

KVANT August 2

2023

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 34. årgang



TEMANUMMER OM SOLSYSTEMET

Løssalgpris: 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 Mallings, DFS

John Rosendal Nielsen,

Aurehøj Gymnasium

Lars Occhionero, AS

Dorte Olesen, SNU

Finn Berg Rasmussen,

Niels Bohr Institutet, KU

Svend Erik Rugh

Abonnementspris : 185 kr./år.

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

Abonnement tegnes på www.kvant.dk.

Øvrige henvendelser vedr. abonnement til

Christine Pepke Gunnarsson:

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

Annoncpriser

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

1/4 side: 1600 kr.

Priserne er excl. moms og for reproklart

materiale i farver. Henvendelser om annon-

cer til redaktøren på: kvant@kvant.dk

Tryk

Vestergaards Bogtrykkeri A/S.

Oplag: 2.500.



Tryksag
5041 0826

Produktionsplan

Nr. 3-2022 udkommer ca. 15. oktober

Nr. 4-2023 udkommer ca. 15. december

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

Indhold:

Tilbage til Månen

Christina Toldbo 3

Hvordan dannes beboelige planeter?

Martin Bizzarro og Anders Johansen 6

At genskabe andre planeter i et laboratorium

*Jonathan P. Merrison, Jens Jacob Iversen og
Keld Rømer Rasmussen* 11

Ekstremt vejr – i rummet

Jens Olaf Pepke Pedersen 16

Poppers falsifikationskriterium – og Favrhøldts forståelse heraf

Claus Münchow 22

Modstand – breddeopgave 102 og 103

Jens Højgaard Jensen 25

Aktuelle bøger

Finn Berg Rasmussen og Michael Cramer Andersen 27

Kvant-nyheder

Christine Pepke Gunnarsson 29

Nyt fra Dansk Fysisk Selskab

Maren Mallings 32

Nyt fra Astronomisk Selskab

Lars Occhionero 32

Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Anja C. Andersen og Cecilie Pedersen 33

Kommende foredrag

. 35

Skrammel hitter hos københavnske børn

Selskabet for Naturlærens Udbredelse Bagsiden



Billedet på forsiden viser det ene af to frimærker, som Færøerne og Grønland har udgivet i anledning af Andreas Mogensens nye mission til den Internationale Rumstation, ISS. Frimærket er tegnet af den færøske kunstner Anker Eli Petersen, der har ladet sig inspirere af missionens titel Huginn, som er navnet på Odins mytiske ravn. Anker Eli Petersen mener, at Huginn også kan bruges som et symbol på videnskab og indsamling af videnskabelig information.

Hver dag flyver Huginn sammen med raven Munin ud over Midgård – og når de kommer hjem igen om aftenen, sætter de sig ved Odins højsæde og beretter, hvad de har set, hørt og erfaret. Ud fra ravnens oplysninger, drager Odin sine konklusioner og øger sin viden om det nordiske univers og dets tilstand.

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

Tilbage til Månen

Christina Toldbo, DTU Space

Det har taget 50 år, men nu er mennesket på vej tilbage til Månen. Under den kolde krig var det vigtigt for USA at vise, at landet var Sovjetunionen teknologisk og økonomisk overlegen, og derfor var der ikke behov for, at missionerne var lange. Men takket være mange års erfaringer fra Den Internationale Rumstation (ISS) har vi nu en stor viden om, hvordan mennesker kan opholde sig i lang tid i rummet. Alligevel er det et helt andet scenarie, når vi skal bosætte os på Månen.

For lidt over 50 år siden, i december 1972, kravlede astronauten Gene Cernan ind i månemodulet og lukkede lugen til Månens overflade bag sig. Siden har ingen mennesker besøgt vores nærmeste nabo. I alt har kun 12 mennesker gået på Månen – alle i årene mellem 1969-1972 under Apollo-programmet. Dengang var et af de primære formål med landingerne at vise, at USA var Sovjetunionen teknologisk og økonomisk overlegen, og derfor var der ikke behov for, at missionerne var lange. Neil Armstrong og Buzz Aldrin (de første mennesker på Månen under Apollo 11) brugte under 24 timer på Månens overflade og heraf kun 2½ time uden for månemodulet i deres ikoniske, hvide rumdragter. Det længste ophold (Apollo 17-missionen) var kun lidt over tre dage langt.

Lange ophold i rummet

Man havde bevist, at mennesker kunne rejse i rummet, men det store spørgsmål var nu, om mennesker kunne opholde sig derude i lange perioder ad gangen og i så fald hvordan. For at finde ud af det, byggede både Sovjetunionen og USA en række rumstationer hvor astronauter og kosmonauter kunne opholde sig i månedsvis. Rumstationerne blev gradvist større og mere bekvemmelige, og i de sidste 30 år er pengene til menneskelig udforskning af rummet primært blevet brugt på at bygge og vedligeholde den største og mest sofistikerede rumstation "ISS". Rumstationen er et gigantisk projekt både politisk, videnskabeligt og helt bogstaveligt på grund af dens størrelse. Den er bygget af USA, Rusland, Japan, Canada og flere europæiske lande, herunder Danmark, og har kostet over 150 milliarder dollars. Siden år 2000 har der minimum været tre mennesker på stationen, og i alt har 269 mennesker fra 21 forskellige lande besøgt ISS. I de 23 år, rumstationen har været bemannet, har vi trænet at leve i længere tid i rummet. Hvordan man sover, spiser, træner og trives. Vi har også lært, hvordan man gror planter, reparerer og udbygger stationen, sikrer systemer som renser vandet og luften ombord, og hvordan man opbygger robuste forsyningskæder og samarbejdsrelationer.

Nu er vi klar til at tage skridtet videre og igen landsætte mennesker på Månen. Denne gang hedder projektet "Artemis", der i græsk mytologi er Apollos tvillingsøster og gudinde for Månen. Til forskel fra Apollo-projektet er planen at opbygge en mere permanent tilstedeværelse på og omkring Månen, og på

sigt at bruge Månen som en platform til fremtidige rejser til Mars. Udover mennesker på Månens overflade inkluderer Artemis-projektet også konstruktionen af en ny rumstation kaldet "Lunar Orbital Platform Gateway (LOP-G)" i kredsløb om Månen. LOP-G skal fungere som forskningsstation og "gateway" til Månens overflade og til missioner videre mod Mars. Ligesom med ISS-projektet er Artemis-projektet et samarbejde med internationale partnere bl.a. Europa gennem rumagenturet ESA, som Danmark også er med i. Denne gang er der altså også mulighed for, at der vil være europæere og endda en dansker på Månens overflade.



Figur 1. Orion-kapslen udefra (øverst) og indeni (nederst) i "Space Vehicle Mockup Facility", Johnson Space Flight Center, Houston.

Mennesket er uden tvivl det svageste led på en rummission. Der er et hav af udfordringer ved at opholde sig i rummet. Kroppen svækkes af at være vægtløs, og psyken udfordres af at være indespærret på trang plads med kunstigt lys og summende maskiner. Mange af de nævnte ting er udfordringer, som vi forsøger at finde løsninger på ombord på ISS. Andreas Mogensens mission til den internationale rumstation er en brik i puslespillet om menneskers trivsel på længerevarende missioner i rummet, og han er med til at teste nye essentielle teknologier til fremtidens missioner. Bl.a. skal han teste en metal-3D-printer i rummet, som vil kunne bruges til at producere de værktøjer, man har brug for på en mission, så man ikke er afhængig af forsyninger fra Jorden. Han skal også afprøve et Virtual Reality (VR) system til at forbedre den mentale sundhed, når man er afskåret fra familie, venner og Jordens vante rammer i lange perioder.

Selvom vi tester og træner, så stammer alle vores hidtidige erfaringer med mennesker på lange missioner i rummet fra rumstationer som ISS – der kun er få timers rejse væk, 400 km over Jordens overflade. Det er altså et helt andet scenarie, vi står overfor, når vi skal bosætte os på Månen og Mars, som er henholdsvis en lille uge og syv måneder væk. Månens overflade og rummet omkring Månen (kaldet cis-lunar space) er det logiske næste skridt for menneskelig udforskning af rummet og en naturlig platform, hvor vi kan øve os i at kolonisere et andet himmellegeme, før vi giver os i kast med Mars.

For at kunne opholde os i lang tid i rummet og på en anden planet, er der brug for en masse infrastruktur og en række teknologier, som skal udvikles og testes. Vi skal udvikle og forbedre systemer, der fx kan genbruge vand og luft i et lukket kredsløb, og vi skal lære at udnytte ressourcer, som allerede findes på Månen eller Mars. Begge dele med det formål at mindske mængden af nødvendige raketopsendelser. Et lovende perspektiv er fundet af vandmolekyler bundet i Månens støv/regolith i kratere på Månens nord- og sydpol. Hvis vandet kan udvindes effektivt, kan Månen potentielt fungere som en rumhavn, hvor man kan spalte det udvundne vand i hydrogen og oxygen og bruge det som brændstof til rejser videre til Mars og andre destinationer.

Kraftige raketter

På trods af mere lukkede kredsløb og udvinding af ressourcer fra Månen har vi i de næste årtier stadig brug for at sende en masse materiel til Månen, og det kræver kraftfulde raketter! “Artemis I”-missionen blev opsendt i november 2022, og var netop en ubemandet test af NASAs nye superraket “SLS” (Space Launch System) samt kommandomodulet “Orion”, hvor astronauterne skal sidde.

Det er første gang siden 1972, at USA (og verden) har haft en raket til rådighed, som er kraftfuld nok til at sende flere tons til Månen og i fremtiden til Mars. Under Apolloprojektet brugte man “Saturn V”-raketten, som blev opsendt succesfuldt 13 gange – og heldigvis for det, for var den eksploderet på opsendelsesplatformen, ville det svare til 1/26 af atombomben over Hiroshima. Saturn V var godt 111 m høj, altså tre gange så høj som

Rundetaarn, og brændte 20 tons brændstof per sekund! Den sidste mission til Månen var som nævnt Apollo 17 i 1972, men der var faktisk planlagt en Apollo 18, 19 og 20. Derfor findes der også en fuldt funktionel Saturn V raket i Johnson Space Flight Center i Houston. Billedet herunder viser forfatteren af denne artikel ved siden af de fem nederste af motorerne, og det kan forhåbentlig give læseren et indtryk af størrelsen på sådan en raket.



Figur 2. Saturn-V første-trin med dens fem F-1 motorer. Johnson Space Flight Center, Houston.

SLS er lidt lavere end Saturn V, men har til gengæld boostere på siden og kan yde 15% mere løftekraft end Saturn V kunne. Hver raket kan ligesom Saturn V kun bruges én gang, og SLS koster mindst 2 milliarder dollars hver gang, den sendes op. Elon Musks Space X er også i gang med at udvikle deres egen superraket “Starship”, som snart skal gennemgå sin første test i kredsløb om Jorden. Hvis Starship er succesfuld, vil den være verdens hidtil kraftigste raket, og vi vil have hele to systemer, der kan bruges til Månen og Mars. I modsætning til SLS er planen, at Starship skal være genanvendelig, billigere og hurtigere at producere.

New Space

I februar 2023 besøgte jeg Space X’s “Starbase” i Boca Chica, Texas, hvor de bygger og tester deres Starship. Billedet herunder er fra besøget og viser boosterens “Super Heavy” yderst til venstre og Starship SN15, Starship test S24 (den første kredsløbstest) og Starship S20 (prototype, der ikke har fløjet). I sin fulde konfiguration stilles Starship oven på boosterens og bliver således verdens højeste raket (120 m).

Det var en interessant oplevelse at besøge Starbase, fordi udviklingsfilosofien og metoderne er så anderle-

des, end hvad man er vant til. Gennemsnitsalderen på Starbase var 24 år, og de ansatte lyttede til rockmusik, mens de svejsede og hamrede på stålraletterne i den texanske fugt, varme og støv. Traditionelt samles og bygges raketter indenfor i rene haller af teknikere, der nøje følger forskrifterne i en række manualer. Det var svært ikke at opfatte det som en kæmpe kontrast mellem det, folk kalder "old space" og "new space" – som et paradigmeskifte, i hvordan rumfart udføres og drives.



Figur 3. Fra venstre mod højre ses boosterens "Super Heavy" og tre udgaver af Starship (SN15, test S24 og S20). Foto fra Space X Starbase i Texas.

Jeg spurgte NASA, hvad de tænkte om SLS og muligheden for, at der måske om kort tid er to superraketter på markedet for første gang nogensinde. De fortalte, at det er et bevidst valg at køre et parallelløb mellem den traditionelle udviklingsfilosofi i form af et NASA-styret projekt og at lade de kommercielle kræfter råde. Således undgår man at satse alle pengene på én hest, og at én virksomhed får monopol. Er Starship succesfuld på den lange bane, har den dog så enormt et potentiale pga. sin genanvendelighed, at det formentlig vil føre til, at der ikke er brug for yderligere SLS-raketter.

SLS eller ej, så er disse superraketopsendelser et udtryk for det stigende engagement i menneskelig måneudforskning. Selvom SLS og Starship på sin vis konkurrerer om det samme marked, så er det bevillinger og ordrer fra NASA (og i mindre grad andre aktører), som Space X og andre kommercielle virksomheder indtil nu har bygget deres forretningsplan på. Under Apolloprojektet blev de fleste opgaver uddelegeret til virksomheder som fx Boeing, General Motors og IBM, så parløbet mellem rumagenturer og virksomheder er ikke noget nyt. Det nye er den lettere og billigere adgang til rummet for alle, herunder mindre virksomheder, lande og enkeltpersoner, og det voksende selvstændige marked, der dannes som resultat heraf. Virksomhederne er også i højere grad selv med til at drive udviklingen og begynder uafhængigt af rumagenturerne at opbygge infrastruktur og teknologier, som der endnu ikke er (stor) efterspørgsel efter.

For nu, er det bare med at holde fast og følge med i den rivende udvikling. I de næste ti år er der flere missioner planlagt til Månen end i de sidste 50 år tilsammen. De første astronauter, der skal vende tilbage i kredsløb om Månen ombord på Artemis II-missionen

er blevet udvalgt, og Space X's Starship står klar på affyringsrampen. Snart bor der mennesker på Månen.



Christina Toldbo er postdoc i afdelingen for Måling og Instrumentering på DTU Space. I 2019 var hun projektleder for udstillingen "Rundt om Månen" i Rundetaarn i anledning af 50-året for den første månelanding.

PFEIFFER VACUUM

Nyhed

Oliefri vacuumpumpe - HiScroll (6-20 m³/t)

Ekstrem lyd- og vibrationssvag pumpe med kompakt design



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

Kaos vs. Kosmos

Den oldnordiske mytologi beskriver en konstant vekslen mellem Kaos og Kosmos. Kosmos, den organiserede verden, hvor guder og mennesker hersker og lever, står i kontrast til Kaos, den uorganiserede verden, som består af de samme bestanddele, men i kaotisk uorden – og hvor jætter og andre farlige væsener har frit spil. Udenfor menneskenes ordnede verden, Midgård, ligger jætternes rige, Jotunheim. Her er beboerne ofte antropomorfe beskrivelser af de utæmmelige naturkræfter (det vilde hav, vind, ild, vulkaner, etc.) samt de ting, som ligger udenfor guders og menneskers kontrol og viden.

Hvordan dannes beboelige planeter?

Martin Bizzarro og Anders Johansen, Globe Institutet, Københavns Universitet

Solsystemet blev længe anset for at være det eneste beboelige planetsystem. Denne opfattelse er blevet anfægtet ved opdagelsen af, at planeter omkring sol lignende stjerner er almindelige i vores galakse, herunder kloder, der minder om Solsystemets jordlignende planeter. Dette giver mulighed for, at planeter som Jorden og liv findes andre steder i universet. I de seneste år har ny forskning fra Københavns Universitet ændret på vores forståelse af, hvordan jordlignende planeter dannes. Denne forskning kombinerer analyse af gamle meteoritter med planetdannelsesteori og viser, at Jorden blev dannet på kun få millioner år, mens den unge Sol stadig var omgivet af en protoplanetar skive af gas og støv. I dette nye paradigme, hvor planeter dannes hurtigt, erhverver de jordlignende planeter både vand og organiske molekyler, mens de vokser sig store i den protoplanetare skive. Tilstedeværelsen af vand på Jorden er ved denne teori en forudsigelig konsekvens af vores planets hurtige dannelse. Disse resultater har betydning for hyppigheden af beboelige planeter uden for vores Solsystem.

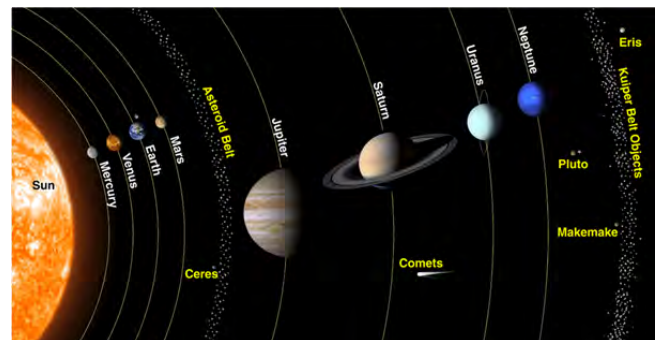
Solsystemet og beboelige planeter

Vores Sol omkreds af otte store planeter, et par håndfulde mindre dværgplaneter og et væld af asteroider, der hovedsageligt befinder sig mellem Mars og Jupiter og uden for Neptuns bane (se Figur 1). De fire planeter, der er tættest på Solen – det vil sige Merkur, Venus, Jorden og Mars – er kendt som de jordlignende planeter. De er kendetegnet ved at have en metalkerne og en kappe af sten. De jordlignende planeter har en række meget forskellige atmosfærer: Merkur har ingen atmosfære, Mars har en tynd atmosfære af kuldioxid (CO_2), Jordens atmosfære er domineret af nitrogen (N_2) og ilt (O_2), mens Venus har en knusende CO_2 -atmosfære med næsten 100 gange højere tryk end på Jorden. Jorden er en meget speciel planet, fordi Jorden er den eneste planet i Solsystemet, som har et omfattende hav på overfladen – og naturligvis fordi livet opstod på Jorden for mere end 4 milliarder år siden. Livets evne til at omdanne CO_2 ved fotosyntese til biologisk anvendeligt kulstof (C) og molekylær ilt (O_2) har haft stor betydning for atmosfærens sammensætning.

Det er vigtigt at forstå dannelsen og udviklingen af de jordlignende planeter i Solsystemet for at få indsigt i, hvor mange beboelige planeter, der potentielt findes i vores galakse. Forståelsen af, hvordan de jordlignende planeter blev dannet, er nøglen til at forstå livets oprindelse. De fire jordlignende planeter i Solsystemet giver os meget forskellige eksempler på, hvordan sådanne planeter kan dannes og udvikle sig. Merkur blev dannet for tæt på Solen til at holde på sin atmosfære, og planetens overflade ligner i dag Månens: grå og domineret af ældgamle kratere. Venus startede sandsynligvis med oceaner som Jordens, men Venus' placering tættere på Solen udløste en løbsk drivhuseffekt, hvorved vanddamp i atmosfæren opvarmede oceanerne, så de frigjorde mere og mere damp i en feedback-proces. Vandmolekylerne (H_2O) blev spaltet til hydrogen (H_2) og ilt (O) af Solens intense ultraviolette stråling. De lettere H_2 -molekyler undslap atmosfæren og efterlod en planet uden oceaner.

Jorden slap af med sin tykke, oprindelige CO_2 -

atmosfære ved, at CO_2 blev opløst i havene, og kulstoffet blev begravet som karbonatsten i kappen. Denne proces kunne ikke finde sted på den udtørrede Venus, hvilket forklarer Venus' tætte atmosfære. Mars kredser længere væk fra Solen end Jorden, men Mars' lave masse og svage tyngdekraft betød, at det meste af dens atmosfære forsvandt inden for 100 millioner år efter dens dannelse. I dag har Mars kun en tynd CO_2 -atmosfære tilbage. Manglen på en betydelig drivhuseffekt på Mars afkølede det resterende vand, der dannede et lag af permafrostis, som i dag befinder sig under overfladen og ved polerne. Jorden undgik den løbske drivhuseffekt, da Jorden blev dannet i større afstand fra Solen end Venus i kølligere omgivelser, og Jorden lykkedes med at bevare sin atmosfære ved tyngdekraftens hjælp, da Jorden er ti gange tungere end Mars.



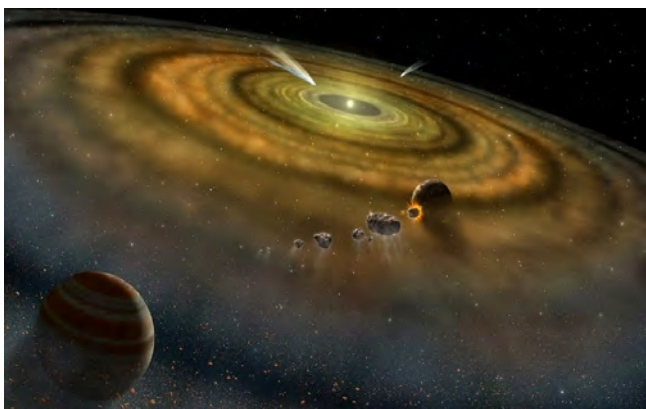
Figur 1. Billedet viser Solsystemet. Afstandene er ikke gengivet i korrekt skala. De jordlignende planeter kredser tættest på Solen. Asteroidbæltet adskiller dem fra kæmpeplaneterne. Bag Neptuns bane ligger endnu et asteroidbælte, Kuiperbæltet. Dværgplaneterne Ceres, Pluto, Makemake og Eris er også markerede. Kilde: NASA.

I dag er der kendskab til mere end 5.000 planeter omkring andre stjerner [1]. Disse planeter kaldes for exoplaneter og kan potentiel være værter for liv. Der er en masse data tilgængelig om exoplanetsystemer, mens der stadig er meget lidt viden om andelen af stjerner, der er vært for små stenplaneter med samme masse og kredsløb som Jorden. De fleste exoplaneter, som vi kender, kredser enten tættere på deres værtsstjerne end

Jorden eller er meget tungere. Det skyldes, at exoplaneter med disse karakteristika er nemmere at opdage med de mest almindelige teknikker til at observere planeter. Karakteristika for de opdagede exoplaneter med hensyn til masse og kredsløb er derfor ikke nødvendigvis repræsentative for alle typer exoplaneter, som faktisk kredser om stjernerne.

Gamle sten fra rummet giver spor om Jordens dannelse

Planetsystemer som vores eget dannes ved, at en kæmpe molekylsky kolliderer under sin egen tyngdekraft (se figur 2). Det meste af den kollapsede masse samles i midten og danner en central stjerne, mens resten af massen spreder sig ud i en fladtrykt og roterende protoplanetarisk skive, der består af støv og gas. Astronomiske observationer viser, at disse skiver kun eksisterer i nogle få millioner år. Skivens relativt korte levetid skyldes, at skivematerialet langsomt falder ind mod den centrale stjerne. Noget støv samler sig imidlertid til millimeterstore partikler. Disse småsten danner større planetesimaler, som minder om asteroiderne i det nuværende asteroidebælte mellem Mars og Jupiter. Planetesimalerne udgør de første byggesten for større planeter. Observationer af protoplanetariske skiver giver således en direkte indsigt i forholdene, hvorunder planeter dannes.



Figur 2. En kunstners afbildning af en planetdannende skive, der omgiver en ung solliggende stjerne. Kilde: NASA.

Kort efter sin fødsel for 4,5 milliarder år siden var vores unge Sol omgivet af en skive, som indeholdt det materiale, som senere dannede Solsystemets planeter. De eneste bevarede spor af denne fjerne fortid kommer fra meteoritter. Det vil sige gamle rumsten, der styrter ned på Jorden. De fleste meteoritter er fragmenter af asteroider, der blev dannet, da Solens protoplanetariske skive stadig eksisterede for cirka 4,5 milliarder år siden. Derfor kan disse gamle sten anvendes som tidskapsler til at studere processer og forhold, der eksisterede, da planeterne i Solsystemet, herunder Jorden, blev dannet. Meteoritter kan groft sagt opdeles i to grupper, nemlig primitive og differentierede meteoritter. Differentierede meteoritter er stykker af asteroider, der ligesom Jorden engang har været smeltet og dannet en metallisk kerne, en silikatkappe og silikatskorpe. I modsætning til differentierede meteoritter kommer primitive meteoritter – kondritter – fra asteroider, som undgik at smelte

og dermed har været uforandret i 4,5 milliarder år. Kondritter indeholder fortsat alle de grundstoffer, der fandtes i Solens protoplanetariske skive, og de giver os mulighed for at bestemme, hvilket materiale de jordlignende planeter blev dannet af. Kondritterne kan studeres i laboratorier. Her analyseres deres kemiske, isotopiske og kronologiske karakteristika for at opnå en forståelse af kondritternes dannelseshistorie ved at se på, hvilket materiale de har arvet fra skiven, og hvornår de forskellige komponenter i kondritterne blev dannet.

Kondritter består primært af kondruler. Kondruler er millimeterstore kugler, der engang må have været små, smeltede sten, som svævede frit rundt i den protoplanetariske skive. Kondrulerne bindes sammen af en finkornet matrix (figur 3). Matrixen består af støv i mikrometerstørrelse, som var til stede i den protoplanetariske skive, herunder materiale, der er direkte nedarvet fra molekylskyen, som skiven dannedes af. Detaljerede undersøgelser af matrixen i kondritter har afsløret, at den indeholder stjernestøv. Stjernestøv er små krystaller, der er dannet i døende stjerner før Solens fødsel, og omfatter støv dannet i gigantiske supernovaeksplosioner.

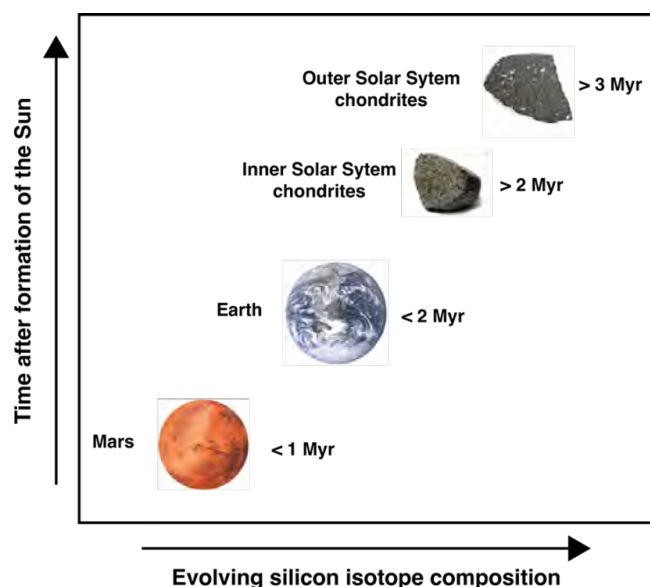
En vigtig observation, som har store konsekvenser for forståelsen af planeternes oprindelse, er, at asteroider, der er dannet i det iskolde, ydre solsystem, indeholder meget mere supernova-støv end asteroider, der er dannet i det varme, indre solsystem. Denne forskel giver mulighed for at identificere kilden til det materiale, der dannede planeterne, selvom årsagen til kontrasten mellem det indre og det ydre solsystem diskuteres blandt forskere. Ved at se på planeternes og asteroidernes isotopsammensætning kan man bestemme deres relative andel af materiale fra det indre og det ydre Solsystem. Planeternes isotopsammensætning er derfor ligesom DNA, fordi den fortæller os, hvor deres oprindelsesmateriale kommer fra i Solsystemet.



Figur 3. Et udsnit af Allendekondritten. De små afrundede objekter er kondruler, og det grå materiale er CAI'er (Calcium-Aluminium rich Inclusions), som kondenserede tæt på Solen kort efter Solens dannelse. Mellem kondrulerne ses den finkornede matrix. Terningen er en cm i størrelse. Kilde: Martin Bizzarro.

I de senere år har flere undersøgelser vist, at Jorden er lavet af en blanding af materiale fra det indre og ydre Solsystem [2,3]. Denne observation har afgørende betydning for forståelsen af, hvordan Jorden er dannet, og årsagen til, at Jorden har fået det vand

og organiske materiale, som er nødvendigt for, at liv kan udvikle sig. En af de seneste undersøgelser har fokuseret på isotopsammensætningen af grundstoffet silicium i forskellige meteoritter samt på Jorden og Mars. Silicium er det mest hyppigt forekommende grundstof i jordlignende planeter. Derfor er målinger af planeternes sammensætning af siliciumisotoper et effektivt redskab til at forstå deres oprindelse [4]. Det vigtigste resultat af dette arbejde er, at isotopsammensætningen af materialet, der var til stede, hvor de jordlignende planeter blev dannet, udviklede sig fra en sammensætning som i det indre Solsystem til en sammensætning som i det ydre Solsystem inden for nogle få millioner år efter Solens fødsel (figur 4). Denne tidsmæssige ændring i skivematerialets sammensætning kan bruges som et ur til at bestemme, hvornår Jorden blev dannet. Jordens isotopsammensætning viser, at Jorden ikke er lige så udviklet i retning af det ydre Solsystems sammensætning sammenlignet med isotopsammensætningen for kondritmeteoritterne. Det betyder, at vores planet afsluttede sin vækst inden for få millioner år. Jorden må derfor være blevet dannet, mens der stadig var en skive af støv og gas omkring den unge Sol, og Jordens vækst blev drevet af materiale, der blev transporteret indad gennem den protoplanetariske skive. Dette materiale inkluderede småsten, som var dækket af is og indeholdt store mængder organiske molekyler. Disse resultater giver en fuldstændig omlægning af både modeller og tidsskalaer for planeternes dannelse. Dette har en dramatisk indvirkning på vores forståelse af de betingelser, der muliggør dannelsen af jordlignende planeter.



Figur 4. Tegningen viser forskellige legemers dannelses-tidspunkter i forhold til deres sammensætning i siliciumisotoper. Små planeter som Mars blev dannet indenfor en million år (Myr) efter Solens fødsel. Kondriternes moderlegemer blev dannet i slutningen af den protoplanetariske skives levetid, mere end to til tre millioner år efter Solens dannelse. Jordens silicium viser, at vores planet blev dannet før kondritterne. Kilde: Martin Bizzarro.

En ny teori – planeter dannes ved at indfange småsten

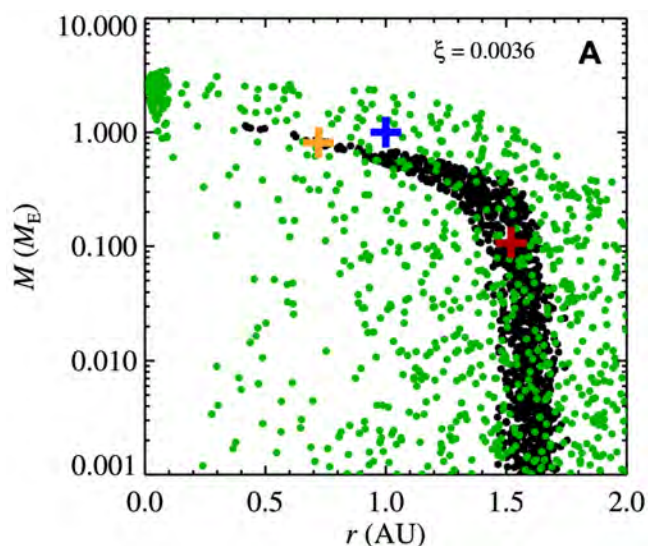
I 2015 rettede astronomer de nystartede ALMA-teleskoper i Chile mod den unge stjerne HL Tau, som befinder sig cirka 500 lysår fra Solen. ALMA er en samling af 66 radioteleskoper, der observerer stråling ved millimeterbølgelængder med meget høj opløsning. Stjerner udstråler meget lidt lys ved sådanne bølgelængder, og derfor er ALMA et fremragende instrument til at detektere varmestrålingen fra koldt støv, der kredser omkring unge stjerner. HL Tau viste sig at være omgivet af en protoplanetarisk skive af støv og gas af samme størrelse som vores Solsystem. Størrelsen af de partikler, der udsender varmestråling, bestemmes ud fra hvordan varmestrålingens intensitet afhænger af strålingens bølgelængde. Partikler, der er meget større end den observerede bølgelængde, absorberer og udsender stråling fra hele deres geometriske tværsnit, mens mindre støvpartikler lader det meste af millimeterstrålingen passere igennem sig. Støvet mellem stjernerne i Mælkevejen er typisk meget mindre end 1 mikrometer i størrelse. Den store mængde varmestråling fra HL Tau og andre unge stjerner ved lange bølgelængder giver et klart bevis på, at støvet er vokset fra mikrometerstørrelse til småstenstørrelse. ALMA havde derfor observeret det første skridt i planetdannelsen. Tilstedeværelsen af småsten i protoplanetariske skiver var allerede blevet observeret et årti tidligere med andre instrumenter, men med ALMA blev det muligt at producere højopløste billeder af sådanne skiver.

Det næste spørgsmål er, hvordan kan planeter vokse sig større end bare småsten? Laboratorieeksperimenter viser, at kollisioner mellem småsten fører til ødelæggelse af småstenene snarere end til vækst, når kollisionshastigheden er højere end 1 m/s. Men supercomputersimuleringer har afsløret et overraskende nyt fænomen. De småsten, der bevæger sig rundt i gassen, samler sig spontant i tætte klumper. Effekten kaldes for tostrømsinstabiliteten (eller streaming instability). Tostrømsinstabiliteten kan sammenlignes med, hvordan fugleflokke på træk og cykelryttere i Tour de France samler sig i grupper for at reducere den samlede luftmodstand på gruppen. Klumperne trækker sig sammen under småstenenes indbyrdes tyngdekraft og danner planetesimaler med en typisk størrelse på 100 km. Asteroidebæltet mellem Mars og Jupiter er rester af sådanne planetesimaler, som blev dannet for mere end 4,5 milliarder år siden.

Det næste trin i planetdannelsen viser sig imidlertid at være lige så vanskeligt. Planetesimalerne kolliderer alt for sjældent til at danne kæmpeplaneter. Kæmpeplaneter som Jupiter og Saturn består af en tæt kerne med en masse, der er 10 gange så stor som Jordens. Efterhånden som denne kerne vokser i den protoplanetariske skive, opnår den tilstrækkelig tyngdekraft til at tiltrække brint- og heliumgas og vokse sig til en kæmpeplanet på flere hundrede jordmasser. Det kræver en kerne for at få dannet en kæmpeplanet, men kernen vokser alt for langsomt ved indfangning af planetesimaler.

Tilstedeværelsen af store populationer af småsten i den protoplanetariske skive viste sig at være en plausibel løsning på dannelsen af kæmpeplaneter. Sådanne småsten indfanges meget effektivt af en voksende

kerne, fordi gassen bremser småstenene, hvilket gør dem meget lettere at fange. Det ser derfor ud til, at småstensindfangning (eller pebble accretion) er en absolut nødvendighed for dannelsen af kæmpeplaneter. I dette lys var det naturligt at tage de klassiske modeller for Jordens dannelse op til fornyet overvejelse. De klassiske modeller antager, at planetesimalerne tæt på Solen kolliderede og dannede større protoplaneter, som senere kolliderede i gigantiske sammensmeltninger i en periode på 100 millioner år for at danne de jordlignende planeter. Denne model var hovedsageligt baseret på tilstedeværelsen af asteroiderne mellem Mars og Jupiter, og modellen blev formuleret længe før der blev observeret småsten i protoplanetariske skiver. Der er en fascinerende lighed mellem de jordlignende planeter og kæmpeplaneterne: de større planeter (Jorden/Venus og Jupiter/Saturn) kredser tættere på Solen end de mindre planeter (Mars og Uranus/Neptun). Vi ser her bort fra Merkur, som sandsynligvis blev dannet ved sammenstød mellem jern-asteroider tæt på Solen. Denne arkitektur kan naturligt forklares, hvis planeterne vokser ved småstensindfangning i den protoplanetariske skive, fordi større planeter dannes over længere tid og derfor er tvunget til at bevæge sig tættere på Solen af tyngdekraften fra den protoplanetariske skive.



Figur 5. Computersimuleringer af hvordan forskellige jordlignende planeter kan dannes ved småstensindsamling under forskellige forhold. x-aksen viser afstanden fra stjernen målt i AU (afstanden mellem Jorden og Solen) og y-aksen viser planetens masse i enheder af Jordens masse [5]. Venus, Jorden og Mars er indikeret med plussymboler (hhv. orange, blå og rød). De sorte planeter startede deres vækst fra et snævert bælte af asteroider ved 1,6 AU fra stjernen, hvorimod de grønne planeter viser resultatet af at starte planeterne i et bredere område. De jordlignende planeter er under alle omstændigheder lette at danne ved småstensindfangning.

Figur 5 viser, hvordan forskellige jordlignende planeter dannes i computersimuleringer af småstensindfangning og migration [5]. Småstensindfangning forklarer naturligt, hvorfor Jorden og Mars roterer om deres akse i samme retning, som de kredser om Solen, da rotationen om egen akse er en simpel konsekvens af bevarelsen af småstenenes impulsmoment (Venus har en retrograd rotation, men roterer ekstremt langsomt om sin akse

i dag; dette skyldes formentligt, at tidevandskraften fra Solen på Venus' tætte atmosfære har ledt til en kraftig reduktion af Venus' oprindelige rotation). I småstensindfangningsmodellen dannes de jordlignende planeter i løbet af nogle få millioner år inde i den gasrige protoplanetariske skive, hvilket er meget hurtigere end i den klassiske model. I løbet af denne tid driver småstenene gennem den protoplanetariske skive mod stjernen. Småstensindfangning forklarer, hvordan Jorden kunne samle materiale fra både det indre Solsystem og fra det ydre Solsystem. Dette stemmer overens med, hvad målingerne af siliciumisotoperne viste.

Vandets oprindelse på Jorden

I den gamle teori for planetdannelse foreslås det, at de jordlignende planeter dannes i etaper. Først klæber små støvpartikler sig sammen til planetesimaler med en diameter på 10-100 km. Disse planetesimaler støder derefter sammen og danner protoplaneter og planeter. Dette sker over en tidshorisont på 50-100 millioner år. I denne teori foregår tilførslen af flygtige grundstoffer og organiske molekyler, hvis indhold af kulstof og kvælstof er afgørende for liv, ved tilfældige kollisioner med isrige asteroider sent i planeternes dannelseshistorie. I det nye paradigme med småstensindfangning dannes stenplaneter som Jorden derimod indenfor den protoplanetariske skives levetid. Dette giver mulighed for, at vand og organiske molekyler blev leveret til Jorden under planetens dannelsesfase.

Et vigtigt begreb inden for planetvidenskab er den såkaldte islinje. Det er den afstand fra Solen i den protoplanetariske skive, hvor det er koldt nok til, at flygtige molekyler som is, ammoniak, metan, kuldioxid og kulilte kan kondensere til faste iskorn. Temperaturen i den indre del af den protoplanetariske skive, hvor Jorden blev dannet, blev gradvist koldere over de første få millioner år efter Solens dannelse. Derfor må islinjens position være vandret indad mod de jordlignende planets dannelsesområde [6]. Det betyder, at planeterne ud over at indsamle små klippestykker også kunne indsamle mere og mere is, efterhånden som islinjen bevægede sig indad. Computersimuleringer af småstensindfangning har nu vist, at Jordens indhold af vand, kulstof og kvælstof kan gengives inden for rammerne af den nye teori. Kulstof og kvælstof er vigtige bestanddele af de organiske molekyler, som findes i meteoritter. Resultaterne fra disse simuleringer viser, at det er muligt nøje at reproducere Jordens vand- og kulstofindhold kvantitativt, inklusiv den del som i dag findes utilgængelig opløst i jernet i Jordens kerne. Dette vand og kulstof opløstes i smeltet sten og jern i Jordens kappe, som var opsmeltet til et flydende magmaocéan på grund af den store mængde varme, som planetens dannelse udløste. Det tunge jern, som indeholdt store mængder vand og kulstof, regnede langsomt ned og dannede Jordens kerne. Den resterende mængde vand og kulstof i magmaocéanet blev udgasset til Jordens første atmosfære efter magmaocéanet størknede. Dette er et vigtigt resultat, fordi det i bund og grund betyder, at vand og organiske molekyler var en del af Jordens byggesten. Ud fra dette nye perspektiv må mængden

af vand, der er tilført Jorden, være et direkte resultat af planetens dannelse ved at indfange millimeterstore småsten.

Er der andre jordlignende verdener i galaksen?

De tidligste spor af bakteriel aktivitet på Jorden findes i sten, der er mindst 3,8 milliarder år gamle, blot 700 millioner år efter planetens dannelse. Det tog sandsynligvis et par hundrede millioner år for den nyfødte Jords kvælende CO₂-atmosfære at blive opløst i havene og blive begravet som karbonatsten i kappen. Det korte tidsrum mellem Jordens afkøling og livets opståen må betyde, at livet kan udvikle sig så snart de rigtige betingelser er til stede.

Astronomer kender i dag til adskillige planeter omkring andre stjerner med samme størrelse som Jorden, og som kredser i den såkaldte beboelige zone. Den beboelige zone er defineret som de afstande fra stjernen, hvor der kan være flydende vand på overfladen. Alle disse planeter kredser dog om røde dværgstjerner, der er langt mindre lysstærke end Solen. Et berømt eksempel er TRAPPIST-1-systemet, der ligger 40 lysår fra Solen, og hvor 4 af de 7 planeter befinder sig i den beboelige zone. James Webb-rumteleskopet blev opsendt i 2021 og har observationer af TRAPPIST-1-systemet som et vigtigt videnskabeligt mål. De første observationer af den inderste planet, TRAPPIST-1b, viste, at planeten sandsynligvis mangler en atmosfære. Små stjerner som TRAPPIST-1 har en meget høj udstråling i det energirige røntgenområde af spektret. Når en planet bombarderes med røntgenstråler over milliarder af år, kan dette føre til en omfattende erosion af atmosfæren. Det bliver spændende at følge, når flere af TRAPPIST-1-planeterne bliver observeret i de kommende år. Måske vil observationerne resultere i flere planeter uden atmosfære, og i så fald vil vi lære mere om de mekanismer, der fører til tab af atmosfære. Eller måske vil vi få de første beviser på tilstedeværelsen af en atmosfære omkring en jordlignende planet i kredsløb om en anden stjerne. Sådanne observationer vil under alle omstændigheder give os vigtig indsigt i de betingelser, der er nødvendige for at gøre en planet beboelig og muliggøre livets oprindelse.

Litteratur

- [1] W. Zhu og S. Dong (2021) "Exoplanet Statistics and Theoretical Implications", *Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics*, bind 59, side 291–336.

- [2] M. Schiller, M. Bizzarro og V.A. Fernandes (2018) "Isotopic evolution of the protoplanetary disk and the building blocks of Earth and the Moon", *Nature*, bind 555, side 507–510.
- [3] M. Schiller, M. Bizzarro og J. Siebert (2020) "Iron isotope evidence for very rapid accretion and differentiation of the proto-Earth", *Science Advances*, bind 6, eaay7604.
- [4] I.J. Onyett, M. Schiller, G.V. Makhatadze, Z. Deng, A. Johansen og M. Bizzarro (2023) "Silicon isotope constraints on terrestrial planet accretion", *Nature*, bind 619, side 539–544.
- [5] A. Johansen, T. Ronnet, M. Bizzarro, M. Schiller, M. Lambrechts, Å. Nordlund og H. Lammer (2021) "A pebble accretion model for the formation of the terrestrial planets in the Solar System", *Science Advances*, bind 7, eabc0444.
- [6] S. Ida, T. Yamamura og S. Okuzumi (2019) "Water delivery by pebble accretion to rocky planets in habitable zones in evolving disks", *Astronomy and Astrophysics*, bind 624, side A28.



Martin Bizzarro er professor ved Globe Institutet på Københavns Universitet. Hans forskning er fokuseret på at forstå den tidligste udvikling af vores solsystem gennem brug af isotopforholdsmålinger med høj præcision i ekstraterrestriske materialer. Han er desuden direktør for Center for Stjerne- og Planetdannelse (www.starplan.dk).



Anders Johansen er professor ved Globe Institutet på Københavns Universitet. Hans forskning fokuserer på dannelsen af planeter, egenskaberne af de første atmosfærer af klippeplaneter og livets oprindelse.

Odin

Odin er den viseste af alle de nordiske guder. Han holder sig konstant orienteret om universets tilstand – og søger i og udforsker det ukendte. I sin uafbrudte jagt efter kundskab, bruger han, blandt andet, sine to ravne, Huginn og Munin. "Huginn" betyder "tanke/den som tænker" – evnen at tænke og iagttage – mens "Munin" betyder "minde/den som husker" – evnen at huske, og erfaring.

Huginn og Munin

"Huginn og Munin flyver hver dag hen over Jordens grunde. Jeg frygter at Hugin ej kommer hjem, men ængstes dog mere for Munin."

Fra Odins omtale af sine to ravne i det oldnordiske eddakvad "Grimnismál". Odin er bekymret for at miste evnen til at tænke, men endnu mere for at miste evnen til at huske.

At genskabe andre planeter i et laboratorium

Jonathan P. Merrison, Jens Jacob Iversen og Keld Rømer Rasmussen, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

Ved Institut for Fysik og Astronomi har vi opbygget et laboratorium med en planetsimulator, hvor vi kan genskabe de ekstreme fysiske og kemiske forhold, som findes andre steder i vores solsystem. Man kan blandt andet studere vulkanudbrud på Saturns ismåner, støvstorme på Mars, men også Jordens mest ekstreme miljøer – fra den mest ugæstfri ørken og til forhold højt oppe i stratosfæren. Udover ekstremt høje/lave temperaturer og lavt tryk kan der skabes vinde, der er i stand til at transportere is, støv- eller sandpartikler på en kontrolleret og ufarlig måde. Simulatoren er unik, og en tilsvarende facilitet findes ikke andre steder. I de seneste 13 år har en bred videnskabelig fagkreds anvendt den i en lang række projekter, bl.a. i forbindelse med de ambitiøse programmer til udforskningen af Mars og Månen med robotter og bemandede missioner.¹

Planetforskningen ved Institut for Fysik og Astronomi (IFA) i Aarhus blev i 2007 udvidet med en avanceret planetsimulator, og formålet var dengang at etablere en europæisk testfacilitet til ESA's Marsudforskningsprogram [1]. Med finansiering fra ESA har den nu været udnyttet af 24 forskellige aerospace-industripartnere, lige fra de helt store som Airbus og til små nationale firmaer, og der er nu udført omfattende test- og udviklingsprojekter for bl.a. ESA's "Exomars Lander"-missioner samt adskillige af NASA's Marsmissioner, bl.a. Phoenix og Perseverance. Udover disse industriaktiviteter har simulatoren været anvendt i adskillige internationale forskningsprogrammer. Mere end 300 gæster fra 30 forskellige institutter har benyttet den og publiceret over 70 artikler herom.

Mange af disse aktiviteter har været støttet af en række EU-forskningsnetværker, som laboratoriet har deltaget i. Eksempelvis har Europlanetnetværket støttet planetprojekter i over 14 år [2]. Andre forskningsnetværker inkluderer et, som studerer vulkanisme på Jorden (VERTIGO), et meteorologinetværk (METEOMET) samt et om støv på Mars (ROADMAP). Selvom disse forskningsområder er vidt forskellige, åbner planetsimulatoren for unikke forskningsmuligheder for dem alle. At kunne kontrollere fysiske parametre som tryk, gassammensætning, temperatur, vind og koncentration af atmosfæriske partikler åbner nye muligheder for at studere ekstreme miljøer.

Planetsimulatoren består af et 10 m langt, isoleret vakuumkammer med et volumen på 35 m³. Heri er indbygget en recirkulerende vindtunnel. I kammeret kan der opvarmes til over 100°C, og med flydende kvælstof i specialbyggede kølelementer kan det afkøles til temperaturer på under -170°C [3]. Med en Marsatmosfære i kammeret skabes i vindtunnelen en cirkulerende vindstrømning med hastighed på op til 40 m/s. Dette gøres med 2 sæt 1,8 m store turbineblade, der roterer op til 1000 omgange/min. De fysiske/kemiske forhold i simulatoren måles med en række sensorer/målesystemer, der er specielt udviklet hertil. Det er fx lasersystemer til studier af atmosfæriske partikler, vind-/gashastigheds-sensorer og optisk-elektroniske systemer til studier af

støvdeponering og elektrisk opladning.

IFA har opbygget flere internationalt anerkendte forskningsfaciliteter, bl.a. Institute for Storage Ring Facilities og ¹⁴C-Dateringslaboratoriet. Det har kun været muligt med teknisk avancerede værksteder med en stab, der er eksperter inden for især mekanik og elektronik. Det gør det muligt hele tiden at være på forkant med de nyeste teknikker og videreudvikle koncepter. Når det gælder internationalt samarbejde inden for rumforsknings- og aerospace-sektorerne, er det afgørende at have og bevare en ekspertstatus. Det har vi gjort ved konstant at fokusere på at udvikle og indtage nye anvendelsesområder for simulatorfaciliteten. Således har vores institut været en attraktiv partner for forsknings- og udviklingsprojekter og herunder udføre unikke eksperimenter. Senest har vi med finansiering fra Europlanet 2024RI udvidet vores facilitet med et nyt pumpesystem, et nyt kølesystem og en 2 m sektion, der kan placeres flere steder i simulatoren afhængig af formålet. Herefter kan vi lave forsøg/simuleringer under forhold, som ligner ismåner eller Jordens egen måne.

I al forskning og teknologisk udvikling er test og kalibrering vitale elementer. Adgang til faciliteter, som kan genskabe relevante miljøer under kontrollerede laboratorieforhold, er derfor et vitalt element i al forskning i ekstreme miljøer på Mars, andre planeter og på Månen. Det er et basalt argument for vores fortsatte aktiviteter. Der er planlagt såvel robot- som bemandede missioner til Mars og Månen. Forud for disse vil der være stort behov for testfaciliteter. Specielt vil der være behov for endnu større og mere avancerede faciliteter, end der pt. findes. Et samarbejde herom er indledt med og finansieret af ESA.

Når konventionelle (terrestriske) modeller anvendes i forbindelse med undersøgelse af ekstreme miljøer, er det nødvendigt at basere dem på fundamentale fysiske parametre og derved gøre dem så lidt empiriske som mulig. Det kan gøre studier af planeter og observationer i laboratoriebaserede simulatorer til et vigtigt element til at udfordre og teste de nuværende modellers pålidelighed, at identificere væsentlige problemer og i nogle tilfælde endog observere helt nye fænomener.

¹Laboratoriet er medlem af Europlanet 2024 RI, som har modtaget støtte fra EU's Horizon 2020 forsknings- og innovationsprogram under tilskudsaf tale nr. 871149. Laboratoriet er også medlem af ROADMAP-projektet, som har modtaget støtte fra EU's Horizon 2020-forskning og innovationsprogram under tilskudsaf tale nr. 101004052.



Figur 1. Forskellige billeder af Aarhus planetsimulatorfaciliteten, som er bygget i samarbejde med LM-Stål (Randers). Fra venstre mod højre ses: kammer under lukningsproces, måling med kryokøling med flydende kvælstof og laser Doppler-velocimeter- (LDV-) målinger samt LDV-stråler set indefra i simulatoren (som oplyser vindbårne støv-aerosoler).

I vores forsøg på at forstå Mars' atmosfære kan vi fx ende med at få en dybere og mere fundamental forståelse af Jordens atmosfære og klima. I denne artikel vil vi kortlægge den rum-teknologiske udvikling og forskning i planetologi, som vores facilitet har været og fortsat er involveret i, og endvidere diskutere fremtiden for disse aktiviteter.

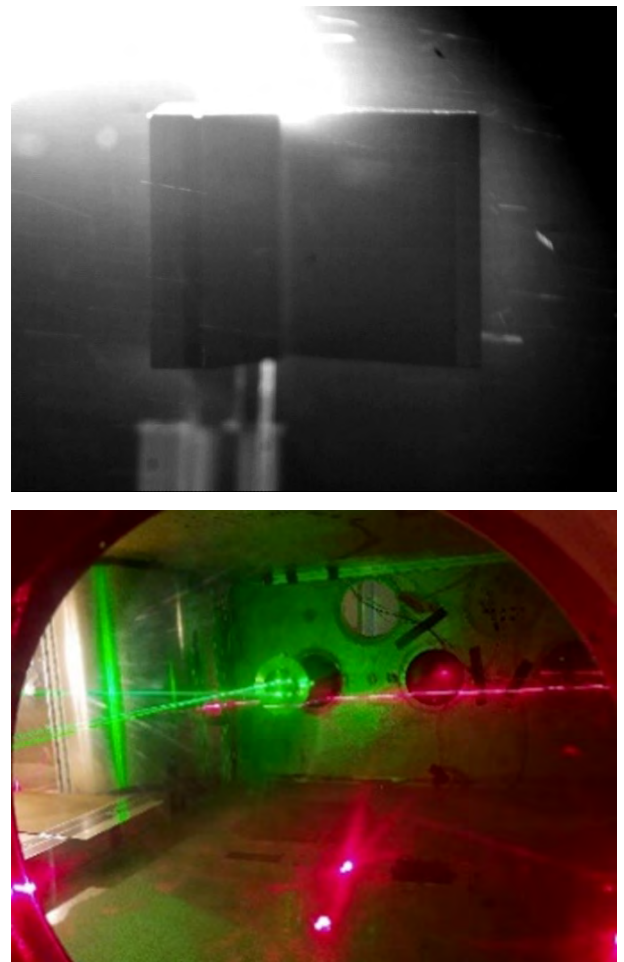
Vulkanøer i solsystemet

Vulkanske udbrud kan udsende kolossale mængder materiale (tefra), der omfatter alt fra store, kompakte klumper til meget finkornet aske. Aske kan nå højt op i atmosfæren – i nogle tilfælde helt op i stratosfæren – og derved spredes over store dele af Jorden. Spredning af enorme mængder tefra er en af de værste naturkatastrofer, som kan ramme et område på Jorden eller sågar hele Jorden. Den kan ødelægge eller forvolde skade på helbred, infrastruktur og transport – især lufttransport. Efter et udbrud er tefra fortsat en stor miljøtrussel, idet partikler kan genmobiliseres (resuspenderes) af vinden. På Island transporterer og omlejrer vinden fx 30 millioner tons aske hvert år.

I vores simulator kan vi studere processer, der dels resuspenderer og dels transporterer finkornet aske højt i atmosfæren (over 50 km), hvor luftens densitet er lav. Vi kan foretage disse studier på en kontrolleret og ufarlig måde. I samarbejde med vulkanologer (fra bl.a. Geneve og Rom) kan vi dermed bidrage til viden om disse risici – et arbejde, der især er foregået efter udbruddet af Eyjafjallajökull på Island i 2010. EU støtter denne forskning/undervisning via netværket VERTIGO [4], og dette samarbejde fortsætter stadig [5].

Is i Solsystemet

Vulkaner og vulkanisme er ikke begrænset til Jorden, fx er en eksotisk form for vulkansk aktivitet set på Saturns og Jupiters ismåner. Her bliver flydende vand fra oceaner dybt under overfladen sprøjtet direkte ud i vakuum, hvor de danner mere end 100 km høje jets, som består af mikrometersmå ispartikler. De er et aktivt forskningsområde for især astrobiologer, som søger efter miljøer, hvor liv kan eksistere. Isjets, som er observeret på Saturns måne Enceladus, har været reproduceret og studeret i vores simulator i samarbejde med SETI. De er komplekse at modellere og en stor udfordring at genskabe i laboratoriet – de kræver såvel ekspertise i cryogenese (dvs ekstrem lav temperatur), som i vakuumforhold og fluidodynamik.



Figur 2. Øverst: højhastighedsfotografi af en isjet inde i simulatoren. Vandis-partikler (ned til mikrometerskala) rammer med høj hastighed (over 100 m/s) en sensor (prototype) udviklet af SETI (en simulation af en mulig mission til Enceladus). Nederst: støvpartikler (aerosoler) suspenderet af vinden under Mars-forhold fotograferet inde i simulatoren. Partiklerne belyses med et rød-grønt 2D-lasersystem.

Forskellige ambitiøse missioner er planlagt/igangsat til disse ismåner – herunder den europæiske (ESA) JUICE-mission, som er på vej til Jupiter efter en vellykket opsendelse i april 2023.

Endnu mere eksotiske former for is findes i vores solsystem bl.a. isformer, som ikke findes på Jorden. Kolossale sæsonbetingede iskapper af CO₂-is (tusind km brede og flere m tykke), dannes hvert efterår på Mars og sublimerer (fordamper) igen hvert forår. Omkring 1/3 af Mars' atmosfære bliver fanget i disse iskapper.

Vigtige opdagelser om disse isformer er sket i de sidste 10 år i samarbejde med universiteter i Bern og Colorado, JPL i Pasadena samt DLR i Berlin). Til forskning i planetsimulatoren har vi udviklet systemer til gaskontrol og nye sensorsystemer, der muliggør ny og avanceret forskning om CO₂-is [6].

Forskellige former for is er udbredt i vores solsystem. Til fortolkning af observationer fra missioner og som input til cryomodeller har vi brug for detaljerede og grundige laboratoriestudier af isformer. Med de nyeste forbedringer af vores faciliteter kan vi bidrage til denne forskning bl.a. via et nydannet netværk af eksperter og laboratorier, som studerer planetar is. En særlig mulighed i vores simulator er at kunne studere vindens transport af ispartikler under fx lavt atmosfærisk tryk og på en relativt stor skala.

Komparativ planetologi og Jordens klima

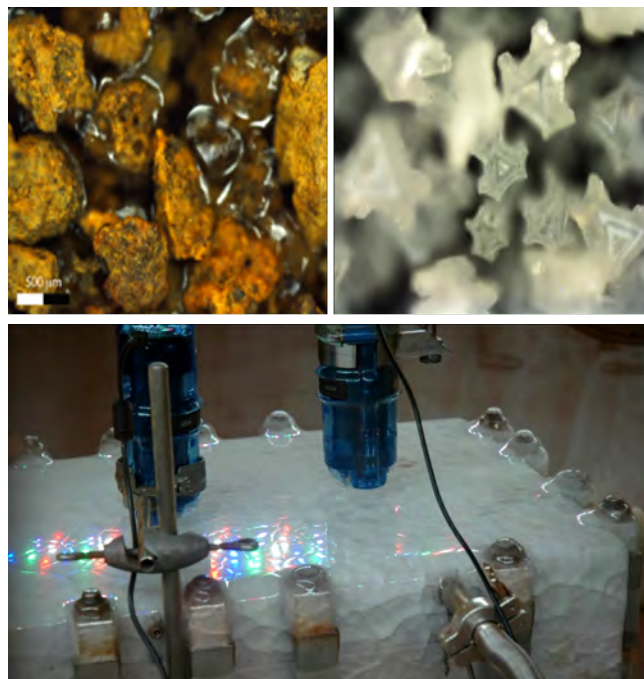
Komparativ planetologi er et fag, hvor vi kan lære mere om Jorden ved at studere andre planeter, deres måner samt kometer, asteroider osv. På andre planeter kan deres miljø være langt mere ekstremt end på Jorden, og de grundlæggende fysiske parametre kan variere udover det område, hvor konventionelle (terrestriske) modeller kan anvendes. Det gælder fx temperatur, tryk, viskositet, tyngdekraft m.fl. samt atmosfære- og overfladesammensætning. På den måde kan andre planeter (fx Mars, Titan og Venus) betragtes som "globale laboratorier".

I en laboratoriesimulator kan relevante ekstreme miljøer genskabes med mulighed for at teste konventionelle modeller ved systematisk at variere én (eller få) parametre, mens andre fastholdes. Herved kan i nogle tilfælde helt nye fænomener observeres – fx vinddrevet sandtransport, støvaerosoler, isdannelse og dynamik samt vulkanisme. Vores facilitet har – først og fremmest støttet af EU-netværk – været involveret i klimarelevant forskning inden for meteorologi, atmosfære- og overfladeprocesser.

I atmosfære- og klimaforskning er meteorologiske sensorer vigtige for global monitorering. Sådanne sensorer skal valideres og kalibreres – også under ekstreme betingelser. Her kan en atmosfærisk laboratoriesimulator være særdeles anvendelig for at studere og kalibrere tryk-, temperatur-, vindhastighed- og fugtighedsrespons. Vores facilitet har her været en del af det EU-støttede internationale netværk/program Meteomet [7].

Aerosoler er små suspendede partikler i atmosfæren, dvs. de bæres oppe af luftens turbulens. Deres størrelse varierer ca. fra 10 nm til flere µm. I Jordens atmosfære består de af vand/is, salt, jord/støv, mineraler, samt partikler fra industriel aktivitet, herunder sod fra udstødning og forbrænding. Aerosoler fra såvel naturlige kilder som industri deponeres både lokalt og globalt. Fra Afrika hvirvles fx hvert år en milliard tons mineralsk støv op i atmosfæren og højt i troposfæren [8]. Her transporteres de med den globale cirkulation rundt på hele Jorden. Fx lander ca. 200 millioner tons i Sydamerika. Effekten af disse aerosoler på Jordens klima er kompleks og kan både bidrage til opvarmning og afkøling. På alle planeter, der har en atmosfære, findes der aerosoler af forskellig art. Desværre er vores nuværende forståelse

af, hvordan mineralske aerosoler dannes, transporteres og deponeres ufuldstændig [9]. Ligeledes er vores modeller empiriske og i mange tilfælde baseret på meget begrænsede eksperimentelle data. Derfor er vi ikke i stand til at modellere aerosolprocesser på en effektiv måde.



Figur 3. Nederst: CO₂-is under Marsforhold (i simulatoren) som er i en "gennemsigtig" fase. Øverst til venstre: "gennemsigtig" CO₂-is deponeret på (og omsluttende) sandkorn under Marsforhold. Øverst til højre; CO₂-is deponeret i krystalform under lavere temperatur (ikke gennemsigtig). Disse forsøg fortsættes i fremtiden [7].

Udover at transportere aerosoler er vinden også en aktiv støv-/aerosoldanner gennem erosion af Jordens overflade. Desertifikation finder især sted som en kombineret effekt af langvarig tørke og vindens erosion, der fjerner de fineste partikler og derved forårmer jorden. Dette finder sted på ca. 25% af Jordens overflade og påvirker ca. to milliarder mennesker. Hvert år "tabes" ca. 12 millioner hektar landbrugsland pga. desertifikation [10]. En naturvidenskabelig udfordring er at forstå, forudse og om muligt begrænse desertifikation. I vores facilitet kan vi kontrollere vind, atmosfæren og partikler (aerosoler), og det gør den egnet til at belyse samspillet mellem atmosfære, jordoverflade og partikler og herigennem bidrage til bedre forståelse af sand- og støvtransport. Også på dette felt kan studier af andre planeter have betydning. Fx er mængden af vand i atmosfæren ubetydelig på Mars, og her er hyppig vinddrevet transport af støv og sand en udmærket platform til studier af sådanne (ørken-)processer. Sammen med grupper fra Belgien, Spanien og Tyskland er vores facilitet en del af et EU-støttet forskningsprojekt, som hedder ROADMAP [11]. Formålet er at studere partikler i Mars' atmosfære gennem kombinerede laboratorieforsøg, satellitobservationer og global modellering. Det overordnede formål er (kvantitativt) at forstå sammenhængen mellem vindflux, sand-/støvpartikeltransport, abrasion og støvdannelse. Dermed kan der laves prognoser

for erosionsrater og emission af støvaerosoler. Dette er et aktivt forskningsområde med nye opdagelser i både laboratoriet, observationer fra Mars/Jorden og i modelleringer heraf både på mikro- (fluid dynamik) og global skala (globale cirkulationsmodeller). Det er på mikroskala, at de innovative teknologier og teknikker, som er udviklet i vores faciliteter, kan bidrage med den nyeste viden og belyse det komplekse samspil mellem fluidstrømning, partikelbevægelse samt partikel-partikelinteraktion [12,13].

Bemandede missioner til Mars og Månen

Den største del af planetsimulator-faciliteten ved AU (AWTSII) blev i 2006 finansieret af ESA som del af udforskningen af Mars både med robotter og bemandede. Det var forventet, at vores simulator kunne muliggøre omfattende afprøvning og udvikling af instrumenter og udstyr, der kunne anvendes på overfladen af Mars, og siden 2009 har det været en kernefunktion. Herunder testes teknologier for at optimere deres pålidelighed og robusthed, og nye instrumenter kalibreres. Vores facilitet er den pt. mest avancerede Marssimulator, fordi den ikke alene kan genskabe de lave tryk og temperaturer (såkaldt termal-vakuumsystemer), men også vindstrømninger og transport af støv/sandpartikler. Faktisk er støveksposering en af de meste undersøgte (og farlige) miljøeffekter på Mars.

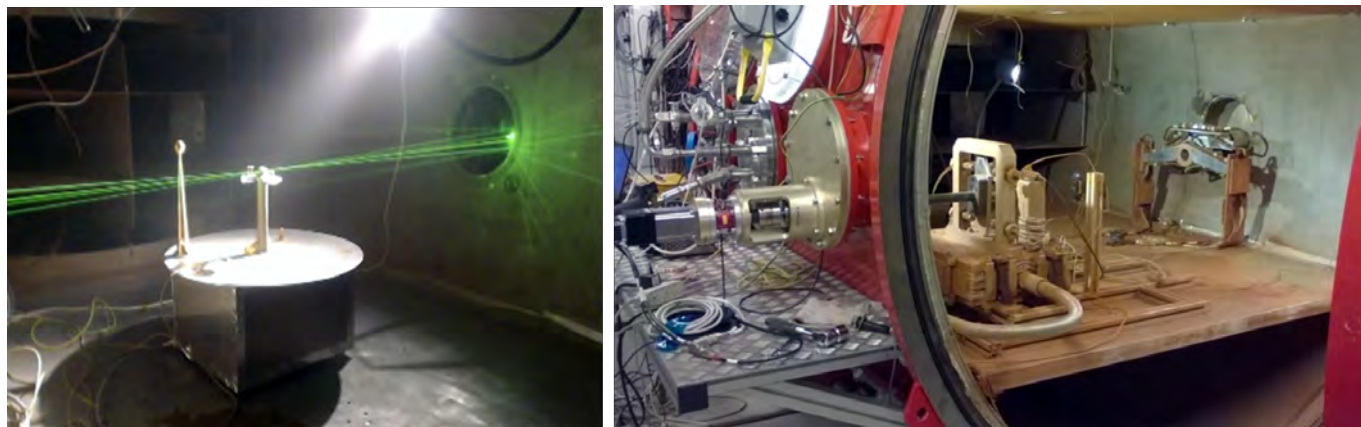
For industripartnere har vi udført over 30 forskellige testaktiviteter med forbindelse til de to ESA-missioner ExoMars2016, ExoMars2026 samt NASA-missioner som fx MER, Phoenix, Mars Curiosity- og Perseverance-roverne [fx 15]. NASA's og ESA's robotudforskning af Mars er fortsat en del af et omfattende internationalt samarbejde med det formål at foretage en bemanded mission til Mars (pt. forventes missionen udført efter 2040). Stort set alle rumrejsende nationer i verden tager del heri og samarbejder gennem en forening (ISECG 2022). Der er opstillet en fælles plan for at udvikle nødvendige teknologier og gennemføre missioner undervejs. Dette program involverer begge robotmissioner til og fra Mars (Mars sample return) og bemandede missioner til Månen. For ESA er denne

ambitiøse plan fastlagt under et program, som hedder "Terrae Novae" (eller E3P). Det består af et sæt missioner, som inkluderer robotmissioner til Mars, Månen og lav Jordorbit – alle desuden i samarbejde med NASA, CSA og JAXA. Vores laboratorie forventer (og håber på) at kunne bidrage væsentligt til "Terrae Novae"-programmet med test af Mars "Sample Return"-missionen og Månemissioner.

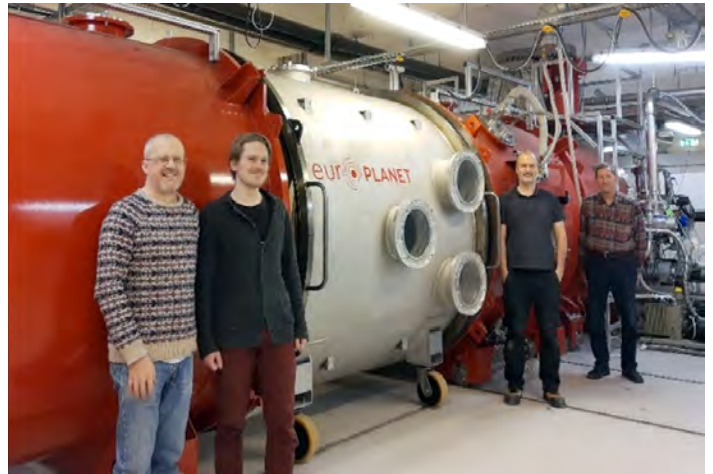


Figur 4. Vindribber dannet under Marsforhold i vores simulator (sammenlignelige med observationer fra NASA's Marsrover). Trods det lave tryk og den høje vindhastighed på Mars ligner de overraskende nok de ribber, der dannes på Jorden [14].

En væsentlig del af "Terrae Novae"-programmet er en omfattende bemanded udforskning af Månen, der involverer en rumstation og et habitat til langtidsophold på Månen. Med de nyeste vakuum- og cryoforbedringer af vores simulator forventer vi, at vi kan udføre simuleringer/tests under Måneforhold. Månen har endnu mere ekstreme fysiske forhold end fx Mars med temperaturer fra +127°C (i solen) til -173°C (skyggesiden). Selvom der ikke er en (mærkbar) atmosfære på Månen, kan (mineralske) støvpartikler godt mobiliseres og transporteres – fx ved meteornedslag og elektrostatisk levitation. Derudover kan menneske/robotskabte processer hæve og transportere støv.



Figur 5. Venstre: ExoMars 2016- (DREAMS-) sensorsystemet, til registrering af vind, temperatur, fugtighed, tryk og det elektriske felt [16]. Her vist mens det testes og kalibreres under Marsforhold med vindstrømning og støv, der gør laserstrålerne fra vores LDV synlige. Højre: Test af ExoMarsroveren (2026) med begge aksel- og hjullejesystemer. Denne test foretog firmaet MDA med det længste testprogram, som er udført i vores simulator. Det varede flere måneder og simulerede over 500.000 marsdøgn med lav temperatur, vind og støv.



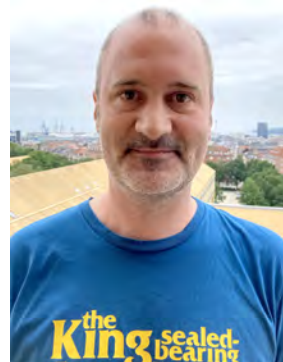
Figur 6. De nyeste forbedringer, som i løbet af 2022 er implementeret i vores simulator. Venstre: det nye pumpesystem, som gør det muligt at simulere forhold på måner, der ikke har en atmosfære (inkl. Jordens måne). Højre: en ny 2 m sektion til vores simulator, hvormed det bl.a. er muligt at lave eksperimenter på ismåner (sektionen er finansieret af Europlanet).

Litteratur

- [1] <https://phys.au.dk/en/forskning/forskningsomraader/-planetology>.
- [2] <https://www.europlanet-society.org/europlanet-2024-ri/>
- [3] C. Holstein-Rathlou m.fl. (2014) "An Environmental Wind Tunnel Facility for Testing Meteorological Sensor Systems", *American Meteorological Society*, bind **31**, side 447.
- [4] <https://www.vertigo-itn.eu/>
- [5] P.A. Jarvis m.fl. (2020) "Aeolian Remobilisation of Volcanic Ash: Outcomes of a Workshop in the Argentinian Patagonia." *Front. Earth Sci.*, 8:575184. doi: 10.3389/feart.2020.575184.
- [6] G. Portyankina m.fl. (2019) "Laboratory investigations of the physical state of CO₂ ice in a simulated Martian environment", *Icarus*, bind **322**, side 210–220,
- [7] <https://www.meteomet.org/>.
- [8] O. Alizadeh Choobari, P. Zawar-Reza og A. Sturman (2014) "The global distribution of mineral dust and its impacts on the climate system: A review", *Atmospheric Research*, bind **138**, side 152–165.
- [9] J.P. Merrison (2012) "Sand Transport, Erosion and Granular Electrification", *Aeolian Research*, bind **4**, side 1–16.
- [10] L. Ofori og R. Showstack (2010) "Desertification awareness decade", *EOS Transactions AGU*, bind **91**, side 327.
- [11] <https://aeronomie.be/>.
- [12] A. Waza m.fl. (2023) "Aeolian dust resuspension on Mars studied using a recirculating environmental wind tunnel", *Planetary and Space Science*, bind **227**, side 105638, <https://doi.org/10.1016/j.pss.2023.105638>.
- [13] K.R. Rasmussen, A. Valance og J. Merrison (2015) "Laboratory studies of aeolian sediment transport processes on planetary surfaces", *Geomorphology*, bind **244**, side 74–94.
- [14] B. Andreotti m.fl. (2021) "A lower-than-expected saltation threshold at Martian pressure and below", *PNAS*, bind **118**, side e2012386118, doi.org/10.1073/pnas.2012386118.
- [15] N. Murdoch m.fl. (2021) "Laser-Induced Breakdown Spectroscopy acoustic testing of the Mars 2020 Microphone", *Planetary and Space Science*, bind **165**, side 260–271.
- [16] G. Colombatti m.fl. (2018) "MarsTEM sensor simulations in Martian dust environment", *Measurement*, bind **122**, side 2453–458.



Jonathan P. Merrison er seniorforsker på Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet. Han har været videnskabeligt ansvarlig for planetsimulatorlaboratoriet siden år 2000.



Jens Jacob Iversen er finmekaniker på Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet og tekniker ved planetsimulatorlaboratoriet.



Keld Rømer Rasmussen er lektor emeritus på Institut for Geoscience, Aarhus Universitet. Han har arbejdet med vand- og luftstrømninger især i flyvesand, og har deltaget i opbygning/udvikling af planetsimulatorlaboratoriet.

Ekstremt vejr – i rummet

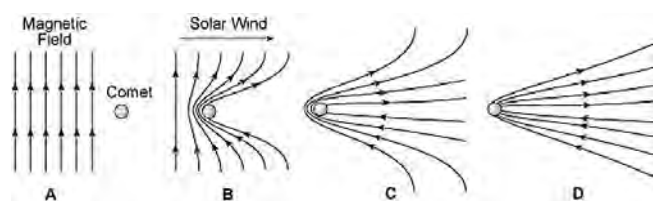
Jens Olaf Pepke Pedersen, DTU Space

Ekstremt vejr er et livsvilkår på en planet, men hvor mennesket siden tidernes morgen har været udsat for voldsomt vejr i form af storme, oversvømmelser, skybrud, tornadoer eller haglstorme, er vi nu også udsat for ekstremt “vejr” i rummet. Det skyldes vores stigende afhængighed af en teknologisk infrastruktur til bl.a. kommunikation og navigation, som er sårbar overfor energirige partikler fra Solen og kraftige variationer i Jordens magnetfelt. Vi må derfor acceptere, at vi lever med en aktiv stjerne som nabo, og ligesom den har givet mulighed for, at vi kan leve på Jorden, kan den også skabe voldsomme ødelæggelser.

Rumvejr har sin oprindelse på Solen, som konstant sender energi ud i rummet i form af stråling og partikler. Toppen af Jordens troposfære modtager således konstant omkring $1,4 \text{ kW/m}^2$ fra Solens elektromagnetiske stråling, som opvarmer Jorden, driver cirkulationer i havet og atmosfæren samt påvirker klima og vejr. Men Solen udsender også ladede partikler – hovedsageligt et plasma bestående af elektroner og protoner – i en strøm, som kaldes for solvinden, og som forstyrrer Jordens magnetfelt og er ansvarlig for fænomenet rumvejr.

Solvinden

Det var komethaler, der ledte fysikerne på sporet af solvinden. Kometerne hale peger altid væk fra Solen, uanset hvilken vej kometen bevæger sig i forhold til Solen. Den gængse forklaring var i mange år, at det var sollyset, som påvirkede halen, men i 1951 gjorde den tyske fysiker Ludwig Biermann opmærksom på, at intensiteten af sollyset var alt for svagt til at påvirke halen så meget, som observationerne viste. Biermann foreslog derfor, at der måtte findes en konstant “vind” af ladede partikler, som blev udsendt fra Solen, og han beregnede også, at deres hastighed måtte være flere hundrede km/s.

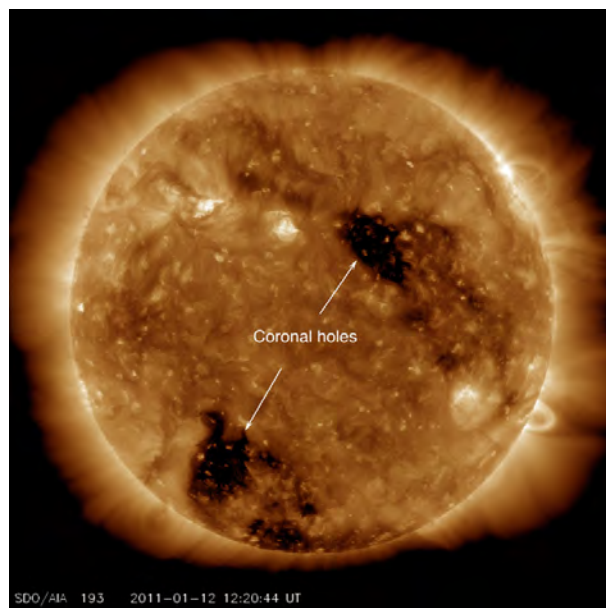


Figur 1. Hannes Alfvéns model for dannelse af komethaler. De lodrette streger i A) viser feltlinjerne i det interplanetare magnetiske felt, og de følgende figurer viser, hvordan feltet omslutter kometen, når den møder det i rummet.

Imidlertid viste det sig, at det var nødvendigt med en urimeligt stor partikeltæthed, hvis afbøjningen skulle forklares alene med impulsoverførsel via Coulombvekselvirkning mellem ladede partikler i solvinden og ioner i komethalen. I stedet foreslog den svenske fysiker Hannes Alfvén, at de ladede partikler i solvinden genererer et såkaldt “interplanetar magnetfelt”, som omslutter hele solsystemet og dermed danner heliosfæren. Som vist på figur 1 resulterer vekselvirkningen af feltet med kometen i en magnetisk hale, som får ionerne til at bevæge sig parallelt med partiklerne i solvinden, og det gør impulsoverførslen meget mere effektiv.

Eksistensen af solvinden blev efterfølgende bekræftet af NASA's Mariner 2-mission, der foretog direkte målinger af solvinden, mens rumskibet fløj mod Venus i 1962.

Det var til gengæld ikke oplagt, hvordan partiklerne undslap fra Solen, der har en undvigelseshastighed på 618 km/s, hvilket kan sammenlignes med Jordens, som er 11,2 km/s. I 1958 foreslog den amerikanske astrofysiker Eugene Parker derfor, at de termiske trykgradienter fra Solens ydre atmosfære eller “korona”, der har en temperatur på flere millioner grader, ville få dele af koronaen til at udvide sig og udsende solvinden.



Figur 2. To koronahuller fotograferet fra NASA's Solar Dynamics Observatory. Det ene hul ses lige over Solens ækvator, og det andet længere nede mod sydpolen. Billedet er optaget i UV-området ved 19,3 nm, og hullerne ser mørkere ud ved denne bølglængde, fordi der er lidt mindre af det materiale, der udsender lys (i dette tilfælde ioniseret jern). Hvis Solens rotation fører et koronahul forbi Solens centrum, kan solvinden blive rettet direkte mod Jorden.

De nøjagtige processer, der accelererer solvinden har været diskuteret lige siden, og det har vist sig, at der både er en langsom og en hurtig komponent i solvinden. De “langsomme” partikler bevæger sig med hastigheder på omkring 400 km/s og kommer især fra områder nær Solens ækvator, og deres sammensætning ligner partikler i Solens fotosfære, der er Solens ydre, lysende overflade.

De hurtige partikler har næsten dobbelt så høje hastigheder på op mod 750 km/s og kommer typisk fra områder nærmere Solens poler. De har desuden en sammensætning, der viser, at de kommer fra koronahuller. Det er områder på Solens overflade med lidt lavere temperaturer og et mindre tæt plasma, men hvor Solens magnetfelt strækker sig ud i rummet. Normalt er de magnetiske felter lukkede og går tilbage til soloverfladen, men i de åbne feltområder strækker feltet sig ud i det interplanetare rum, hvilket giver mulighed for, at partikler kan undslippe med en højere hastighed.

For nylig har billeder af Solens sydpol, som er optaget med ESA's Solar Orbiter, afsløret, at koronahullerne er fyldt med små tynde stråler, der nu bliver kaldt for picojets, som sender plasma ud i rummet. Picojets lever ikke i mere end ét minut, og de drives sandsynligvis også af kraftige variationer i det magnetiske felt, der overfører energi til partiklerne i de små jets.

I nærheden af Jorden er tætheden af elektroner og protoner i den langsomme komponent af solvinden typisk mellem 5 og 20 partikler per cm^3 , mens antallet af heliumkerner er omkring 0,25 per cm^3 . Den hurtige komponent er tyndere med en tæthed på omkring 3 partikler per cm^3 .

Soludbrud

Indimellem sker der voldsomme eksplosioner på Solen, hvor store energimængder i form af stråling og masse sendes ud i rummet i udbrud. Den elektromagnetiske stråling i de såkaldte sollysglimt ("Solar flares") udsendes over hele spektret fra radiobølger til gammastråling. Da strålingen bevæger sig med lyshastighed, når den frem til Jorden på blot 8 minutter, hvor den kan observeres som et lysglimt, der er synligt i flere minutter.



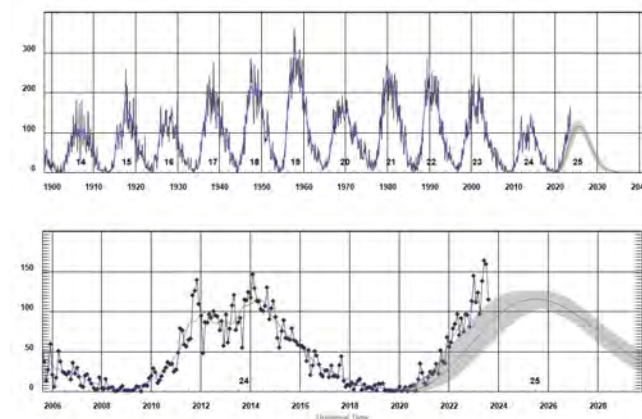
Figur 3. Den 31. august 2012 foretog Solen en koronal masseudstødning eller CME. Den havde ikke retning direkte mod Jorden, men gav alligevel anledning til nordlys et par dage senere. Billede fra Solar Dynamics Observatory.

Udkastningen af masse, hvor Solen sender store dele af sin atmosfære ud i rummet kaldes en CME (Coronal Mass Ejection eller koronal masseudkastning) og kan indeholde 10^{12} kg materiale. Nogle af partiklerne bevæger sig næsten med lyshastighed og kan ankomme få minutter efter strålingen, men størstedelen af CME'en har hastigheder på omkring 1.000 km/s og er derfor et par dage om at nå ud i Jordens afstand fra Solen. Hvis en sådan udkastning har retning mod Jorden, giver det anledning til voldsomt rumvejr, og ved Jorden kan partikeltætheden overstige 50 per cm^3 .

De fleste CME'er kommer fra aktive områder på Solens overflade, som kaldes solpletter, fordi de har en lavere temperatur end omgivelserne, og derfor forekommer mørke. Ligesom koronahuller er de også hjemsted for åbninger, hvor intense magnetiske felter dukker frem fra Solens overflade og fortsætter ud i koronaen.

De stærkeste CME'er og Solar flares er næsten altid korrelerede og opstår, når strømninger i Solens indre forvrider magnetfeltet, som det også sker i den meget mindre skala med picojets i koronahullerne. Fænomenet kan sammenlignes med et bundt snoede elastikker, der pludselig brister, og hvor den eksplosive justering af magnetfelterne frigiver store energimængder, som driver materiale ud i rummet.

Størrelsen og antallet af solpletter er derfor et udtryk for sandsynligheden for et soludbrud.



Figur 4. Solpletternes cyklus. Den øverste figur viser antallet af solpletter siden år 1900, og den nederste figur viser de sidste 25 års optællinger samt en prognose for 2019 for den indværende cyklus, som har nummer 25 i rækken. Som figurerne viser, er solaktiviteten for tiden lidt højere end forventet, og den vil sandsynligvis toppe omkring år 2025. Figur fra National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Det kraftige magnetfelt genereres af Solens rotation, og dannelsen af solpletterne hænger sammen med, at rotationsperioden ikke er den samme over hele Solens overflade, men varierer fra 25 dage ved ækvator til 34 dage ved polerne.

Antallet af solpletter har vist sig at variere med flere cyklusser. Den mest kendte er Schwabe-cyklessen, hvor antallet af solpletter stiger og falder efter cirka hvert 11. år. Solens magnetfelt ændrer også polaritet cirka hvert 11. år, og det sker ved solmaksimum i hver solcyklus, hvor Solens indre magnetiske dynamo "omorganisere" sig selv. Det tager derfor cirka 22 år, før Solens magnetfelt er tilbage i samme retning, og den 22-årige cyklus kaldes for Hale-cyklessen.

Der er fem klasser af soludbrud, hvor betegnelsen afhænger af intensiteten af udsendte røntgenstråler. De kraftigste er X-klasse-udbrud efterfulgt af M, C, B og A-klasse-udbrud, der er de svageste. Hvert klassebogstav repræsenterer en 10-dobbelt stigning i udsendt energi. Indenfor hver klasse findes en finere skala fra 1 til 9.

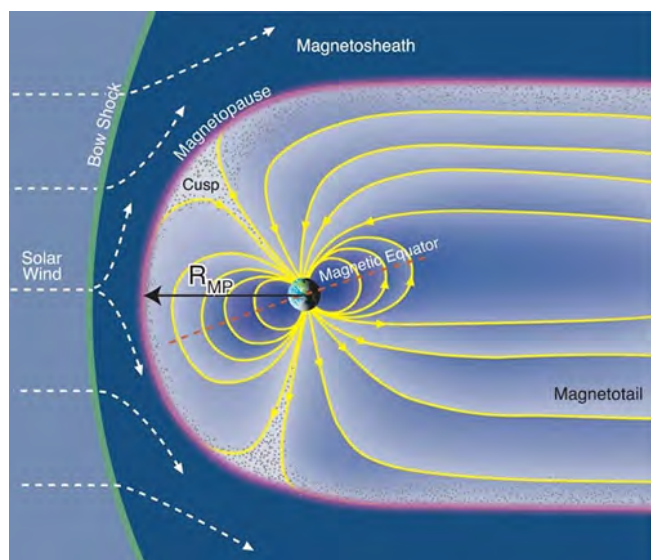
Et X-klasse-udbrud forekommer i gennemsnit omkring 10 gange om året, men nogle X-klasse-udbrud

har vist sig at være så kraftfulde, at de burde havne i en højere klasse. I efteråret 2003 målte NASA således et soludbrud under den såkaldte Halloweenstorm, der var så kraftigt, at det overbelastede målesensorerne, der registrerede et X28-udbrud, inden de blev slukket.

Jordens magnetosfære

Jordens magnetfelt ligner en dipol tæt ved planeten, men længere ude påvirkes det af vekselvirkningen med solvinden, og feltet får et meget aflangt og dråbeformet udseende. På den side, der vender mod Solen (dagsiden), bliver Jordens magnetfelt fladtrykt, mens natsiden strækker sig ud i en lang hale. Da partiklerne i solvinden er supersoniske, dannes der en chokbølge på dagsiden, som bremser partiklerne op.

Grænsen mellem solvinden og Jordens magnetfelt kaldes magnetopausen og er i konstant bevægelse med den skiftende solvind. Det komplicerede samspil mellem solvinden og Jordens magnetfelt resulterer i en kompleks strøm af plasma inde i magnetosfæren. Figur 5 illustrerer, hvordan ladede partikler, der er vist som små sorte prikker, følger magnetfeltlinjerne og løber langs med magnetospausen eller strømmer ind i et område tæt ved Jordens poler (markeret med "Cusp").



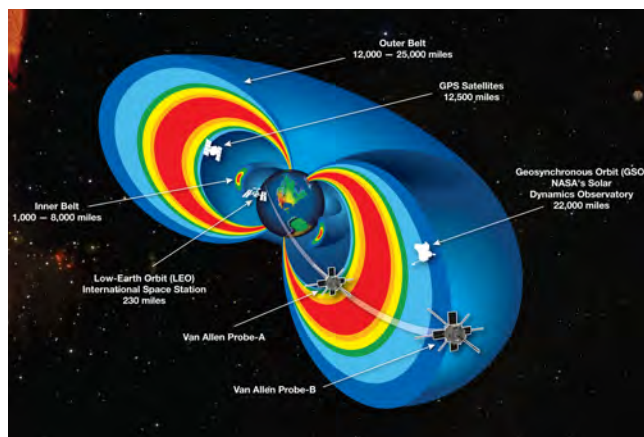
Figur 5. Jordens magnetosfære. Solvindens tryk på Jordens magnetfelt komprimerer feltet på Jordens dagside og strækker feltet til en lang hale på natsiden. Afstanden ud til magnetospausen (R_{MP}) er omkring 10 jordradier fra Jordens centrum på dagsiden, mens den på natsiden kan nå ud på hundredvis af jordradier.

Figur 6 viser, hvordan ladede partikler, som er indfanget fra solvinden, akkumuleres omkring Jorden i to ringformede bælter, som er opkaldt efter den amerikanske rumforsker James Van Allen. Det inderste bælte strækker sig fra omkring 1.000 til 12.000 km over Jordens ækvator, mens det ydre bælte strækker sig fra omkring 13.000 til 60.000 km og derfor overlapper med de geostationære baner, som mange kommunikationssatellitter benytter.

De indfangede partikler bevæger sig typisk frem og tilbage mellem Jordens polare områder, fordi den øgede tæthed af de magnetiske feltlinjer ved polerne virker som et magnetisk spejl, der reflekterer de ladede partikler. På

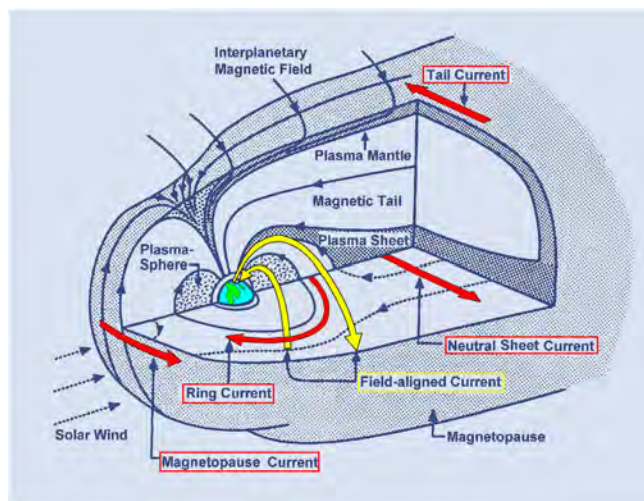
samme tid driver partiklerne også i en cirkelbevægelse rundt om Jorden. De positive ioner driver mod vest, og de negative elektroner driver mod øst, hvilket giver anledning til en elektrisk "ringstrøm" (ring current) omkring Jorden.

Ringstrømmen giver også anledning til et magnetfelt, hvis retning peger i modsat retning af Jordens magnetfelt (målt ved overfladen), og som derfor svækker styrken af Jordens magnetfelt ved overfladen. En intensivering af ringstrømmen, som fx skyldes et soludbrud, vil derfor vise sig ved et fald i den magnetiske feltstyrke ved jordoverfladen, hvor styrken af strømmen kan kategoriseres med et såkaldt Dst- ("Disturbance storm time")-index.



Figur 6. Udskåret model af Van Allen-bælterne omkring Jorden. Plasmabælterne er to torusformede områder, der omkranser Jorden, hvor ladede partikler, for det meste elektroner og ioner, indfanges af Jordens magnetfelt. De to NASA-satellitter, der flyver igennem bælterne, var aktive fra 2012 til 2019 med at undersøge, hvordan bælterne varierer med solvinden. Grafik: NASA.

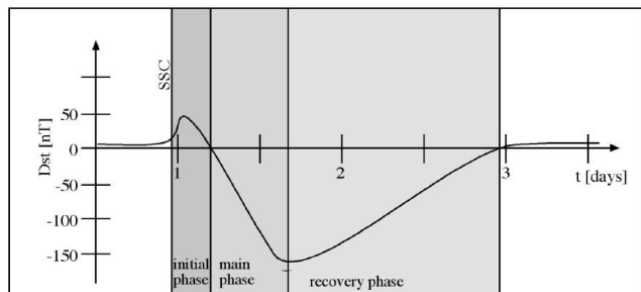
Som figur 7 viser, er der mange flere strømme i magnetosfæren, herunder de såkaldte Birkelandstrømme (på figuren benævnt "Field-aligned Current"), som er opkaldt efter den norske fysiker Kristian Birkeland. De spiller en stor rolle i aurora og rumvejr, fordi de kobler magnetosfæren til den øverste del af Jordens atmosfære i polarområderne.



Figur 7. Nogle af de dominerende partikelstrømme i magnetosfæren.

Storme

Det interplanetare magnetfelt fra solvinden forbinder sig med Jordens magnetfelt, og hvis de to felter peger i samme retning, vil de to frastøde hinanden og være tilbøjelig til at afbøje partiklerne, så de passerer forbi Jorden. Hvis magnetfelterne er modsatrettede, dvs. hvis solvindens magnetfelt peger mod syd, så bryder det Jordens magnetfelt op, og de ladede partikler kan strømme ind i magnetosfæren.



Figur 8. En geomagnetisk storms faser: En brat stigning i Dst, en begyndelsesfase med et gradvist fald og en hovedfase, hvor ændringen i Dst topper, hvorefter stormen aftager igen.

I de tilfælde kan det føre til en solstorm eller en geomagnetisk storm, og det har vist sig, at de har en typisk udvikling, der er karakteriseret ved fire faser. Den første fase er et "Sudden Storm Commencement", som viser sig ved en pludselig forøget horisontal komponent af magnetfeldtsstyrken og en ændring i Dst (figur 8). Herefter kommer der en såkaldt "Initial phase", hvor den forhøjede magnetfeldtsstyrke forbliver relativt uændret eller langsomt aftager. Herefter sker der et kraftigt fald i Dst, som kendetegner hovedfasen af stormen, og som kan vare adskillige timer. Sluttelig begynder stormen at aftage igen ("recovery phase"), men det kan tage flere dage, før forholdene bliver normale.

Et andet mål for intensiteten er det geomagnetiske K_p -indeks, der er et mål for forstyrrelserne ved mellem-breddegraderne. K_p -indekset er en logaritmisk skala, der går fra 0 (ingen aktivitet) til 9 (kraftig magnetisk storm).

Et mindre og mere almindeligt fænomen i magnetosfæren er en substorm, som hedder sådan, fordi man engang mente, at en storm var sammensat af et antal substorme. Sammenhængen mellem storme og substorme er dog uklar, og man betragter de to fænomener som forskellige, men forbundne koncepter.

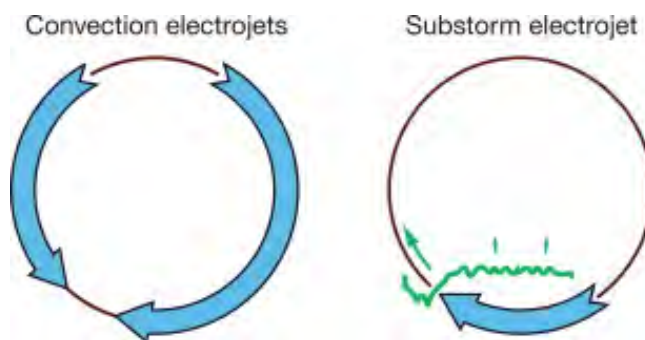
Mens de geomagnetiske storme ofte stammer fra en CME, som rammer Jorden med et sydvendt interplanetar magnetfelt, så menes substorme at starte med kortvarig indflydelse (som kan være på blot fem minutter) fra en solvind, som er af normal styrke eller højere.

Substorme adskiller sig fra storme derved, at de optræder meget hyppigt. Ved solmaksimum optræder stormene et par gange om måneden og ved solminimum et par gange om året, mens substorme ofte kommer flere gange om dagen – til gengæld varer de som regel kun en times tid. Og hvor stormene viser sig i store dele af magnetosfæren og med en intensivering

af ringstrømmen, så holder substormene generelt til på natsiden og mest i polarområderne.

Det er også her, at mange af de ladede partikler fra solvinden samler sig i et ringformet område, der kaldes auroraovalen. Ladningerne giver anledning til et dominerende strømsystem, som kaldes aurora-elektrojets, og som kan have en strømstyrke på flere millioner ampere. De kan forstås som Hall-strømme, der er dannet som et resultat af nedadgående Birkelandstrømme.

Den østgående elektrojet strømmer typisk gennem polaregnenes eftermiddagssektor, hvor den ender i området før midnat. Herfra strømmer den delvist op langs magnetfeltlinjerne, og delvist roterer den nordpå, hvor den forbinder sig med den vestgående elektrojet. Den vestgående elektrojet strømmer gennem morgen- og midnatssektorerne og strækker sig typisk ind i aften-sektoren langs auroraovalen, hvor den også fortsætter opad som en del af Birkelandstrømmen.



Figur 9. Aurora-elektrojets set ovenfra over det nordlige polarområde. Panelet til venstre viser de normale elektrojets, mens den grønne linje og pilene på højre panel viser, hvordan den vestgående jet øges og udvider sig under en substorm.

Under en substorm sker der en kraftig stigning i den vestgående elektrojet. Substormene er også forbundet med øget auroraaktivitet, som kan måles med et "Auroral Electrojet Index", AE. Det er et mål for styrken i to dominerende strømsystemer i den såkaldte auroraoval over polaregnene, og som består af henholdsvis en vestgående og en østgående strøm.

De elektriske strømme giver også anledning til plasmabølger i mange forskellige frekvensområder, lige fra millihertz til adskillige megahertz. Typisk kan de højfrekvente bølger kun observeres i selve plasmaet, mens de lavfrekvente bølger genererer hurtige udsving i det magnetiske felt ved overfladen. Disse geomagnetiske pulseringer har været kendt i omkring hundrede år, og kan karakteriseres med dominerende frekvenser.

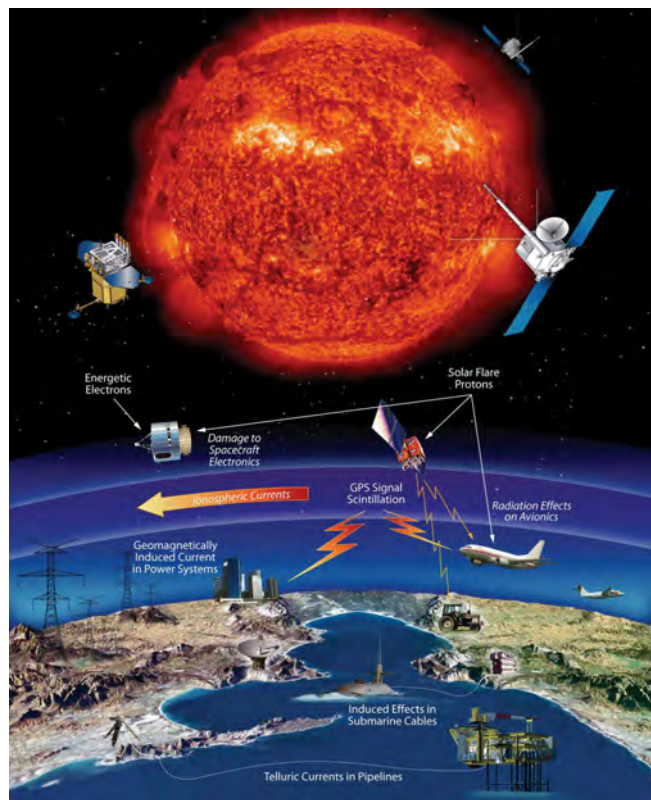
Effekter af solstorme

Rumvejr påvirker mange teknologiske systemer både i rummet og på Jorden. Kraftige storme kan sætte satellitter ud af drift i en periode eller helt ødelægge dem, det kan få radarsystemer til at sætte ud, ligesom ændringerne i magnetfeltet kan inducere en strøm i højspændingsledninger, som forårsager en overspænding, der kan ødelægge transformatorstationer.

Under den førnævnte Halloweenstorm i 2003 blev signalerne fra navigationssatellitter upålidelige, kommunikationssystemer blev forstyrret, og to japanske satellitter gik helt tabt. I polarområdet måtte flyruter

derfor omlægges eller aflyses med store forsinkelser til følge, og i Sydsverige blev flere transformatorstationer overbelastet, så 50.000 mennesker var uden strøm. I USA blev enkelte store transformatorer også beskadiget, hvilket forårsagede strømsvigt, som resulterede i skader for 30 milliarder kr.

I februar sidste år ødelagde en solstorm 40 helt nye Starlink-satellitter, som SpaceX netop havde sendt i kredsløb. Satellitterne var i første omgang anbragt i en lav bane på mellem 210 og 240 km over overfladen, hvorfra det var meningen, at de skulle sendes op i deres normale baner på 550 km. De mange energirige partikler i solstormen opvarmede imidlertid den øverste del af atmosfæren så meget, at den udvidede sig og øgede friktionen med satellitterne med op mod 50%. Det skubbede satellitterne så meget ud af deres bane, at de hurtigt faldt længere ned i atmosfæren, hvor de brændte op.



Figur 10. Teknologisk infrastruktur, som påvirkes af rumvejr omfatter bl.a. satellitter, fly og elnettet. Det gør det moderne samfund særlig følsomt over for solstorme. Grafik: NASA.

Overvågning af rumvejr

Rumvejret overvåges konstant både fra satellitter, som holder øje med soludbrud og måler solvinden, samt fra målestationer på Jorden, der måler variationer i magnetfeltet. Som nævnt forstyrrer rumvejr signaler fra navigationssatellitterne, men omvendt kan denne forstyrrelse også bruges til at måle styrken af rumvejr.

I et projekt for Forsvaret (Space Weather forecasting for Arctic Defence Operations – “SWADO”) undersøger DTU Space sammen med to private firmaer, Elcanic og RadioLab, om det er muligt at etablere en operationel rumvejrstjeneste for Arktis. Rumvejr er også en udfordring for militære aktiviteter og operationer – især i

Arktis – hvor det er vigtigt at vide, om man kan stole på GPS-signalerne, når man navigerer, og om man kan forvente udfald i kommunikationen eller navigationen.

Projektet udnytter, at DTU Space i forvejen har et net af 18 magnetometerstationer langs Grønlands kyst, og i projektet er syv stationer i denne infrastruktur blevet opgraderet og udvidet med særlige satellitmodtagere, som er designet til at overvåge forstyrrelser af navigationssignalerne, når de går gennem ionosfæren.

De syv målestationer står i Ittoqqortoormiit, Kulusuk, Narsarsuaq/Qaqortoq, Kangerlussuaq, Upernavik, Pituffik/Thule og Station Nord. Station Nord er Forsvarets nordligste base, og ligger i det nordøstlige hjørne af Grønland. Et lille team fra DTU Space har de sidste to somre arbejdet med at opgradere udstyret og etablere en direkte satellitforbindelse, så data løbende kan transmitteres til DTU.



Figur 11. Magnetometer på Station Nord. Apparatet er et såkaldt fluxgate magnetometer, som måler magnetfeltet i tre retninger, og er optimeret til at være stabilt over lange tidsrum. Under opsætningen er sensorakserne blevet orienteret langs lokal magnetisk nord, lokal magnetisk øst og lodret nedad.



Figur 12. På vej med udstyr til magnetometerhytten, som er den venstre af de små bygninger. Hytten er placeret i god afstand af mulige forstyrrelser fra selve basen.

Målestationerne giver et øjebliksbillede af, hvordan rumvejret over Grønland ser ud, og det vil i fremtiden kunne indgå i et system, hvor man kan producere regionale forudsigelser for udviklingen af rumvejret, dvs. en slags vejrudsigt for rumvejret. Et vigtigt element

i projektet er at undersøge, om målinger på signalerne fra navigationssatellitter kan bruges sammen med de geomagnetiske observationer og i kombination give øget viden om det aktuelle rumvejr. De to typer målinger observerer forskellige aspekter af rumvejret, og det er med til at gøre systemet unikt, da der ikke er andre steder i verden, hvor begge typer måleudstyr er opstillet på samme lokationer.



Figur 13. Det seneste hold fra DTU Space lige efter ankomsten til Station Nord med en af Forsvarets transportmaskiner. Fra venstre er det Niels Andersen, Flemming Hansen og forfatteren.

I takt med at vores samfund bliver mere og mere afhængigt af en infrastruktur i rummet, og hvor satellit-teknologier finder vej ind i nærmest alle dele af vores hverdag, er vi også blevet langt mere sårbare over for

rumvejr, end vi var for 150 år siden. I begyndelsen af september 1859 observerede den britiske astronom Richard Carrington et intenst lysglimt fra en solplet på Solen. Det var en Solar flare og dermed et forvarsel om den geomagnetiske storm, som ramte Jorden 18 timer senere. Den skabte intense auroraer, som kunne ses helt ned til Ækvator. Telegrafister i Europa og Nordamerika fik elektriske stød eller oplevede, at de kunne blive ved med at telegrafere, selvom de havde koblet batterierne fra telegrafledningerne.

I dag ville en sådan storm risikere at skabe kaos verden over med nedbrud i elforsyningen og med satellitsystemer, der måtte lukkes ned i længere tid eller måske slet ville ikke overleve stormen. Desværre ved vi ikke, hvor ofte Solen har et udbrud af Carrington-størrelse. Muligvis har der siden da været tilsvarende udbrud, men som heldigvis ikke har haft retning direkte mod Jorden. Der er således god grund til at skaffe sig mere viden om Solens påvirkning af Jorden.



Jens Olaf Pepke Pedersen er ph.d., seniorforsker ved DTU Space, og redaktør af Kvant.

Huginn-missionen



I forbindelse med udgivelsen af frimærket med Huginn-missionen skriver kunstneren Anker Eli Petersen på det færøske postvæsens hjemmeside, at den danske etnograf og sprogforsker William Thalbitzer i begyndelsen af 1900-tallet nedskrev et traditionelt grønlandsk digt, som beskriver en slags rituel samtale mellem shamanen Akvkos og hans hjælpeånd Qaartuluk, som er en ravn. I digtet har

Qaartuluk præcis samme funktion som Huginn – den flyver ud i det kaotiske univers og gengiver, hvad den ser og oplever til shamanen hjemme på bopladsen.

Stregtegningen i venstre side af frimærkearket forestiller scenen, hvor den grønlandske shaman kommunikerer med ravneånden Qaartuluk, mens illustrationen på arkets højre side afbilder Odin i færd med at modtage Huginn hjemme i Asgård.

Begge ravne har et ornamentalt øje på kroppen, som symboliserer, at de er "shamanens øje" og ikke almindelige ravne.

Den store ravn på frimærket har dog neutral ornamentik, så den kan repræsentere både den norrøne og den inuitiske kulturkreds.

Anker Eli Petersen udtaler i forbindelse med udgivelsen, at "vi har ikke nogen astronauter på Færøerne og Grønland, men masser af ravne – og historier om den mytiske fugl. Fællesudgivelsen er en hilsen til vores astronaut via rigsfællesskabet med Danmark. Vi er stolte af Andreas Mogensen og ønsker ham en god rumfærd og held og lykke med arbejdet."

Poppers falsifikationskriterium – og Favrhholdts forståelse heraf

Claus Münchow

Kvant 2022 nr. 4 bragte en artikel *Hvad er videnskab?* af Jens Olaf Pepke Pedersen. Spørgsmålet er meget bredt og besvares i overensstemmelse hermed. I forbindelse med *naturvidenskaben* bliver Poppers falsifikationstest fremhævet som centralt kriterium. Som fysiklæreren i et toårigt gymnasieforsøg, som integrerede fagene filosofi og fysik, fik jeg indsigt i vanskeligheden ved at formulere denne test meningsfuldt. Nærlæst er den gængse formulering decideret fejlagtig, og den dukker op både i gymnasielærebøger og i mere videnskabelige tekster.

Der kan derfor være grund til at analysere formuleringerne af Poppers falsifikationstest og give eksempler på korrekt anvendelse – og nødvendigvis komme ind på, hvordan den bliver mishandlet af David Favrholdt.

Behandlingen sker i en elementær fremstilling uden at forsøge at placere Popper i den større videnskabsfilosofiske sammenhæng.

Poppers udgangspunkt er, at det ikke er muligt at bekræfte en videnskabelig teori. Nok så mange overensstemmelser mellem teoriens udsagn og eksperimentelle resultater kan ikke udelukke, at der kan dukke et fænomen op, som strider mod teorien. En videnskabelig teori kan ikke verificeres.

Men man kan forsøge at falsificere den, dvs. vise, at den ikke gælder. Dertil kræves at det er muligt af teorien at udlede påstande, som kan gøres til genstand for en eksperimentel afprøvning, og om hvilke man ikke på forhånd kan vide, om de så vil blive bekræftet. Kan sådanne påstande udledes, så er det ifølge Popper en videnskabelig teori. Og så skal den stå sin prøve. Det kritiske arbejde med at kvalificere en videnskabelig teori er så igen og igen at prøve at falsificere den. Jo flere angreb, den overlever, desto større status får den.

Men hvis et eksperimentelt resultat faktisk modsiger påstanden, så er teorien falsificeret og værdiløs – med mindre der kan lappes på den med en hjælpehypotese, se senere.

Hvis ikke der kan udledes påstande, der kan efterprøves eksperimentelt med mulighed for falsifikation, så kan den ikke få prædikatet “videnskabelig”.

Som eksempler anførte Popper marxismen og psykoanalysen som selvimmuniserende imod falsifikationer. Marxismen ved at være lukket og kritikafvisende, hvorfor den søgte efter verifikationer på teorien i stedet for at etablere kriterier for dens falsifikation, og psykoanalysen ved at være alt rummende, således at ethvert fænomen kunne ses som en verifikation.

Ikke-videnskabelige teorier kan som udgangspunkt ikke falsificeres. Men de kan være selvverificerende.

Så er vi fremme ved de uheldige udlægninger af Poppers falsifikationstest.

Følgende “ræsonnement” kan lede på afveje: “Når en forklaringsramme ikke er videnskab hvis den *ikke* kan falsificeres, så må den være videnskab, når den *kan* falsificeres.”

Den gængse formulering lyder i hvert fald: “En teori må kunne falsificeres for at kaldes videnskabelig” – i forskellige varianter.

Omend Poppers kriterium givetvis som regel forstås rigtigt, så er enhver tolkning af denne sproglige formu-

lering, at videnskab skal kunne falsificeres. Og det er jo ikke så godt.



Figur 1. Karl Popper (1902–1994).

Wikipedia slås med formuleringen:

“... en videnskabelig teori er formuleret således, at den kan modsiges af nogle mulige iagttagelser.”

Her står faktisk, at den kan modbevises, idet “mulige” bør betyde, at iagttagelserne skal kunne findes. Men det er åbenbart ikke meningen, for skribenten er ikke tilfreds med første forsøg, så han/hun prøver igen:

“Den skal med andre ord være en dristig hypotese, der løber den risiko at blive modbevist”.

“Risiko” er bedre end “mulige”.

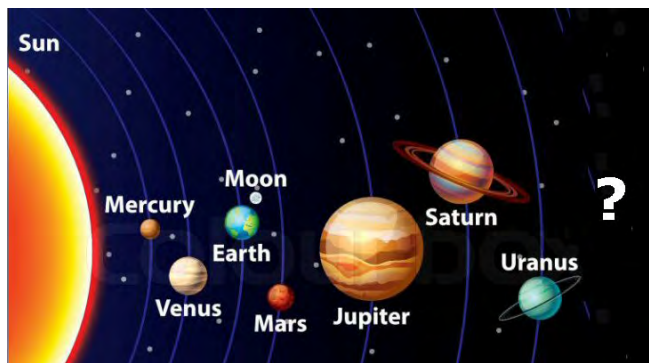
En tilsyneladende rummeligere formulering er at sige, at “en videnskabelig teori skal være falsificerbar” i stedet for at sige, at “den skal kunne falsificeres”. Men aben flytter med. I overensstemmelse med almindelig sprogbrug betyder falsificerbar at den kan falsificeres. (Brugbar = kan bruges, hørbar = kan høres, bærbar = kan bæres, vendbar = kan vendes ... falsificerbar = kan falsificeres).

En teori, der kan falsificeres eller er falsificerbar, er værdiløs.

Med mindre: Opstår der en falsifikation i en ellers tillidsvækkende teori, vil man ofte søge en hjælpehypotese, en antagelse uden andet grundlag end at den vil kunne redde teorien.

Neptun som hjælpehypotese

Planetbevægelserne var fint beskrevet af Newtons love. Dog passede beskrivelsen ikke helt på den yderste planet, Uranus. Kunne Newtons love dermed falsificeres? Ja, hvis ikke de stod til at redde. Men en hjælpehypotese kunne opstilles, nemlig at der eksisterede endnu en planet. Så skulle den teori bestå Poppers prøve. Om påstanden: "Der findes endnu en planet", kunne man ikke på forhånd vide, om den kunne bekræftes.



Figur 2. Variationer i Uranus' bane fik astronomer til at konkludere, at der måtte være en ukendt planet i solsystemet, der befandt sig længere væk end Uranus, og den franske astronom og matematiker Urbain le Verrier kunne derfor forudsige dens position på himlen. Neptun blev opdaget den 23. september 1846 af den tyske astronom Johann Galle.

Men Newtons love kunne tilmed bruges til at beregne, hvor der skulle søges efter den. Man søgte - og fandt Neptun! Newtons love fik dermed en yderligere solid placering i fysikken.

Var denne planet ikke, hvor den skulle være, og kunne andre hjælpehypoteser ikke opstilles, så var Newtons gravitations- og dynamikteori faldet i dens daværende form.

Poppers kriterium kan siges rigtigt ...

Fx af Dalai Lama [1]. Citatet placerer samtidigt Poppers kriterium i en større sammenhæng, meget større end en videnskabsfilosofisk:

En anden af forskellene mellem videnskab og buddhisme, således som jeg ser det, ligger i det, der udgør en gyldig hypotese. Også her viser Poppers fremstilling af rækkevidden af et strengt videnskabeligt spørgsmål en stor indsigt. Det er Poppers tese om falsificering, som fastslår, at enhver videnskabelig teori skal indeholde de betingelser, på hvilke den eventuelt kan afkræftes. Teorien om, at Gud skabte verden, kan for eksempel aldrig være videnskabelig, fordi den ikke kan indeholde en forklaring på de betingelser, under hvilke den [evt.! (min tilføjelse)] kan falsificeres. Hvis man tager dette kriterium

alvorligt, befinder mange spørgsmål med relation til vores menneskelige eksistens, for eksempel etik, æstetik og spiritualitet, sig uden for videnskabens domæne. Undersøgelsesdomænet inden for buddhisme er derimod ikke begrænset til det objektive. Det omfatter også den subjektive verden af erfaringer samt spørgsmålet om værdier. Videnskab handler med andre ord om empiriske kendsgerninger, men ikke om metafysik og etik, mens kritisk undersøgelse af alle tre områder er væsentlig i buddhisme.

Dalai Lama kommer fra en helt anden kultur og er omhyggelig, eftertænksom og dyb i sin metode og respekterende, generøs og åben i sin form. (Han var blevet gode venner med Popper i 70'erne.)

... men det kan også mishandles

Det oplever man desværre i David Favrholtts *Filosoffen Niels Bohr* [2]. Som en af de førende universitetsfilosoffer på hans tid bør hans eklatante mishandling af Poppers kriterium behandles. Den har nemlig forbigået anmeldernes opmærksomhed, så det kan se ud som om, at Poppers kriterium stadig behøver afklaring. Nærværende tekst vil derfor lade Favrholtts behandling fylde meget og dermed råde bod på denne forsømmelse. Samtidigt giver det fine eksempler på videnskabens metode og funktion.

Efter at have præsenteret Bohrs model for brintatomet fra 1913 og de modificeringer de følgende år bragte med sig, så søger Favrholt tilsyneladende at verificere modellen. Her inddrager han så Popper, s. 89–90:

Men selv om Bohrs oprindelige atommodel blev modificeret og tømt for sit anskuelige indhold, så er hans atomteori fra 1913, som den er formuleret i de tre postulater, stadig uantastet. Ingen erfaring, intet eksperiment har kunnet drage dem i tvivl. Et af de store hits i vor tids videnskabsteori er Karl Poppers falsifikationsprincip, ifølge hvilket det må gælde om enhver videnskabelig teori, at man kan angive eller tænke sig betingelser, der kunne falsificere den. Skulle man tænke i disse baner, så måtte en eventuel mulig falsifikation af Bohrs postulater bestå i, at man forestillede sig, at energien ikke var kvantiseret, at der ikke var stationære tilstande eller diskontinuerte overgange imellem dem. Hvis dette var tilfældet, ville verden, som vi kender den, slet ikke eksistere. Alt ville være plasma, der ville ikke findes stabile ting som planeter, træer, huse, dyr, mennesker. Da denne forestilling næppe ville kunne accepteres som en mulig falsifikationsinstans af Popper og hans tilhængere, kan disse selvfølgelig hævde, at Bohrs postulater slet ikke er videnskab. For mig at se er det snarere

Poppers forestillinger om videnskab, som har behov for revision.

Med konjunktiven “kunne” undgår Favrholdt at udtrykke, at en videnskabelig teori kan falsificeres. Det er den rent sproglige udfordring, jeg startede med at analysere. Men indholdsmæssigt katastrofalt er det, at han til “*man kan angive eller tænke sig betingelser*” undlader at føje “*udledt af teorien*”. Og denne helt banalt selvfølgelige forudsætning er han åbenbart slet ikke opmærksom på, for han angiver falsifikationsmuligheden “... *at man forestillede sig, at energien ikke var kvantiseret*”. Kvantisering af energien er kernen i Bohrs atommodel. Så det er slet ikke den, han beskæftiger sig med.

Bohrs atommodel mødte et interessant lille bump straks fra start. En udmærket falsifikationstest er modellens forudsigelse af farverne, dvs. bølgelængderne, i brintspektret. Der blev påvist og publiceret en lille forskel på de af teorien udledte og de eksperimentelt målte bølgelængder, og det så ud som om, at teorien kunne falsificeres. Det kunne Bohr imidlertid hurtigt bringe på plads. Han havde i formlerne behandlet elektronen, som bevægede den sig omkring et uendeligt tungt centrum. Brintkernen er meget tungere end elektronen, men ikke uendeligt meget. En elementær korrektion, som tog højde for, at der er tale om et tolegemeproblem, bragte igen overensstemmelse. Så kom det på plads.

Popper og Kuhn, to store hits

Foruden Popper opfatter Favrholdt også Kuhn som et af de store hits i vor tids videnskabsteori og mener, de har fået en status, de ikke fortjener. På siderne 98 – 105 nedgør Favrholdt fuldstændigt Kuhns indsigt. Det hele bygger på misforståelser, forstår man.

Hans forklaring på Poppers og Kuhns popularitet er, at deres teorier er letforståelige. I forbindelse med Kuhns paradigebeskrivelse skriver han på s. 105:

“Sådan en forenkling falder folk for, blandt andre alle de amatører, der underviser i videnskabsteori på universiteterne i den vestlige verden, herunder Danmark. De fleste ved meget lidt om naturvidenskab...”.

Hvad det angår, er han ikke på hjemmebane. Der er flere store og små misforståelser, hvad angår fysikken.

Når det imidlertid drejer sig om paradigmeskift, er det alvorligt, for det slører naturligvis forståelsen af, at der er tale om radikale brud, når man ikke har loddet dybden i det nye. Det er tilfældet for Favrholdt i forbindelse med de to seneste markante paradigmeskift.

I renæssancen, hvor Newtons mekanik afløser Aristoteles', inddrager han gamle aristoteliske principper, når han skal forklare Newtons behandling af det skrå kast. Det sker på s. 52 i [2] og tydeligere i [3] s. 11-12.

Ved kvantefysikkens afløsning af den klassiske fysik bagatelliserer Favrholdt på s. 105, at der er tale om et paradigmeskifte med den begrundelse, at klassisk fysik fremkommer som grænsetilfælde i kvantemekanikken, når dimensionerne fjerner sig fra det atomare, Bohrs korrespondensprincip.



Figur 3. Thomas Kuhn (1922–1996).

Men netop kvantemekanikkens udfordring fremhæver Bohr som et radikalt nyt vilkår for vores forhold til naturen [4] s. 37:

Vi stilles her overfor **et erkendelsesproblem, der er helt nyt** inden for naturvidenskaben, hvor al beskrivelse af erfaringer hidtil har hvilet på ... at det er muligt skarpt at skelne mellem objekternes opførsel og de midler, hvormed de kan iagttages; en forudsætning, der ... tillige danner **hele grundlaget for den klassiske fysik, der netop gennem relativitetsteorien har fundet så vidunderlig en afrunding.**

Så snart vi imidlertid har at gøre med fænomener som de individuelle atomprocesser, der efter deres art er væsentligt betinget af vekselvirkningen mellem de pågældende objekter og de for forsøgsbetingelsernes fastlæggelse nødvendige måleinstrumenter, **tvinges vi derfor til nærmere at undersøge karakteren af de oplysninger om objekterne, som der overhovedet kan blive tale om at vinde, og hvorledes disse oplysninger lader sig sammenfatte.** [Fedmet af mig]

Favrholdt vil fremstille Bohr som filosof, men hæfter sig ikke ved, at Bohr skriver “*et erkendelsesproblem, der er helt nyt*”. Det er netop her, Bohrs unikke filosofi træder frem. Det uddybes meget i [5].

Fra Arrogancens overflod

I denne sin sidste bog søger Favrholdt desværre at promovere sig selv ved at nedgøre alt og alle.

På s. 174 ff. beskriver han kollegaers synspunkter overfladisk og sporadisk, hvorefter han konkluderer at de er forbløffende primitive: (s. 182).

Den tænksomme læser, som har fulgt mig så langt i dette afsnit, vil måske her tvivle på, at min fremstilling af alt dette kan være rigtig. Hvordan skulle det være muligt, at en række verdenskendte filosoffer

som for eksempel Moritz Schlick, Rudolf Carnap, Otto Neurath, Alfred Ayer og til en vis grad Bertrand Russell og her i Skandinavien begavede filosoffer som Arne Ness, Ingemar Hedenius, Georg Henrik von Wright og Jørgen Jørgensen kunne gå ind for og markedsføre en opfattelse så primitiv, at den uden videre kan tilbagevises på få sider? Svaret er, at selv voksne mennesker, for eksempel 19-årige, der begynder på et filosofistudium på et universitet, let bliver indoktrinerede uden at opdage det. Og her er der nogle sociale mekanismer på færde.

“Svaret er ...fx 19-årige”. De kritisable sociale mekanismer, han herefter nævner om 19-årige, er autoritetstro og hensynet til at bestå eksamen hos den pågældende professor. Har de nævnte kollegaer ladet sig varigt indoktrinere som 19-årige?

Men han har åbenbart også oplevet det forbløffende, at nogle af hans egne studerende kunne finde på at være uenig med ham. Så er det også galt: “Der findes fra naturens side personer, der har et stærkt behov for at dominere – og på et filosofisk institut stræbe efter at være førerhund for de andre studerende”.

Det er en analyse, som vil noget ... Favrholt var en nestor inden for dansk filosofi, men her skriver han ud fra arrogancens overflod.

Favrholt's bog fra 2009 kom til at fylde meget i denne tekst. Jeg læste bogen i sin tid som fysiklærer og tænkte med nogen ærefrygt, at jeg skulle møde et interessant fag, filosofien. Favrholt's bog ramte mig derfor som et

chok.

Jeg tænkte at filosoffer ville redde æren og korrigere. Men intet skete og tiden gik. I forbindelse med nærværende artikel fandt jeg så anledning til at lappe efter forsømmelserne – på filosofiens vegne. Og på forståelsen af Popper i den udstrækning Favrholt er blevet læst ukritisk.

Litteratur

- [1] Dalai Lama (2005) “Universet i et enkelt atom”, Aschehoug, side 44.
- [2] D. Favrholt (2009) “Filosoffen Niels Bohr”, Informations Forlag.
- [3] D. Favrholt (1994) “Fysik, bevidsthed, liv”, Odense Universitetsforlag.
- [4] N. Bohr (1938) “Atomfysik og menneskelig erkendelse”, Schultz, 1957, side 37.
- [5] C. Münchow (2023) “Arven efter Niels Bohr – Det vigtigste mangler”, BoD



Claus Münchow er tidligere lærer på Sønderborg Statsskole i fysik og matematik. Sluttede med et toårigt forløb i samarbejde mellem filosofi og fysik.

Modstand – breddeopgave 102 og 103 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 løsninger og kommentar til opgaverne fra forrige nummer samt to nye opgaver. Opgaverne i sidste nummer af Kvant var disse to breddeopgaver (nr. 102 og 103 her i Kvant):

Breddeopgave 102 og 103. Modstand

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

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

Løsninger

I afstanden r fra centrum er ladningsstrømtætheden i metalkuglen:

$$j(r) = -\sigma \frac{dV(r)}{dr}, \quad (1)$$

hvor σ er metallens elektriske ledningsevne, og $V(r)$ er potentialet i afstanden r . Da der ikke finder ladningsophobning sted i metalkuglen, er ladningsstrømmen I den

samme ud gennem hver kugleskal:

$$I = 4\pi r^2 j(r) = -4\pi r^2 \sigma \frac{dV(r)}{dr}. \quad (2)$$

Kalder vi radierne af henholdsvis indersiden og ydersiden af kuglen R_1 og R_2 , fås heraf:

$$\frac{-I}{4\pi\sigma} \int_{R_1}^{R_2} \frac{dr}{r^2} = \int_{R_1}^{R_2} dV(r) = V(R_2) - V(R_1). \quad (3)$$

Med modstanden M_I for en elektrisk strøm fra indersiden til ydersiden af en hul metalkugle, må forstås forholdet mellem potentialforskellen fra inderside til yderside og den dertil svarende strømstyrke. Svaret på opgaven ses derfor af ligning (3) at være:

$$M_I \equiv \frac{V(R_1) - V(R_2)}{I} = \frac{1}{4\pi\sigma} \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right]. \quad (4)$$

I varmemestrømsopgaven skal ligning (1) erstattes af:

$$j(r) = -k \frac{dT(r)}{dr}, \quad (5)$$

hvor $j(r)$ nu står for varmemestrømtætheden, k for varmeledningsevnen af materialet, kuglen er lavet af, og $T(r)$ temperaturen i afstanden r fra kuglens centrum. De to problemer er i øvrigt analoge. Da modstanden for en varmemestrøm, M_Q , fra indersiden til ydersiden af en hul kugle, må forstås som forholdet mellem temperaturforskellen fra inderside til yderside og den dertil svarende varmemestrøm Q , er svaret på denne opgave, i analogi med ligning (4):

$$M_Q \equiv \frac{T(R_1) - T(R_2)}{Q} = \frac{1}{4\pi k} \left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right]. \quad (6)$$

Kommentar

I almindelighed er den tredimensionale udgave af ligningerne (1) og (5) henholdsvis $\mathbf{j}(\mathbf{r}) = -\sigma \nabla V(\mathbf{r})$ og $\mathbf{j}(\mathbf{r}) = -k \nabla T(\mathbf{r})$. I en stationær situation uden tidlige ændringer af henholdsvis ladningstætheder og energitætheder er kontinuitetsligningen $\nabla \cdot \mathbf{j}(\mathbf{r}) = 0$, både når der er tale om en ladningsstrømtæthed, og når der er tale om en varmemestrømtæthed. Indsættes udtrykkene for $\mathbf{j}(\mathbf{r})$ heri, fås i begge tilfælde Laplaces ligning, $\nabla^2 V(\mathbf{r}) = 0$ og $\nabla^2 T(\mathbf{r}) = 0$, når vi antager σ og k uafhængige af stedet.

I en situation med kendte randbetingelser kan $V(\mathbf{r})$ eller $T(\mathbf{r})$ i princippet beregnes ud fra Laplaces ligning. I praksis lader det sig kun gøre analytisk ved symmetriske geometrier som de to breddeopgavers hule kugler. I almindelighed må der tilsyneladende til numerisk integration. Men man kan også måle sig til løsningen.

I foråret 1964 – da regnekraften til numerisk integration var begrænset – blev jeg noget betaget af laboratorieøvelsen “Elektrolytisk tank” blandt laboratorieøvelserne på andet år af mit fysikstudie på Københavns Universitet. Ved at udnytte analogien imellem $V(\mathbf{r})$ og $T(\mathbf{r})$ fandt vi isotermerne i en tænkt kobberklods til termostatformål ved, i en beholder fyldt med postevand

af samme form som kobberklodsen, at opmåle linjerne for konstant elektrisk potentiale.

I Kvant fra marts 2004 kommenterede jeg to breddeopgaver om henholdsvis vandstandsstigning og husopvarmning, to problemer om forskelligartede fænomener, som er underlagt samme løsningslogik. Jeg refererede da kort til efterskriftet fra 1969 til Thomas Kuhns “Videnskabens Revolutioner”. Her karakteriserer Kuhn fag ved deres “faglige matrix”, hvor en afgørende ingrediens er en række “eksemplarer”, konkrete problemløsninger, som fagets udøvere via deres uddannelse er fælles om, og som kan tjene som forbilleder for en større klasse af problemløsninger. Kuhn nævner selv eksemplaret “den harmoniske oscillator” som et tænkemønster, som fysikere betjener sig af, når noget svinger om en ligevægtstilstand, uafhængigt af, hvad det er, der svinger.

De to opgaver her i artiklen og anvendelsen af den elektrolytiske tank er et andet eksempel på to forskelligartede fænomener, som er underlagt samme løsningslogik. Et eksemplar blandt fysikere.

Jeg tvivler på, at den fysikuddannede Kuhns eksemplarbegreb rammer skiven lige så godt i andre videnskabsfag, som i fysik. Men der synes jeg, at han rammer plet. Vi fysikere opererer jo på godt og ondt ofte efter devisen “løsning (eksemplar) haves, problem søges”. I modsætning til ingeniørens “problem (opdrag) haves, løsning søges”.

Breddeopgave 104 og 105. Laserstråle

Inden næste nummer af Kvant udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningerne til disse to opgaver fra breddekurset på RUC (fra eksamen januar 2019 og januar 2020, nr. 104 og 105 i rækken her i Kvant):

Ved hjælp af to forskellige samlelinser kan man ændre diameteren på en laserstråle. Hvordan skal de to linser placeres i forhold til hinanden? Begrund svaret.

I et laserekperiment kan det være ønskeligt at øge beam-diameteren. Dette kan gøres ved hjælp af en spred- og en samlelinse. Hvordan skal de to linser placeres i forhold til hinanden? Begrund svaret.

Løsninger og kommentar bringes i næste nummer af Kvant.

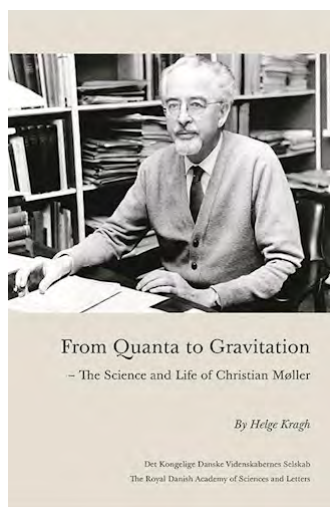
Odin fra Lejre



Den lille sølvfigur er fra omkring år 900 og blev fundet under udgravninger ved Gammel Lejre i 2009. Den er 18 mm høj og viser Odin på sin tronstol Lidskjálv med de to ravne Huginn og Munin på tronens armlæn.

Aktuelle bøger

Finn Berg Rasmussen og Michael Cramer Andersen, *Kvant*



Helge Kragh, “From Quanta to Gravitation – The Science and Life of Christian Møller”, 2023, Udgivet af Det Kongelige Danske Videnskabskabernes Selskab, 492 sider, hardcover, 250 kr.

Christian Møller (1904–1980) studerede og arbejdede ved “Universitetets Institut for teoretisk Fysik” (nu Niels Bohr Institut, NBI i det følgende) fra 1923 til sin død – fra 1933 som lektor og fra 1943 som professor. Bogen om ham er ikke en ren personbiografi, idet Helge Kragh benytter anledningen til at beskrive vigtige sider af fysikkens udvikling hen over midten af 1900-tallet.

Som kilder har Helge Kragh haft Møllers publikationer, forskellige korrespondancer og kollegers erindringer. Dertil kommer to interviews fra 1963 og 1971, henholdsvis med Thomas Kuhn og Charles Weiner, som del af et historieprojekt hos American Institute of Physics. Resultatet er en lang og grundig rapport om hvert af de emner, Møller har arbejdet med, og en gennemgang af tvivl og diskussioner. Man skal holde tungen lige i munden for at følge med i, hvem der sagde hvad og hvornår.

Det er fascinerende at se, hvor unge de fysikere var, som besøgte instituttet i dets første årtier, eller som man samarbejdede med. Møllers første store projekt handlede om stoppeevne for elektroner, lidt i konkurrence og lidt i kontakt med Hans Bethe i München. Møller fik vigtig inspiration fra Landau, som på det tidspunkt (1930) arbejdede ved NBI. Møller publicerede sine første resultater og nævnte Landaus bidrag. En anekdote fortæller, at Landau blev noget stødt og bemærkede til Møller, at han burde have taget Landau med som forfatter. Møller forklarede, at han havde brug for at kvalificere sig til en stilling ved instituttet, for ellers ville hans forlovedes far næppe tillade ægteskab. Landaus reaktion var: “den er jeg med på – skal jeg ikke skrive en artikel for dig”. Også dengang var der åbenbart et pres for at publicere. I øvrigt var både Bethe og Landau

nogle få år yngre end Møller. Møllers arbejde, der blev grundlag for hans disputats, udvidede behandlingen af stoppeproblemet til elektroner med relativistiske hastigheder: “Møller-spredning”.

I takt med den eksperimentelle udvikling i tyverne og trediverne blev aktiviteten ved NBI vendt mod kernefysik og elementarpartikler, specielt de mystiske kernekræfter. Helge Kragh vurderer Møllers indsats på disse områder som langt mere betydningsfuld end blot at være samtalepartner for Bohr. I årene 1943–1946 arbejdede han intenst på Heisenbergs forsøg på en nyformulering af kvanteteorien, S-matrix teori, i høj grad i kontakt med Heisenberg. Begge måtte dog erkende, at det var en blindgyde.



Figur 1. Niels Bohr (tv.) i samtale med Kurt Alder og Christian Møller (th).

Omkring 1955 skiftede Møllers forskningsinteresse fra kerne- og partikelfysik til relativitetsteori. Allerede i 1952 havde han på invitation fra Oxford University Press skrevet en lærebog, “The Theory of Relativity”, en bog, som siden kom i nye, udvidede udgaver (den seneste i 1972), og som slog hans navn fast som en autoritet på området. Endnu tidligere havde Møller beskæftiget sig med tvillingeparadokset, eller rettere urparadokset, som han foretrak at benævne det, og præsenteret den fuldstændige løsning under konsekvent anvendelse af generel relativitetsteori. I sin forskning stræbte Møller efter at udforme den generelle relativitetsteori på en form, der undgik singulariteter – fx Big Bang singulariteten.

Ligesom Helge Kragh kendte jeg Møller fra hans forelæsninger i kvantemekanik. Han havde sin egen

formulering, som ikke var til megen hjælp til at bruge de mere gængse udformninger. Også jeg prøvede på at få Møller som specialevejleder (ca. 1959), og hans lidt afvisende reaktion mindede om, hvad Kragh oplevede: “der sker jo p.t. ikke noget nyt i relativitetsteori; men læs nu først min bog –”.

I et afsluttende kapitel, “Christian Møller and the physics community”, kan man følge udviklingen i det internationale fysikersamfund, fx forarbejdet til CERN, til Nordita og til instituttet for teoretisk fysik i Trieste. Det internationale samarbejde under den kolde krig har flere gange kaldt på Møllers diplomatiske evner. Under 2. verdenskrig, hvor Danmark var besat af tyske tropper, blev NBI en kort overgang besat af tysk militær. Her var det Møller, der ved at invitere Heisenberg til København, fik instituttet befriet. Overfor samfundet i almindelighed følte Møller forpligtelse til at forklare og popularisere den nye fysik, blandt andet skrev han sammen med Ebbe Rasmussen bogen “Om atomer og andre småting”.

Bogen er forsynet med en oversigt over Møllers liv, år for år. En separat liste opregner de ca. 70 blandt instituttets mange gæster, som Møller har vekselvirket med, såvel kendte som mindre kendte navne. Bibliografien omfatter både Møllers egne publikationer og mange andre, som er relevante for at belyse hans arbejde. Der er et omfattende emne- og personregister.

Finn Berg Rasmussen



Sussi Bech, Frank Madsen og Jens Olaf Pepke Pedersen, “København mysteriet. Jagten på Naturens Enhed”, 2023, Forlaget Eudor, 80 sider, hardcover, 185 kr.

Tegneserie-thriller – Københavnermysteriet

Når der er et dansk videnskabsjubilæum, bliver det fejret på mange måder, og én af dem er med tegneserier. I 2020 fik vi hele to tegneserier om Ørsted, og i april 2023 udkom “Københavner mysteriet”, der har kvantefysik og enhedsteorier som tema.

Tegneserien “Ørsted – han satte strøm til verden” blev fortalt og tegnet af Ingo Milton, Sussi Bech og Jens Olaf Pepke Pedersen og blev en succes med 5.500

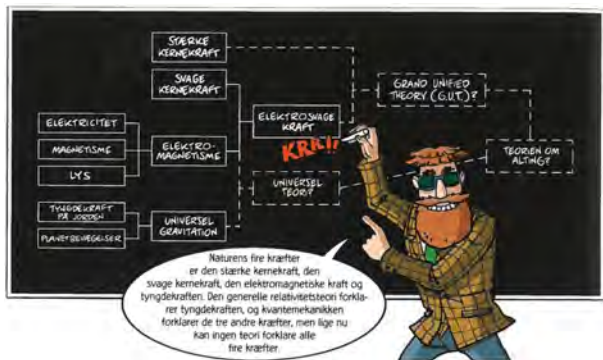
solgte eksemplarer. De to sidste har sammen med Frank Madsen skabt den nye tegneserie, der kan ses som en af aktiviteterne i Videnskabsår 22, der markerede 100-året for indvielsen af Niels Bohr Institutet og Niels Bohrs nobelpris. Tegneserien er også en videreførelse af succesen med “Ørsted – han satte strøm til verden”.

I modsætning til Ørsted-tegneserien, der fulgte Ørsteds liv og forskning ret tæt, er handlingen i denne bog ikke en historie om Niels Bohr og hans forskning. Det kunne titlen, der minder om “Københavnerfortolkningen”, ellers godt signalere.

Handlingen i “Københavnermysteriet” foregår i nutiden og er centreret om de fire gymnasieelever Thomas, Astrid, Beck og Guldbrandtsen. De har dannet en hemmelig loge med det formål at slippe så nemt som muligt igennem fysiktimerne og aldrig aflevere opgaver, de selv har skrevet. De modtager hver et brev fra en mystisk person, der underskriver sig “F”, og som beder dem møde forskellige steder i København. Thomas kommer til et foredrag på Glyptoteket, Guldbrandtsen lokkes ned i Frederiksbergs cisterner, Beck inviteres til en udstilling i Rundetaarn, og Astrid skal hente nogle bøger på Det Kongelige Biblioteks læsesal. De konfronteres alle sammen med “F”, som imidlertid når at flygte. Undervejs bliver de belært om begivenheder i videnskabshistorien, som de ikke rigtig interesserer sig for. Tegneseriehistorien er fortalt på to planer. På det overordnede plan fortælles en fortløbende historie om videnskabelige fremskridt, med en række forholdsvis teksttunge bobler, alt imens thriller-historien udfoldes, hvor de fire hovedpersoner krydrer det hele med sjove replikker.



I deres jagt på “F” føres de fire venner bl.a. til Niels Bohr Institutet i København om natten, hvor de kommer gennem receptionen (se tegning), Niels Bohrs historiske kontor (mødelokale i dag), det historiske auditorium A og de underjordiske gange, hvor laboratorierne ligger. Det er virkelig en fornøjelse at se disse autentiske lokaliteter afbildet realistisk, hvis man har været så heldig at have haft sin gang på NBI. De fire venner er tvangsindlagt til at lytte til de videnskabshistoriske forelæsninger, som de møder overalt hvor de kommer og nogle gange blæses ordene ud igennem en højttaler. Det kan godt virke en smule tungt at læse alle de talebobler der formidler denne tråd af historien. Thriller-historien fungerer til gengæld ganske fremragende, og de to tråde af historien samles og kulminerer med afsløringen af, hvad der menes med fysikkens hellige gral – Teorien om Alting – og hvem der står bag navnet “F”.



Bagerst i bogen er der et efterskrift på 14 sider om "Jagten på naturens enhed". Her fortæller Jens Olaf Pepke Pedersen om videnskabens udvikling, der i perioder har været inspireret af tendenser i filosofien, særligt i antikken, i renæssancen og under udviklingen af den moderne fysik i det 20. århundrede. Her berettes også om det fejlslagne forsøg på at beskrive partikler og kræfter ved hjælp af hvirvler i en æter – en teori, som flere af de største fysikere bidrog til fx Kelvin og Maxwell. Det var også et forsøg på at bygge en enhedsteori ud fra primært elektromagnetismen, men æteren og hvirvlerne blev helt forkastet i de senere teorier. Man kan godt betragte de lidt tekststunge bobler i tegneserien som en popularisering af efterskriftet, så

man kan læse det ene eller det andet efter behag.

Målgruppen for tegneserien er læsere fra 13 år, og det er nok meget passende, men den kan også læses med fornøjelse af et voksenpublikum. Der er et morsomt ordspil i navngivningen af det gymnasium, som de fire venner går på – "Aurasteen Gymnasium" – der er en kombination af navnene på to københavnske gymnasier. Portrættering af gymnasieeleverne er ikke just flatterende. Humorforladte gymnasieelever er hermed advaret.

Videnskabstegneserier er en genre, der kombinerer to gode traditioner i Danmark, og den hilses varmt velkommen. Det er positivt, at tegnerne bag har taget endnu et videnskabeligt emne til sig og har vist, at det også kan sættes ind i deres egen fortælling. Efter at have læst bogen, må man erkende, at man ikke kunne have vakt alle de omtalte videnskabsfolk til live, ligesom det blev gjort i serien om Ørsted. De omtalte personer afbildes kun som portrætter i appendikset og på bogens inderflapper.

Man kan kun glæde sig til, hvis holdet engang i fremtiden skaber en ny, tegnet videnskabshistorie. Et forslag herfra kunne være om astronomiens fornyelse med Tycho Brahe og Ole Rømer som hovedpersoner.

Michael Cramer Andersen

Kvant-nyheder

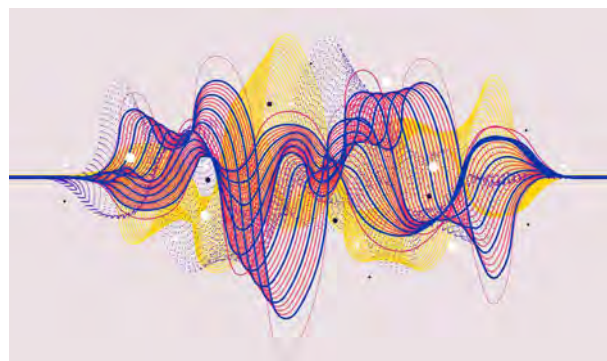
Christine Pepke Gunnarsson, *Kvant*

Kvantecomputer med lyd

KVANTECOMPUTER. Vi hører meget om kvantecomputere og qubits. Nu har forskere fra University of Arizona i USA vist, at lydbølger kan behandle data på næsten samme måde som en kvantecomputer. Lydbølgerne kan nemlig efterligne de kvantemekaniske fænomener *sammenfiltrering* og *superposition*. Lydbølgerne kalder forskerne for phi-bits (fase-bits), og de består af kvasipartikler kaldet fononer, analogt med at lysbølger består af fotoner.

Opstillingen består af et simpelt mekanisk system bestående af tre aluminiumsstænger limet sammen med epoxy og gummibånd til at skabe elasticitet. Stængerne er hver over en halv meter lange. De sender lyd vibrationer igennem stængerne og kigger på hvilken retning, bølgerne bevæger sig i stængerne samt ser på, hvordan stængerne bevæger sig i forhold til hinanden (både retning og amplitude). Ved at tune lydfrekvenserne kunne de finde en frekvens, hvor bølgerne bevægelser og stængerne bevægelser var forbundet. Nå de sender lyden gennem stængerne ved den fundne frekvens, dannes de såkaldte phi-bits. På den måde "fanger" de lyden i systemet. De viste, at de ved at justere lyden kunne indkode information i phi-bits. Forskerne viste, at phi-bitsene kan blive forbundet i en superpositions-lignende

tilstand, dvs. en tilstand, der består af flere mulige tilstande, ligesom qubits kan befinde sig både i tilstanden $|0\rangle$ og i tilstanden $|1\rangle$.



Figur 1. Kan kvantecomputeren lave musik?

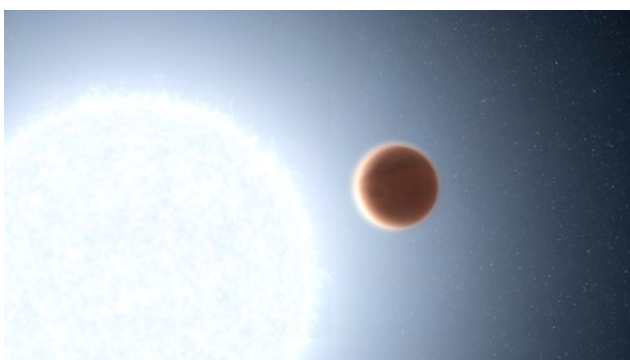
Forskerne viste desuden, at de kunne lave en sammenfiltringslignende tilstand, hvor en phi-bit reagerede i sammenhæng med andre phi-bits. Sammenfiltreringen er ikke kvantemekanisk, og derfor kan systemet ikke bruges til kvantekryptografi. Men den superpositions-lignende tilstand er vigtig for en kvantecomputer, og her er phi-bits mere stabile end qubits. Kvantecomputere

kræver ofte kryogene temperaturer, da qubits bliver forstyrret af omgivelserne, mens phi-bits virker ved stuetemperatur og i længere tid uden at blive forstyrret. Forskerne har testet deres system ved en konference og de har vurderet, at det kan køre i flere år uden at blive påvirket af forstyrrelser.

Kilder: M. A. Hasan m.fl. (2023) "Quantum analogue information processing using "classical entanglement" of acoustic waves", *J. Acoust. Soc. Am.*, bind 153, side A362.

En brandvarm Jupiter

EXOPLANETER. Varme "Jupiter"-planeter er betegnelsen på en type exoplaneter, der minder om gasgiganten Jupiter i vores Solsystem, men som kredser meget tæt omkring deres individuelle stjerne. Disse Jupiter-planeter fuldfører et kredsløb i løbet af få dage eller timer og er brandvarme, fordi de befinder sig så tæt på deres stjerne. Varme Jupiter-planeter er svære at studere, da genskinnet fra deres stjerne gør dem svære at detektere, men nu har forskere opdaget et system ca. 1400 lysår væk fra Jorden, der giver mulighed for at studere en brandvarm Jupiter. Opdagelsen blev gjort med det meget store teleskop Very Large Telescope i Chile. Systemet er særlig interessant, fordi den varme Jupiter er den varmeste, der nogensinde er fundet – den er ca. 2000 grader varmere end Solens overflade. Da den varme Jupiter desuden er meget stor i forhold til dens stjerne, som er en hvid dværg, der lyser ca. 10.000 gange svagere end normale stjerner, er det muligt at observere den varme Jupiter og at studere dennes atmosfære uden at være forstyrret af genskin fra stjernen. Den varme Jupiter er en såkaldt brun dværg, som er en mellemting mellem en planet og en stjerne, der er meget kompakt. Denne varme Jupiter er lige så stor som planeten Jupiter i vores Solsystem, men dens masse er 80 gange større end Jupiters masse. Derfor kan den befinde sig meget tæt på stjernen, uden at stjernens tyngdekraft ødelægger den.



Figur 2. En "varm" Jupiter og dens stjerne.

Når en planet kredser meget tæt omkring sin stjerne, kan forskellen i tyngdekraft på planetens sider (tæt på stjernen og langt fra stjernen) bevirke, at planetens orbitale og rotationelle perioder bliver synkroniseret. Dette fænomen kaldes "tidevandslåsning", og det låser planeten fast i en position, så det altid er den samme side, der vender mod stjernen – præcist som vi kender det fra vores egen Måne. Tidevandslåsning skaber ekstreme

temperaturforskelle mellem den lyse side og den mørke side af planeten. Det er også den intense stråling fra stjernen, der skaber de brandvarme overfladetemperaturer på den nyopdagede varme Jupiter. Ved at analysere det lys, der blev udsendt fra systemet, kunne forskerne bestemme temperaturen af den varme Jupiter. Den lyse side er omkring 8000 K varm, til sammenligning er Solen ca. 5780 K varm på overfladen, mens den mørke side kun er omkring 2000 K varm. Den lyse sides temperatur er det varmeste, der er fundet for en varm Jupiter-planet, og forskellen i temperatur på 6000 K mellem de to sider af planeten er dermed ekstrem.

Systemet er en mulighed for at studere effekten af ekstrem ultraviolet stråling på planeters atmosfærer. Den intense stråling kan medføre, at gasser i atmosfæren fordamper, og den kan ødelægge (dissociere) molekyler. Ultraviolet stråling har derfor stor indflydelse på planetens udvikling. Forskerne planlægger at følge systemet igennem flere observationer, da vi ikke har meget viden om udviklingen af denne type binære systemer. Det vil også hjælpe forskerne med at forstå varme Jupiter-planeter andre steder i Universet.

Kilde: N. Hallakoun m.fl. (2023) "An irradiated-Jupiter analogue hotter than the Sun", *Nat. Astron.*, <https://doi.org/10.1038/s41550-023-02048-z>.

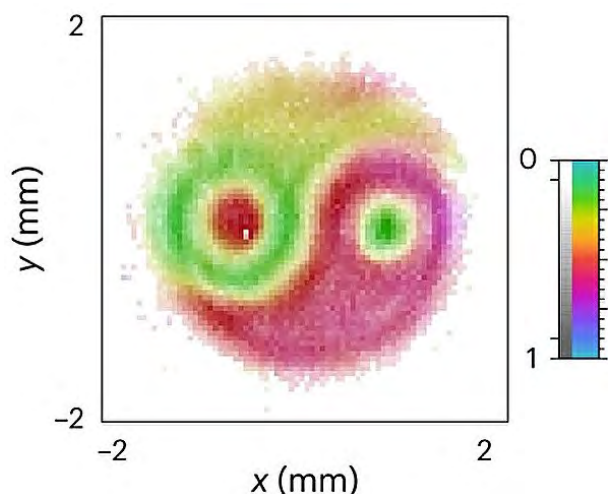
Et billede af kvantemekanisk sammenfiltrering

KVANTEFYSIK. Sammenfiltrering (eng. *entanglement*) er et kvantemekanisk fænomen mellem to partikler, der betyder, at når vi måler den ene partikels bølgefunktion, så ved vi præcis, hvad den anden partikels bølgefunktion er, siden de er sammenfiltrede. Dette gælder ligegyldigt, hvor langt væk fra hinanden de to partikler befinder sig – eftersom de er sammenfiltrede, så er informationen mellem dem stadig delt og tilgængelig i dem begge. Denne lidt mystiske egenskab, som selv Einstein syntes var "spooky", har forskere nu taget et billede af. Forskere fra Ottawa Universitet i Canada har i samarbejde med forskere fra Sapienza Universitet i Rom demonstreret en teknik, der kan visualisere bølgefunktionen af to sammenfiltrede fotoner (lyspartikler) i et interferensmønster.

De sammenfiltrede fotoner blev interfereret med en kendt kvantetilstand, som dannede et billede af et yinyang-symbol. Yinyang-symbolet beskriver netop forbindelsen mellem to komplementære kræfter og kan ses som en slags billede af sammenfiltringsbegrebet. Forskerne observerede, når fotonerne ankom samtidig og skabte et billede af sammentræffene, lidt ligesom når to dansere er synkroniseret i dans. Ved hjælp af et højteknologisk kamera med nanosekunders præcision kunne de fange fotonernes synkroniserede ankomst og observere et interferensmønster. Fra interferensmønsteret kunne de rekonstruere bølgefunktionen.

At bestemme bølgefunktionen af et system kaldes kvantetomografi. Kvantetomografi er tidskrævende og skalerer med systemets dimensionalitet. Normalt bestemmer man bølgefunktionen ved en projektiv måling. En projektiv måling i kvantetomografi er lidt som et CT-scan, hvor formen (tilstanden) af et 3D-objekt kan blive rekonstrueret ud fra en gruppe af 2D-billeder.

I klassisk optik er der en anden vej til at rekonstruere et 3D-objekt, såkaldt digital holografi, som er baseret på at optage et enkelt billede, et interferogram, opnået ved at interferere lyset spredt fra objektet med reference lys. Forskerne udvidede dette koncept til to fotoner. At bestemme bølgefunktionen af en to-foton tilstand kræver at interferere den med en kendt reference tilstand og derefter at analysere den rumlige distribution af positionerne, hvor de to fotoner ankommer simultant dvs. sammentræfsbilledet. Sammentræfsbilledet er et interferensmønster, der som nævnt, kan bruges til at rekonstruere den ukendte bølgefunktion. Metoden er hurtigere end andre metoder indenfor kvantetomografi og kræver kun sekunder eller højst minutter i forhold til tidligere, hvor det tog dage at bestemme bølgefunktionen. Desuden er detektionstiden ikke bestemt af systemets dimensionalitet.



Figur 3. De sammenfiltrede fotoner blev interfereret med en kendt kvantetilstand, som dannede et billede af et yinyang-symbol.

Kvantemekanisk sammenfiltrering er særlig vigtigt for kvantekryptering, hvor sammenfiltreringen medfører, at ethvert forsøg på aflytning vil blive opdaget, da en aflytning nødvendigvis vil forstyrre sammenfiltreringen.

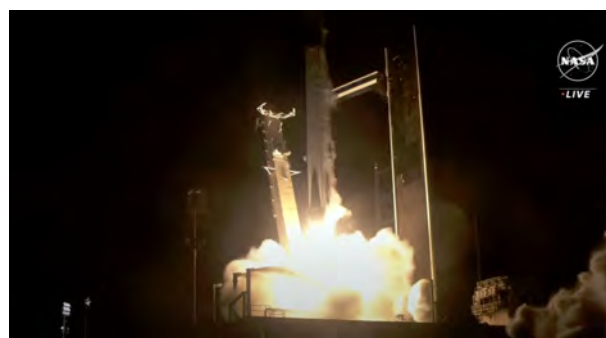
Kilde: D. Zia m.fl. (2023) "Interferometric imaging of amplitude and phase of spatial biphoton states", *Nature Photonics*, <https://doi.org/10.1038/s41566-023-01272-3>.

Huginn-missionen er opsendt

RUMFORSKNING. Den danske astronaut Andreas Mogensen befinder sig nu på den internationale rumstation ISS. Lørdag den 26. august kl. 9.27 blev rumskibet SpaceX Dragon opsendt fra Kennedy Space Center i Florida. Under opsendelse blev hovedmotoren efter 2½ minut koblet fra rumskibet, og herefter tog en anden motor over i ca. 6 minutter indtil den ligeledes blev afkoblet. Ca. 12 minutter senere afkoblede den anden del, og herefter var Dragon-odulet alene i kredsløb omkring Jorden. Efter næsten 30 timers rejse ankom Dragon-rumskibet den 27. august kl. 15.36 til den internationale rumstation, mens denne befandt sig over Australien. Rumstationen ISS flyver i en højde på 400 km over Jorden, så det tager ikke lang tid at komme derud, men da det er en kompliceret proces og ikke helt ufarligt at koble rumskibet til rumstationen, bruger det flere

kredsløb omkring Jorden for at nærme sig rumstationens kredsløb. ISS kredser omkring Jorden med 28.000 km i timen, og rumskibet opnår samme fart, når det skal kobles sammen med dockingstationen på ISS. Det er en computer, der styrer sammenkoblingen, ligesom autopiloter styrer flyvninger i dag, men hvis der var sket noget, og systemet ikke virkede, så havde det været Andreas Mogensen, der som pilot skulle tage over og manuelt styre rumskibet sammen med ISS.

Hele missionen, som har fået navnet Huginn efter Odins ene ravn, varer seks måneder. I løbet af den tid skal Mogensen og hans kollegaer foretage adskillige eksperimenter og deltage i vedligeholdelse af rumstationen. De forsøg, de skal udføre, er både tekniske, naturvidenskabelige og sundhedsvidenskabelige. Forsøgene skal bl.a. hjælpe til med at forstå, hvordan kroppen reagerer på at være i rummet så længe. Det er særlig relevant for planlægningen af fremtidige missioner til Månen og senere til Mars.



Figur 4. Falcon 9-raketten affyres fra NASAs Kennedy Space Center i Florida med fire astronauter på vej til rumstationen.

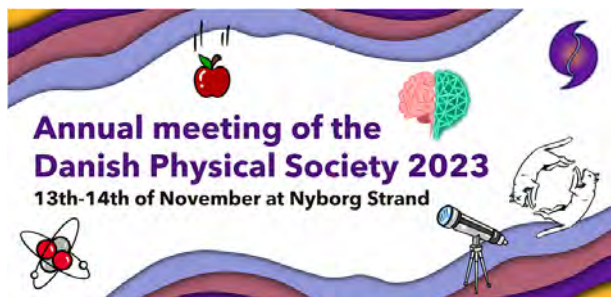
Flere af forsøgene er forberedt i Danmark. Blandt de danske bidrag, som han skal arbejde med, er også et projekt, der skal undersøge, hvordan astronauter kan sove bedre. Astronauter sover dårligt på ISS, nok fordi de ser solnedgangen 16 gange i løbet af ét døgn. Mogensen skal teste nogle lyspaneler udviklet til rumstationen, som efterligner dagslyset på Jorden. Det er også vigtigt, at astronauterne genbruger mest muligt, da det koster meget brændstof at sende gods op til ISS. Mogensen skal derfor teste to vandfiltreringsmembraner, som omdanner spildevand til rent vand, og se, hvordan de fungerer, når der ikke er nogen tyngdekraft på ISS. Derudover skal han teste en metal-3D-printer på ISS, da det er praktisk, hvis astronauterne kan printe fx værktøj, som de mangler. Derudover skal han også fra ISS kontrollere en gruppe robotter på Jorden. Desuden har han et avanceret kamera med, hvor han i samarbejde med DTU Space skal undersøge vejrfænomenerne Blue Jets og Red Sprites, som er gigantiske lyn, der kan ses øverst i atmosfæren. Mogensen skal også teste, om VR- (virtual reality)-briller virker i rummet, ligesom han skal tage billeder af jordskin som oplyser Månen, når sollys reflekteres fra Jorden. Det sidstnævnte forsøg kan give ny viden om, hvor meget energi der stråler ud i rummet fra Jorden.

Hvis man ønsker at følge Andreas Mogensen og Huginn-missionen eller selv vil forsøge at koble Dragon-modulet til ISS, kan det anbefales at besøge www.Esa.int og iss-sim.spacex.com.

Kilde: www.Esa.int.

Nyt fra Dansk Fysisk Selskab

Maren Malling



Årsmøde 13.–14. november

Dansk Fysisk Selskab er Danmarks landsdækkende forening for fysik, som samler alle grene af fysikforskning og undervisning. Alle med en fysikfaglig baggrund er velkomne som medlemmer, og vi opfordrer alle interesserede til at melde sig ind i foreningen. Tilmelding kan ske via linket på vores hjemmeside danskfysiskselskab.dk. Ordinært medlemskab koster 400 kr. om året, og studerende (inkl. ph.d.-kandidater) betaler kun 150 kr. per år.

Årets højdepunkt er DFS Årsmøde, som samler fysikere på tværs af institutter og forskergrupper fra hele landet til to spændende dage med plenumforedrag om den nyeste forskning, tematiske parallelsessioner, en poster session med præmier samt socialt samvær og netværk. Sidste årsmøde samlede 185 fysikere fra hele landet! Særligt for yngre forskere og studerende er årsmødet en fremragende mulighed for at præsentere deres arbejde for fagfæller.

Årsmødet holdes i år den 13. og 14. november på Hotel Nyborg Strand. Tre af hovedtalerne bliver Dorte Dahl-Jensen, der er professor i glaciologi ved Niels Bohr Institutet, professor Marco van Leeuwen fra Utrecht Universitet, som er talsperson for ALICE-eksperimentet ved CERN, og Manuel Meyer, som er lektor ved Syddansk Universitet og forsker i mørkt stof.

Programmet for årsmødet kan ses på hjemmesiden <https://danskfysiskselskab.dk/>.

Medlemmer, der har oplyst en gyldig e-mailadresse, har fået tilsendt et link, som giver mulighed for at tilmelde sig årsmødet til en særlig medlemspris.

Valg til bestyrelsen

Der afholdes valg til bestyrelsen for DFS til september, og vi vil gerne opfordre alle, der har interesse i at styrke arbejdet på tværs af fysikinstitutter og fagområder, til at stille op. Medlemmer af foreningen vil modtage information om valget via e-mail, og valget afholdes skriftligt. Man vælges for en 2-årig periode. Se vedtægter og valgeregler her:

<https://danskfysiskselskab.dk/vedtaegter-for-dansk-fysisk-selskab/>

<https://danskfysiskselskab.dk/regler-for-valg-til-dansk-fysisk-selskabs-bestyrelse/>

Foreningens generalforsamling afholdes ved årsmødet, og den nuværende bestyrelse vil derfor fortsætte arbejdet frem til denne, hvorefter den nyvalgte bestyrelse overtager. Skriv til bestyrelsen med eventuelle spørgsmål: mail@danskfysiskselskab.dk

Nyt fra Astronomisk Selskab

Lars Occhionero



Generalforsamling

Selskabet havde generalforsamling den 22. april i Aarhus. Her gennemgik formanden, Lars Occhionero,

årets aktiviteter med ekstra mange foredrag, samt en lille medlemsfremgang. Her blev også fremvist nogle af de nye teleskoper foreningen har skaffet sig. Disse kan medlemmer låne i en kortere periode, for at se om det at observere er noget for dem, inden de selv anskaffer sig et instrument.

Til generalforsamling blev Lars Occhionero genvalgt som formand, Johan Fynbo blev genvalgt i bestyrelsen og endelig er Bertil Doch og Leif Lønsmann blevet valgt ind som suppleanter.

Til det senere konstituerende bestyrelsesmøde, blev Johan Fynbo genvalgt som næstformand, Peter Stub Jørgensen som kasserer og bestyrelsen valgte at supplere sig selv men endnu en suppleant, nemlig Jophiel Wiis.

Bestyrelsen består derfor nu af: Lars Occhionero

(formand), Johan Fynbo (næstformand), Peter Stub Jørgensen (kasserer), Christina Toldbo (medlem), Ole Berg Nielsen (medlem), Mads Fredslund Andersen (medlem), Bertil Dorch (suppleant), Leif Lønsmann (suppleant) og Jophiel Wiis (suppleant).

Efterårets foredrag

Til efteråret byder vi på to foredragsrækker i både København og Århus. Programmet med enkelte foredrag, foredragsholdere samt dato og sted kan findes her i bladet samt på hjemmesiden astronomisk.dk

Galakser – et hundredårigt perspektiv

Galakser er himlens blomster. Himlen er overstrøet med galakser – ca. 1000 milliarder kan vi se, og de forekommer i en bred vifte af former og farver. I denne foredragssække vil vi se på galakser med to perspektiver. Først var der for 100 år siden en stor debat (The “great debate” på engelsk) omkring, hvad galakser egentlig er for noget. Er de objekter inde i vores eget stjernesystem Mælkevejen eller er de separate Ø-universer af samme rang som Mælkevejen? Det debatterede man intenst i 1920'erne. Her 100 år efter strømmer der nye observationer ind fra det nye James Webb rumteleskop, der revolutionerer vores udforskning

af de første galakser, der opstod kort efter Big Bang. Seriens fem foredrag er spændt ud i en bue mellem disse perspektiver.



Danmark i rummet

I efteråret er den danske astronaut Andreas Mogensen igen på et længere ophold på rumstationen. I denne foredragsserie udnytter vi denne lejlighed til at kaste lys over danske forskeres involvering i rumforskningen. Vi kommer omkring nogle af de vigtigste projekter, der enten handler om satellitprojekter, udforskningen af solsystemet eller eksperimenter på rumstationen.

Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Anja C. Andersen og Cecilie Pedersen



Generalforsamling i SNU den 20. marts 2023

Generalforsamlingen startede med præsidentens beretning for 2022. Da året udmærkede sig ved, at der var præsidentskifte 1. juli, hvor Dorte Olesen valgte at træde tilbage som præsident efter at have bestridt posten siden 1987, så gennemgik Dorte Olesen beretningen for første halvdel af 2022, mens Anja C. Andersen gennemgik anden halvdel af 2022.

I sin beretning fortalte Dorte Olesen om forårets seks arrangementer, hvor det første, “Længe leve videnskaben”, blev til i samarbejde med Folkeuniversitetet i København og afholdt 25. januar i Københavns Universitets festsal, hvilket markerede en festlig start på Videnskabsår2022. Ved denne lejlighed blev H.C. Ørstedmedaljen i sølv overrakt til Johan Gotthardt Olsen fra Biologisk Institut på KU. Forårets foredrag havde tæt forbindelse til fejringen af 100-året for tildelingen af

Nobelprisen i fysik til Niels Bohr; John Renner Hansens foredrag havde fokus på bidrag fra Niels Bohr Institutet til CERN, Jørgen Kjems foredrag var om Niels Bohrs bidrag til etableringen af Risø, mens Per Hedegaard talte om Einsteins bidrag til kvantemekanikken.

I forbindelse med foredraget “Sten og rumskrot” af Anja C. Andersen og Henning Haack fra SNU's direktion, blev der uddelt en H.C. Ørstedmedalje i bronze til lærer Peter Blirup fra Eltang Skole og Børnehaven i Kolding. Dorte Olesen benyttede lejligheden til at takke Erland Andersen for hans virke som formand for grundskolelærermedalje-udvalget frem til og med denne uddeling. I juni så det nye H.C. Ørsted Akademi dagens lys som et inspirationsforum for alle nulevende medaljemodtagere, både guld, sølv og bronze – og samme måned åbnede udstillingen “H.C. Ørsted på ny – skønheden i naturen” for en etårig udstillingsperiode i energiselskabet Ørstedes bygninger i Gentofte. Dorte Olesen takkede her endnu en gang projektleder Gregers Mogensen for hans helt exceptionelle indsats med denne udstilling og dens tur rundt i Danmark.

Anja C. Andersen startede sin gennemgang af efteråret med at takke Dorte Olesen hjerteligt for hendes 35 år på præsidentposten, med et særligt fokus på al den aktivitet Dorte Olesen sammen med direktionen fik etableret i forbindelse med 200-årsfejringen af H.C. Ørstedes eksperiment, i form af en udstilling i

Rundetårn, bøger om H.C. Ørsted, samt en genindførelse af regelmæssig uddeling af H.C. Ørstedmedaljer. Efterårets aktiviteter startede med det første fysiske møde i H.C. Ørsted Akademiet, som blev holdt hos Aarhus Institute for Advanced Study i august. Andet halvårs fire foredrag bestod af to foredrag af Anders S. Sørensen og Klaus Mølmer. En helt særlig Kirstine Meyer Event, hvor Helge Kragh fortalte om personen Kirstine Meyer, og årets to legatmodtagere – Sofie Marie Koksang fra Syddansk Universitet og Søren Strandskov Sørensen fra Aalborg Universitet – fik overrakt Kirstine Meyers Mindelegat af en tidligere modtager, nemlig Danmarks nye Nobelpristager Morten Meldal. Sæsonen fortsatte med et foredrag af Johan G. Olsen om protein-krytallografi og et foredrag af Johan Leif Jørgensen om rummissionen JUNO. Ved dette sidste foredrag indgik også overrækkelse af H.C. Ørstedmedaljen i bronze til en inspirerende gymnasielærer, lektor Lisbeth Tavs Gregersen fra Thisted Gymnasium, som underviser i kemi og fysik.

Herefter var der en gennemgang af det udsendte regnskab for 2022. Regnskabet udviste før finansielle indtægter et overskud på 1.401 kr. mod et budgetteret underskud på 190.900 kr. Afvigelsen skyldtes lavere løbende udgifter i 2022. Regnskabet blev godkendt. Budgettet for 2023, der udviser et underskud på 98.557 kr., blev ligeledes godkendt. I forbindelse med fejringerne af SNU's 200-års jubilæum i 2024 er planen at anvende de senere års overskud. Der blev således præsenteret et budgetoverslag for 2024, som udviser et underskud på 424.595 kr., såfremt SNU lykkes med at realisere planerne om en udstilling i Rundetårn i august-oktober 2024. Revisor gjorde opmærksom på, at der var dækning for dette i SNU's økonomi.

Det blev besluttet at kontingentet skal forblive uændret.

Det blev oplyst, at Klaus Bock udtræder af direktionen. Prorektor ved DTU, professor Rasmus Larsen blev indvalgt som nyt medlem. Præsidenten takkede Klaus Bock for hans store indsats. Revisor Steffen Jensen blev genvalgt.

Der var under punktet eventuelt på dagsordenen flere forslag fra medlemmerne til direktionen om ønskede emner til foredragsrækken i 2024, herunder kunstig intelligens, chip war, klimarapport og oceanografi.

I år kan lærerteams også indstilles til H.C. Ørsted-medaljen til inspirerende gymnasielærere

Kender du en eller flere gymnasielærere, der underviser i naturvidenskab på en helt særlig, levende og inspirerende måde? Bliver elevernes nysgerrighed for naturvidenskaben pirret, og løftes deres faglige niveau? Ser skolen ligefrem, at flere elever hos denne lærer eller dette team søger ind på en videregående uddannelse inden for naturvidenskab?

Nu er der åbnet for indstillinger til H.C. Ørsted-bronzemedaljen, der uddeles til en inspirerende gymnasielærer med en helt særlig evne til at undervise i naturvidenskab – eller som noget nyt, til et lærerteam.

Uddelingen sker i H.C. Ørsteds ånd for at hædre og fremme den gode formidling af naturvidenskab. Såvel elever, lærere og rektor kan, gerne i fællesskab, indstille gymnasielærere til årets medalje. Medaljen uddeles af SNU, og den sponsoreres af energiselskabet Ørsted.



Vinderen får ud over medaljen og æren et rejselegat på 25.000 kr., 50.000 kr. til et projekt på gymnasiet, samt medlemskab af H.C. Ørsted Akademiet, et gensidigt inspirationsnetværk mellem alle H.C. Ørstedmedaljemodtagere. Hvis det er et lærerteam, går de 75.000 kr. til et projekt på gymnasiet, og alle i teamet indgår i H.C. Ørsted Akademiet.

Kriterierne for at modtage medaljen er, at underviseren eller teamet som helhed:

- er engageret, idérig og fagligt dygtig
- leverer varieret og inspirerende undervisning
- formår på ekstraordinær vis at løfte elevernes faglige niveau og
- giver dem interesse for at studere naturvidenskabelige og tekniske fag. Læreren/teamets undervisning må derudover gerne:
- egne sig til almen udbredelse i undervisningen og
- styrke overgangen mellem de forskellige uddannelsesinstitutioner.

Send din/jeres indstilling med begrundelse og gerne med konkrete eksempler på, hvordan læreren/teamet lever op til kriterierne, senest den 15. oktober 2023 til snu@snu.dk. Blanket til indstilling ligger på www.snu.dk.

SNU har nedsat et bedømmelsesudvalg, der skal behandle indstillingerne. Udvalget består af Simon Mosgaard Jørgensen, UNF, fhv. rektor Jannik Johansen, lektor Jeppe Willads Petersen, Rungsted Gymnasium, civilingeniør Ole Mørk Lauridsen, ph.d. Søren Damgaard, SDAM Consulting, ph.d. Mathias Stolpe, Ørsted, samt fhv. rektor Hans Lindemann.

Vi uddeler H.C. Ørsted-bronzemedaljen og hylder vinderen mandag den 4. december 2023 på H.C. Ørsted Instituttet i forbindelse med et af foredragene i SNU.

Kommende foredrag

Dato	Tid	Foredragstitel	Foredragsholder	Forening
Sep 2023				
4/9	19.30	Power-to-X og fremtidens energiforsyning	Peter Vesborg	SNU
4/9	19.45	Galaksernes historie fra Herschel til Hubble	Helge Kragh	AS (Aarh 1)
11/9	19.45	Universets udvidelse og dannelsen af galakser	Thomas Tram	AS (Aarh 1)
18/9	19.45	Støv-indhyllede "starburst"-galakser i det unge univers	Bitten Gullberg	AS (Aarh 1)
25/9	19.30	Energiøer – en Marsmission for energisystemer	Jacob Østergaard	SNU
25/9	19.45	Galakser i det lokale univers	Lise Bech Christensen	AS (Aarh 1)
Okt 2023				
2/10	19.45	De første galakser	Thomas Greve	AS (Aarh 1)
23/10	19.30	Kirstine Meyer Aften: Aerosoler i Jordens atmosfære – fra hav til skyer og klima Samt foredrag ved årets legatmodtager	Merete Bilde	SNU
31/10	18.15	Den internationale rumstation	Carol Anne Oxborrow	AS (Kbh 1)
Nov 2023				
2/11	18.15	Galaksernes historie fra Herschel til Hubble	Helge Kragh	AS (Kbh 2)
6/11	19.45	Den internationale rumstation	Carol Anne Oxborrow	AS (Aarh 2)
7/11	18.15	Danmark på Mars	Morten Bo Madsen	AS (Kbh 1)
9/11	18.15	Universets udvidelse og dannelsen af galakser	Thomas Tram	AS (Kbh 2)
13/11	19.30	Grænsefladefysik (holdes på engelsk)	Ben Boyd	SNU
13/11	19.45	Danmark på Mars	Morten Bo Madsen	AS (Aarh 2)
13–14/11		DFS Årsmøde på Hotel Nyborg Strand		DFS
14/11	18.15	Danmark i rummet	Ole J. Knudsen	AS (Kbh 1)
16/11	18.15	Støv-indhyllede "starburst"-galakser i det unge univers	Bitten Gullberg	AS (Kbh 2)
20/11	19.45	Danmark i rummet	Ole J. Knudsen	AS (Aarh 2)
21/11	18.15	Aarhus i rummet	Mads Fredslund Andersen	AS (Kbh 1)
23/11	18.15	Galakser i det lokale univers	Lise Bech Christensen	AS (Kbh 2)
27/11	19.45	Aarhus i rummet	Mads Fredslund Andersen	AS (Aarh 2)
28/11	18.15	Athena og andre fremtidige ESA-missioner	Desiree Della Monica Ferreira	AS (Kbh 1)
30/11	18.15	De første galakser	Thomas Greve	AS (Kbh 2)
Dec 2023				
4/12	19.45	Athena og andre fremtidige ESA-missioner	Desiree Della Monica Ferreira	AS (Aarh 2)
4/12	19.30	Pixelkameraet på Perseverance Efter foredraget uddeles H.C. Ørstedmedaljen til en inspirerende gymnasielærer	David Arge Klevang Pedersen	SNU

AS (Kbh 1): Astronomisk Selskab, CSS, Gammeltoftsgade 15, 1353 Kbh. K, Lokale: 35.-1.05 (bygning 35, kælderen) (astronomisk.dk).

AS (Kbh 2): Astronomisk Selskab, CSS, Gammeltoftsgade 15, 1353 Kbh. K, Lokale: 35.-1.44 (bygning 35, kælderen).

AS (Aarh 1): Astronomisk Selskab, Aarhus Universitet, Ny Munkegade 118, 8000 Aarhus C (bygning 1530, lokale D119).

AS (Aarh 2): Astronomisk Selskab, Aarhus Universitet, Ny Munkegade 118, 8000 Aarhus C (bygning 1530, lokale G122).

DFS: Dansk Fysisk Selskab (danskfysiksselskab.dk).

SNU: 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. Der kan parkeres med Easypark på Nørre Allé.

Der er gratis adgang til foredragene i SNU.

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

Skrammel hitter hos københavnske børn

Selskabet for Naturlærens Udbredelse (SNU)

I forbindelse med forårets sidste foredrag i SNU den 22. maj 2023, hvor nobelpristager Morten Meldal fortalte om klikkemi, blev der uddelt en H.C. Ørstedmedalje i bronze til lærer Per Saxtorph Jørgensen. Han modtager medaljen, fordi han leverer en ekstraordinær indsats som underviser på og medgrundlægger af Det Naturtekniske Værksted Skramloteket.

Med medaljen følger et rejselegat på 25.000 kr. samt et legat til medaljemodtagerens institution på 25.000 kr. til brug for et naturfagligt projekt. Begge legater er sponsoreret af firmaet Topsoe.

Om medaljemodtageren sagde formand for bedømmelsesudvalget, Stefan Holm fra Danmarks Naturfagslærerforening: "Ideen bag Skramloteket var at skabe et sted for børn med en praktisk-eksperimenterende tilgang til læring, og siden dets etablering i 2005 har mere end 1000 elever årligt fået glæde af værkstedets unikke tilgang til naturfag. Med et enormt engagement har Per sammen med elever gennem årene bygget alt fra elektriske kredsløb, blinkmaskine og morseapparater til elektromagnetiske sommerfugle, pulsmålere, radioer og ultralydsdetektorer, og bidraget betydeligt til deres praktiske forståelse af naturvidenskab. Selv ikke coronanedlukningen stoppede Per, der fremstillede elevsæt indeholdende materialer til små elastikdrevne hjuldampere, som børn kunne bygge derhjemme. Disse blev delt ud til skolerne i nabolaget.

Per er også synlig lokalt, regionalt og nationalt og har siden etableringen af Skramloteket delt ud af sin erfaring og viden om praktisk-eksperimenterende undervisning på Big Bang-konferencer og naturvidenskabelige festivaler. Både for at udbrede kendskabet til Skramloteket, men også fordi Per har et stort ønske (og håb) om, at lignende steder engang i fremtiden kan etableres andre steder i Danmark. Han modtog i 2007 (sammen med medgrundlægger af Skramloteket Ivan Helsingshof) Københavns Lærerforenings hæderspris "Den Gyldne Pegepind".

Per lever således til fulde op til bedømmelseskriterierne:

- er engageret, idérig og fagligt dygtig

- leverer varieret og inspirerende undervisning
- formår på ekstraordinær vis at løfte elevernes faglige niveau og
- giver dem interesse for at studere naturvidenskabelige og tekniske fag. Læreren/teamets undervisning må derudover gerne:
- egne sig til almen udbredelse i undervisningen og
- styrke overgangen mellem de forskellige uddannelsesinstitutioner.

Anja C. Andersen fra SNU tilføjede: "Vi er glade for at kunne fortsætte vores samarbejde med firmaet Topsoe, der gennem snart mange år har haft tæt samarbejde med grundskolelærere og har givet dem og deres elever mulighed for at se og høre, hvordan naturvidenskab bruges i virkeligheden".



Per Saxtorph Jørgensen

Ole Stahl fra Topsoe kvitterede med at sige: "Hos Topsoe er vi stolte over at støtte personer, som har en passion omkring de naturfaglige discipliner. Samtidig er vi glade for, at vi gennem samarbejdet med SNU kan være med til at udbrede kendskabet til naturfag og i H.C. Ørsteds ånd sætte endnu mere fokus på den vigtige formidling af naturvidenskab, som ligger i undervisningen i grundskolen".