag om aerosoler i Jordens atmosfære i forbindelse med et Kirstine Meyer-arrangement, hvor der også blev uddelt et Kirstine Meyer Legat til Kasper Elm Heintz fra Niels Bohr Institutet, der talte om galakser i det tidlige univers. I november holdt Ben Boyd et foredrag på engelsk med titlen "Milk is Nature's nutrient delivery system – why do we not make more of it in medicines?", og sæsonen blev afsluttet med et foredrag af David Arge Klevang Pedersen om jagten på biosignaturer på Mars. Ved dette sidste foredrag blev H.C. Ørsted-medaljen til en inspirerende gymnasielærer uddelt til lektor Nicolai Bogø Stabell fra H.C. Ørsted Gymnasiet. Medaljen gik således for første gang til en lærer på et teknisk gymnasium.

H.C. Ørsted Akademiet holdt møde både i foråret og efteråret, desværre måtte præsidenten melde afbud til efterårsmødet, men direktionen var repræsenteret af 2 medlemmer, Dorte Olesen og Ole Mørk Lauridsen.

Præsidentens beretning blev godkendt.

Herefter var der gennemgang af det udsendte regnskab for 2023. Regnskabet udviste før finansielle indtægter et overskud på 23.872,80 kr. mod et budgetteret underskud på 98.577 kr. Afvigelsen skyldtes primært forudbetaling af flere fondsmidler end oprindeligt budgetteret. Fondsbevillingerne vil først blive fuldt udnyttet i 2024. Regnskabet blev godkendt.

Budgettet for 2024 blev forelagt. Driftsbudgettet for SNU udviser et underskud på 864.214,94 kr. ud af en samlet omsætning på 4.207.966,00 kr.

Dette underskud skal både ses i lys af de foregående års overskud, der blandt andet har været begrundet i tidlige udbetalinger af fondsmidler, som nu skal bringes i anvendelse, og et underskud på grund af, at visse fonde først udbetaler, efter udgifterne er afholdt. SNU's 200-årsjubilæum i 2024 vil blive fejret både med udgivelse af en fondsfinansieret jubilæumsbog og afholdelse af en stor jubilæumsudstilling i Rundetaarn, hvortil er knyttet klassebesøg og produktion af læringsmidler, samt uddeling af 2 guldmedaljer, 2 sølvmedaljer og 2 bronzemedaljer samt et Kirstine Meyer Mindelegat, plus endelig et egentligt jubilæumsarrangement sammen med UNF.

SNU's omsætning i 2024 er derfor helt ekstraordinært stor, og der vil både blive brugt fondsmidler, som er forudbetalt i tidligere år, og fondsmidler, der først udbetales i 2025, når der kan aflægges endeligt regnskab for aktiviteterne. SNU's formue indgår derfor i en overgangsperiode i finansieringen af jubilæumsaktiviteterne. Der er udarbejdet en likviditetsplan for jubilæumsåret. Budgettet blev godkendt. Det blev besluttet, at kontingentet skal være uændret.

Ole Mørk Lauridsen og Sven Frøkjær udtrådte af direktionen. Der skete nyvalg af Jesper Gretlund og Thomas Bjørnholm. Præsidenten rettede en varm tak til Sven Frøkjær og Ole Mørk Lauridsen og bød velkommen til Jesper Gretlund og Thomas Bjørnholm. Jesper Gretlund præsenterede sig for forsamlingen og fortalte kort om sin karriere, der tog udgangspunkt i en ph.d. i fysik fra Aarhus Universitet og senere førte ham ind i energibranchen, hvor han efter en del år hos danske Ørsted nu var blevet Head of Global Wind Technology

hos hollandske Shell. Thomas Bjørnholm var ikke til stede ved generalforsamlingen, men præsidenten skitserede kort hans løbebane, hvor han efter sin ph.d. i kemi var blevet professor i materialekemi og senere prorektor ved Københavns Universitet, for derefter at blive Chief Scientific Officer i Villum Fonden. Steffen Jensen blev genvalgt som revisor.

Året 2023 havde også budt på stor aktivitet hvad angik ansøgninger, og det var lykkedes at få støtte til afholdelse af en 200-årsjubilæumsudstilling for SNU i Rundetaarn fra 17. august til 20. oktober. Det var også faldet på plads med udgivelse af en jubilæumsbog for SNU den 14. august 2024. Der afholdes i 2024 udover de sædvanlige foredrag i H.C. Ørsted Bygningen også en foredragsserie i Rundetaarn i perioden 19. august – 7. oktober, og der planlægges i november en fælles jubilæumsfest på DTU sammen med UNF, hvor der sker overrækkelse af 2 sølvmedaljer. Derudover overrækkes en gymnasielærer-bronzemedalje, en grundskolelærer-bronzemedalje og et Kirstine Meyer Legat. Allerede før generalforsamlingen var jubilæumsåret skudt ind med en overrækkelse af to H.C. Ørsted-guldmedaljer den 22. marts, hvor H.M. Kongen var til stede.

SNU's sølvmedaljeuddeling

Selskabet for Naturlærens Udbredelse (SNU) uddeler i forbindelse med sit 200-årsjubilæum i 2024 to H.C. Ørsted-sølvmedaljer, ledsaget af et rejselegat på 20.000 kr. Medaljerne er støttet af TICRA Fond.

Uddelingen forventes at finde sted den 8. november 2024 ved et arrangement, hvor SNU og Ungdommens Naturvidenskabelige Forening i fællesskab fejrer jubilæum – SNU 200-årsjubilæum, UNF 80-årsjubilæum.

SNU's direktion har nedsat et nomineringsudvalg med SNU's præsident Anja C. Andersen i spidsen.

Indstillinger til medaljen bestående af motivation samt et fuldt CV bedes sendt til nomineringsudvalget senest den 10. oktober 2024 på mail snu@snu.dk.

Medaljerne er de to sidste i en serie for 2021-24, der har følgende kriterier:

H.C. Ørsted-sølvmedaljen 2021-2024 gives til dygtige undervisere og formidlere på universiteterne og forskere samt ingeniører i virksomheder, der yder en særlig indsats for at skabe synergi og samarbejde mellem virksomheder og universiteter, indenfor hele det fagspektrum, der ligger til grund for uddannelser og forskning i det elektrotekniske fagområde.

Modtagere i nyere tid af H.C. Ørsted-medaljen i sølv er:

2022: Postdoc, ph.d. Johan G. Olsen, Biologisk Institut, Københavns Universitet

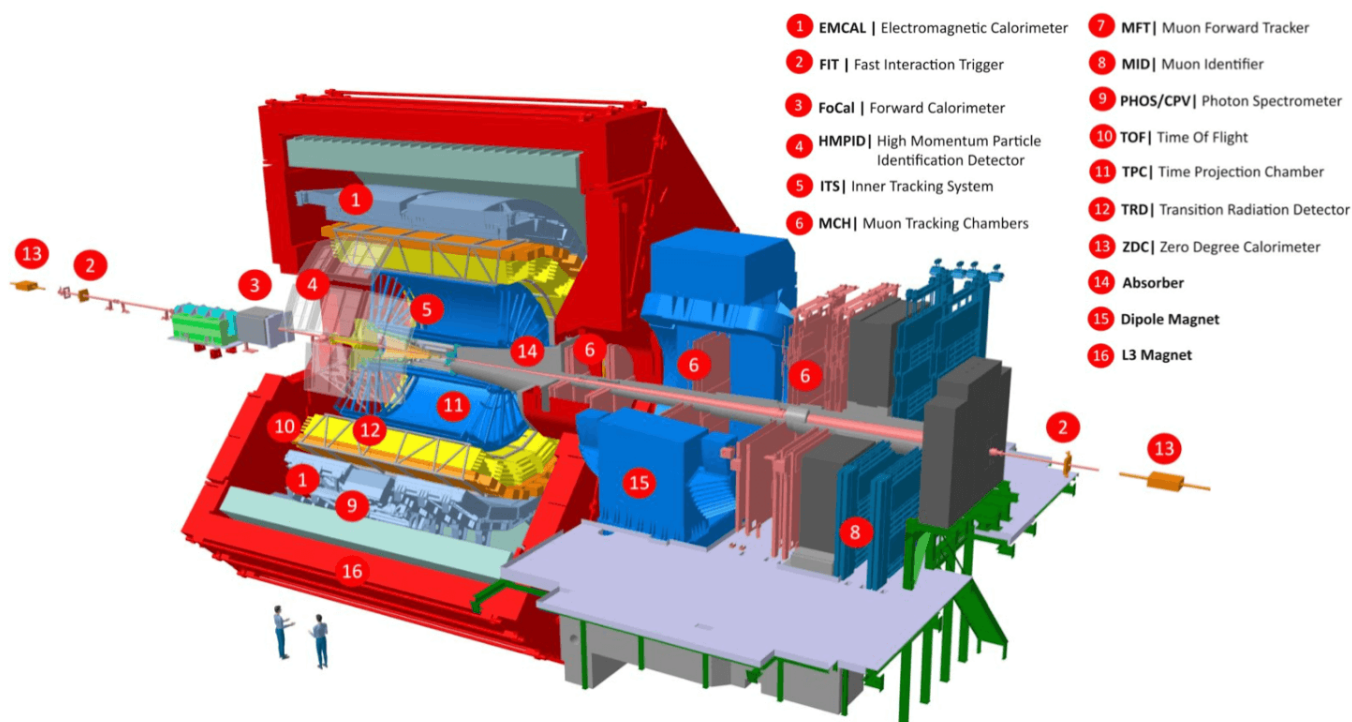
2021: Lektor, ph.d. Samel Arslanagic, DTU Space

2020: Videnskabsredaktør, ph.d. Jens Ramskov, Ingeniøren

2019: Professor, ph.d. Thomas Bolander, DTU Compute

2016: Professor, ph.d. Anja C. Andersen, Niels Bohr Institutet

Der er ikke noget ansøgningsskema. Dog bedes man holde sig indenfor 1 A4-ark med normal læselig typografi, hvad angår motivation. Der er ingen begrænsninger på længden af det fulde CV.



Figur 1. ALICE-detektoren. FoCal skal placeres i position nr. 3.

Studerende tester detektor på CERN

PARTIKELFYSIK. En gruppe studerende og forskere fra Niels Bohr Institutets højenergigruppe “High-Energy Heavy Ion (HEHI)” har været på CERN for at teste en prototype på en ny partikeldetektor, som de er ved at udvikle. Detektoren har fået navnet FoCal (forward calorimeter) og består af to detektorer: en elektromagnetisk detektor FoCal-E og en hadronisk detektor FoCal-H.

FoCal-E måler elektromagnetiske partikler fx elektroner og fotoner, mens FoCal-H måler hadroner. Hadroner er partikler, der er opbygget af kvarker, fx protoner og neutroner. FoCal skal placeres i forward (fremad) regionen i ALICE-detektoren, når den endelige version bygges. Det er vigtigt at få en detektor i det område, da forskerne i dag ikke kan måle partikler, som kommer ud med bestemte vinkler fra kollisionen. ALICE-detektoren undersøger kvark-gluon-plasmaet, som opstår, når blykerner med hastigheder tæt på lysets kolliderer i CERNs store partikelaccelerator LHC. Kollisionen skaber en høj temperatur og energitæthed og gør det muligt for kvarker og gluoner (partikler, der holder kvarker sammen) at blive frigjort. Man mener, at en lignende tilstand eksisterede lige efter Big Bang, før kvarker og gluoner kunne sætte sig sammen og danne hadroner.

De partikler, der kommer ud i meget små vinkler i forhold til partikelstrålens retning, er de helt tidlige partikler fra kollisionen, og FoCal-detektoren kommer derfor til at undersøge det helt tidlige univers. I tests

på CERN bliver FoCal-prototypen placeret i en partikelstråle fra acceleratoren og udsat for højenergetiske partikler, der vekselvirker med detektoren og dens elektronik. De studerende deltager aktivt sammen med forskerne i både design, konstruktion, test og optimering af detektoren. De er nu i gang med at bygge prototype 2, der er større end prototype 1. Forskerne forventer, at den endelige detektor er færdig i 2028.

Kilde: Niels Bohr Institutet.

Kerneuret

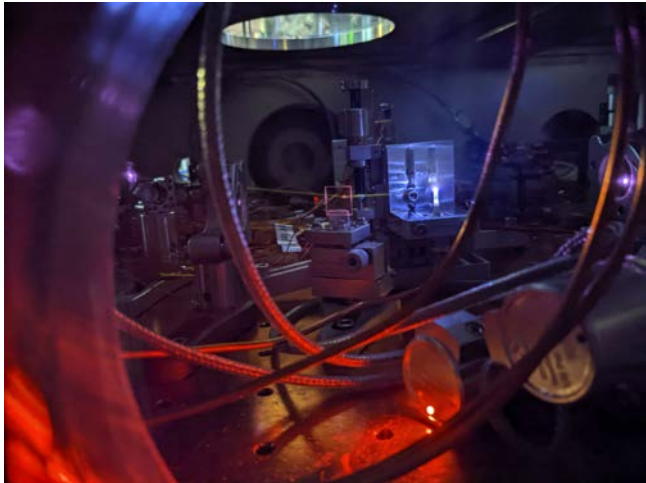
KERNEFYSIK. Atomure er ultrapræcise og holder styr på tiden. Et sekund er defineret som 9.192.631.770 svingninger i en hyperfin overgang i et Cs-133-atom. Men nu er atomuret måske ved at blive overgået af kerneuret.

En gruppe forskere fra JILA som er et samarbejde mellem National Institute of Standards and Technology (NIST) og University of Colorado Boulder har demonstreret de afgørende elementer til et kerneur. Et kerneur bruger overgange i atomkernen til at måle tiden med.

Et atomur måler tiden ved at tilpasse laserlys til frekvenser, der passer med bestemte energiovergange i atomet. Elektronerne i atomet bliver exciteret af laseren til en højere energitilstand og henfalder igen ved udsendelse af lys. Vi tæller tiden som antal overgange (excitationer) per sekund, dvs. frekvensen. Kerneuret bruger derimod energiovergange inde i kernen. Kernen består som bekendt af protoner og neutroner. I kernen er der også energiovergange, som lys med den rette

frekvens kan excitere. Kerneuret på JILA bruger en overgang i en thorium-229-kerne, som er placeret inde i en krystal. Denne energiovergang passer med frekvensen på ultraviolet lys. Th-229 er en oplagt kandidat til et kerneur, da overgangen er ved lav energi og isomeren (den exciterede tilstand af kernen) lever længe.

Man kan måle frekvensen af laserlyset ved at tælle oscillationerne af lysbølgen med en såkaldt frekvenskam. På den måde kan man måle tiden, dvs. urets tikken, ved at tælle antal oscillationer af laserlyset, som er stabiliseret til en bestemt overgang.



Figur 2. Kerneurets forsøgsopstilling, figur fra kilde.

Det nye er, at de har lavet en frekvensforbindelse mellem kerneuret og et eksisterende atomur. Dvs. at de har vist, at de kan etablere en frekvensforbindelse, og at de kan måle frekvens forholdet mellem energiovergangene i thorio-229-kerneuret og i et strontium-87-atomur.

Kerneuret er mere præcist som tidsmåler end atomuret, da frekvensen for lyset, der driver kerneuret, er meget højere, hvilket betyder, at der er flere svingninger per sekund og derfor flere "tik" per sekund. Desuden er kernen (der har et lille magnetisk dipolmoment), ikke så påvirket af udefrakommende forstyrrelser som fx elektromagnetiske felter som et atom (der har et større magnetisk dipolmoment), ville være.

Kerneuret forventes at have en præcision på omkring 10^{-19} , hvilket er en faktor 10 mere end atomuret. Atomurets præcision er dog i forvejen høj, da en præcision på 10^{-18} svarer til, at det taber 1 sekund på 30 milliarder år, hvilket er meget længere end universets alder.

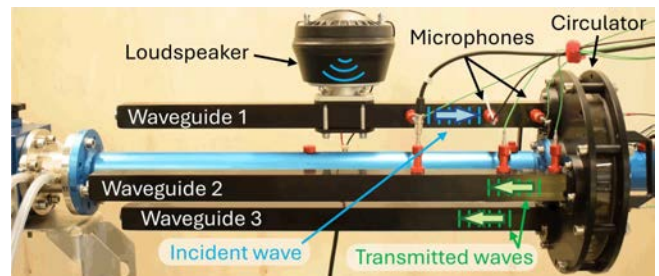
Med præcise kerneure kan vi få mere præcise navigationssystemer, hurtigere internet og mere sikre og pålidelige internetforbindelser. Desuden kan kerneurets præcision bruges til at teste fundamentale teorier for, hvordan universet hænger sammen og måske hjælpe med at detektere mørkt stof og teste om naturkonstanterne faktisk er konstante. Her er kerneuret desuden mindre at arbejde med i forhold til fx partikelacceleratorer.

Kilde: phys.org og C. Zhang m.fl. (2024) "Frequency ratio of the ^{229}Th nuclear isomeric transition and the ^{87}Sr atomic clock", *Nature*, bind **633**, side 63–70.

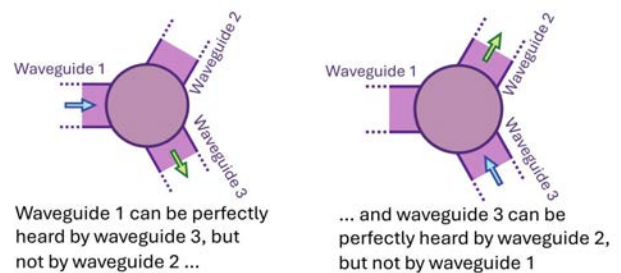
Ensrettede lydbølger

MATERIALEFYSIK. Forskere fra ETH Zurich har fået lydbølger til at rejse i kun én retning. Det har de gjort ved at bruge selvsvingninger gennem en cirkulær kavitet og vist, at lyden kun kommer ud af én bølgeleder. De mener, at deres resultat kan anvendes indenfor guidning af elektromagnetiske bølger (fx lys).

Lydbølger bevæger sig som regel i samme retning fremad som bagud. Men for nogle anvendelser ville man foretrække, at bølgerne kun rejste i én retning fx for at undgå uønskede refleksioner. Det er før lykkedes forskere at forhindre lydbølger i at udbrede sig baglæns, men dengang svækkede de også bølgerne, der bevæger sig fremad.



Perfect non-reciprocal transmission:



Figur 3. Den eksperimentelle opstilling og bølgeudbredelse gennem kaviteten. Lydbølgerne kan kun udbrede sig i én retning gennem bølgelederne. Figur fra kilde.

Nu er det lykkedes forskergruppen at demonstrere en metode, der forhindrer lydbølger i at rejse bagud, uden at det påvirker deres udbredelse fremad. Metoden baserer sig på selvsvingninger i en cirkulær kavitet. Disse selvsvingninger tillader lydbølger kun at bevæge sig i én retning og uden tab gennem kaviteten, den såkaldte cirkulator. I denne model bliver dæmpningen af lydbølgen kompenseret af selvsvingningerne i cirkulatoren, som synkroniserer de indkomne bølger med selvsvingningerne. På den måde får de indkomne bølger energi fra selvsvingningerne, og de kan forstærkes, ligesom tab gennem systemet reduceres. Det er også selvsvingningerne, som får lydbølgerne til kun at rejse gennem cirkulatoren i én retning.

Cirkulatoren består af en rund kavitet, hvor hvirvlende luft blæses igennem. For en speciel kombination af lufthastighed og -intensitet skabes en fløjtende lyd i kaviteten. Det interessante er, at denne lyd ikke er en stående bølge, men en roterende bølge.

Forskerne har først studeret fluidmekanikken af den roterende lydbølge nøje og derefter realiseret eksperimentet ved at tilføje tre bølgeledere langs cirkulatoren. Når de sender lydbølger ind i den første bølgeleder, kan bølgerne forlade cirkulatoren gennem den tredje

bølgeleder. Men en bølge, der kommer ind gennem den tredje bølgeleder, kan ikke gå ud gennem den første bølgeleder, men kun gennem den anden bølgeleder. På den måde bliver bølgedynamikken gennem cirkulatoren ensrettet.

I eksperimentet bruger de en lydbølge med en frekvens på 800 Hz (altså lyd, vi kan høre), som de sender gennem den første bølgeleder og derefter måler, hvordan den bliver transmitteret til anden og tredje bølgeleder. Som forventet kom den ikke ud gennem den

anden bølgeleder. Men gennem den tredje bølgeleder kom der en lyd ud, som faktisk var stærkere end den, de sendte ind.

Forskerne understreger, at det er et vigtigt resultat, da det kan bruges i andre systemer til bølgemanipulation. De mener, at de synkroniserede selvsvingninger fx kan bruges i metamaterialer til at guide elektromagnetiske bølger.

Kilde: phys.org og T. Pederngana m.fl. (2024) “Loss-compensated non-reciprocal scattering based on synchronization”, *Nat Commun*, bind 15, side 7436.

Kommende foredrag

Dato	Tid	Foredragstitel	Foredragsholder	Forening
Okt 2024				
4/10	13.30	Generalforsamling i Dansk Fysisk Selskab Afholdes i Margrethe Bohr Auditoriet Niels Bohr Bygningen, Jagtvej 155 A, Kbh. N		DFS
7/10	20.00	Alt omkring os er kemi – efterfulgt af uddeling af Kirstine Meyers Mindelegat	Morten Meldal	SNU (Rundet.)
8/10	17.30	Små Røde Prikker / Little Red Dots	Kasper Heintz	AS (Aarh.)
8/10	18.15	Teoretiske undersøgelser af sorte huller	Troels Harmark	AS (Kbh.)
28/10	18.15	Stjernekrig – om den militære anvendelse af rummet	Michael Linden-Vørnle	AS (Kbh.)
28/10	19.30	En rejse i moderne geometri	Nathalie Wahl	SNU (HCØ)
Nov 2024				
4/11	18.15	Danmark i Rummet: Stormagtspolitikens betydning for dansk rumforskning	Niels Lund	AS (Kbh.)
11/11	18.15	Rumjura: Juridiske aspekter af udnyttelsen af Rummet	Danny Johansen	AS (Kbh.)
12/11	17.30	Lise Meitner – Her Life and the Discovery of Fission	Anthea Coster	KIF & NBA
12-13/11		The Women of NBI – Then and Now		KIF & NBA
18/11	18.15	Rumovervågning – fra supermagter til kommercielle aktører	Nicolai Birkholm	AS (Kbh.)
18/11	19.30	Stamceller – også et fremtidigt værktøj i sygdoms- bekæmpelse?	Kim Bak Jensen	SNU (HCØ)
25/11	18.15	Videnskabelige rummissioner – kapløb og internationalt samarbejde	Hans Kjeldsen	AS (Kbh.)
Dec 2024				
9/12	19.30	Den mikrobielle verden indeni os – efterfulgt af uddeling af H.C. Ørsted gymnasie- lærermedaljen	Tine Rask Licht	SNU (HCØ)
Maj 2025				
14-15/5		DFS Årsmøde		DFS

AS (Kbh.): CSS, Gammeltoftsgade 15, 1355 København K. Lokale: 35.-1.05 (astronomisk.dk).

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

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

KIF & NBA: Kvinder i Fysik og Niels Bohr Arkivet. Konferencen 12-13/11 afholdes i Aud. A på Niels Bohr Institutet, Blegdamsvej 17, 2100 København Ø. Program og tilmelding på kvinderifysik.dk/2024/06/04/women-of-nbi/. Foredraget 12/11 holdes i Lundbeckfond Auditoriet på Københavns Biocenter, Ole Maaløes Vej 5, 2200 København N.

SNU (Rundet.): Rundetaarn, Købmagergade 52A, 1150 København (snu.dk, facebook.com/SNU1824).

SNU (HCØ): Aud. 1, H.C. Ørsted-bygningen, Universitetsparken 5, 2100 København Ø (snu.dk, facebook.com/SNU1824).

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

KIF-prisen 2024 uddelt til tre fantastiske rollemodeller

Maren Malling, KIF



KIF-prisvinderne 2024. Fra venstre mod højre: Marianne Vestergaard, Desiree Della Monica Ferreira og Miriam Galbiati.

KIF-prisen er en hæderspris, der uddeles årligt for at skabe opmærksomhed om kvinders betydning for fysik og synliggøre kvindelige fysikere som rollemodeller på universiteter såvel som i samfundet og erhvervslivet.

I år blev KIF-prisen for første gang nogensinde givet til tre nominerede i det samme år! Der var indsendt et rekordstort antal fremragende nomineringer, og evalueringskomiteen ønskede at tildele prisen til tre enestående kvinder, der gjorde så stort et indtryk, at de ikke kunne vælge kun én. Disse tre kvinder har udmærket sig som rollemodeller på en måde, der gør dem lige værdige til KIF-prisen. Stort tillykke til alle tre!

Desiree Della Monica Ferreira, Senior Scientist, DTU Space

Marianne Vestergaard, Professor, Niels

Bohr Institutet

Miriam Galbiati, CEO, Glaze Life Sciences

Prisvinderne blev offentliggjort på Kvinder i Fysiks årsmøde, som blev afholdt den 4. juni, 2024 på Niels Bohr Institutet, og de tre vindere modtog et diplom og blomster. Evalueringskomiteens begrundelser for at tildele prisen til hver af de tre vindere blev læst op, og prismodtagerne holdt hver en kort takketale.

For yderligere at fejre prismodtagerne og sætte et velfortjent fokus på deres professionelle præstationer og vigtige arbejde som mentorer og rollemodeller, afholdt KIF en event den 19. september på H.C. Ørsted Institutet, hvor alle tre prisvindere præsenterede deres forskning og karriereveje.