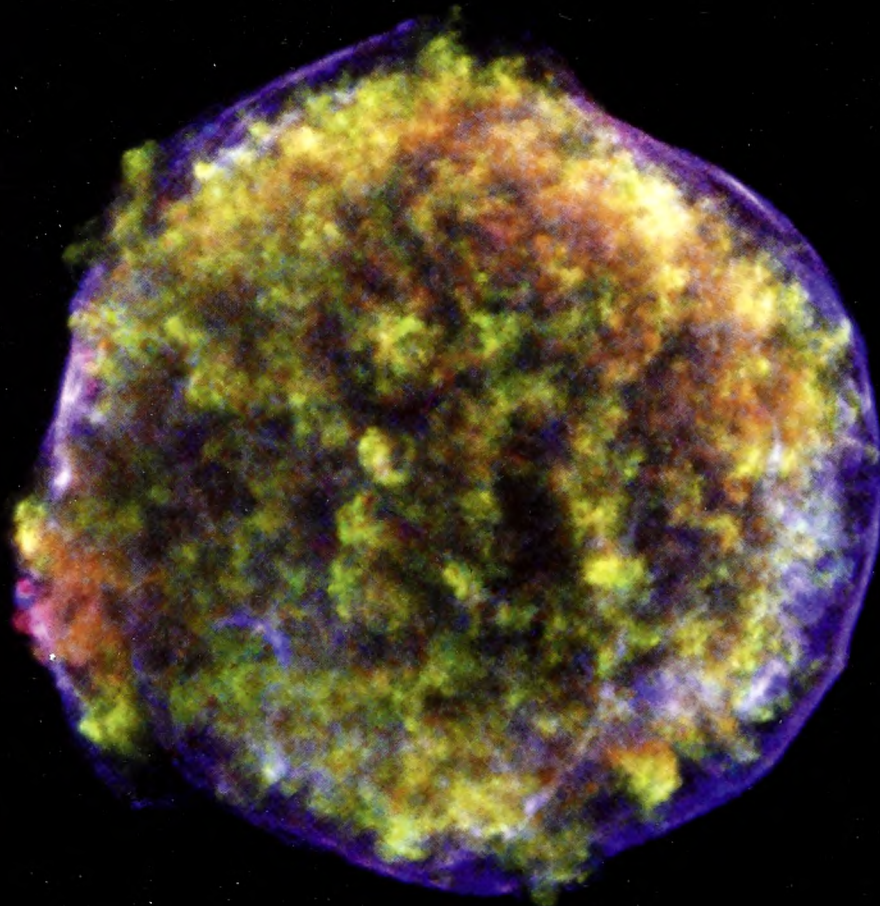

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 33. årgang



STORT TEMANUMMER OM TYCHO BRAHES SUPERNOVA:

- TRE TYCHONISKE BØGER
 - TYCHO BRAHE OG DEN NYE STJERNE
 - DANSK ASTROMETRI EFTER TYCHO BRAHE
 - FRA NY STJERNE TIL NYT VERDENSBILLEDE
 - TYGE BRAHES OBSERVATIONER AF DEN NYE STJERNE I 1572
-
- NIELS BOHR INSTITUTET OG FORSKNINGEN PÅ CERN
 - BREDDEOPGAVER • KVANT-NYHEDER • FOREDRAG

Løssalgspris: 50 kr.

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

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

Hjemmeside : www.kvant.dk

E-mail : kvant@kvant.dk

Facebook  : [KVANT.fysiktidsskrift](https://www.facebook.com/KVANT.fysiktidsskrift)

ISSN (trykt) : 0905-8893

ISSN (web) : 2245-4942

Udgives af

Astronomisk Selskab

Dansk Fysisk Selskab

Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Redaktion

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

Michael Cramer Andersen,

Christianshavns Gymnasium

Christine Pepke Gunnarsson (nyheds-
redaktør), DTU Health Technology

Ole Mørk Lauridsen, SNU

Steen Lærke (astro@kvant.dk),
Astronomisk Selskab

John Rosendal Nielsen,

Aurehøj Gymnasium

Dorte Olesen, SNU,

DTU Compute

Malte Olsen (Kvants brevkasse,

Spoergkvant@kvant.dk)

Finn Berg Rasmussen,

Niels Bohr Institutet, KU

Svend Erik Rugb

Abonnementspris : 185 kr./år.

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

Abonnement tegnes på www.kvant.dk.

Øvrige henvendelser vedr. abonnement til
Christine Pepke Gunnarsson:
christine@kvant.dk (tlf. 27 51 01 76).

Annoncepriser

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

1/4 side: 1600 kr.

Priserne er excl. moms og for reprojekteret
materiale i farver. Henvendelser om annon-
cer til redaktøren på: kvant@kvant.dk

Tryk

Vestergaards Bogtrykkeri A/S.

Oplag: 3.000.



Tryksag
5041 0826

Produktionsplan

Nr. 3-2022 udkommer ca. 15. september

Nr. 4-2022 udkommer ca. 15. december

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

Indhold:

Tycho Brahe og den nye stjerne

Erik Høg 3

Tycho Brahe: Fra ny stjerne til nyt verdensbillede

Helge Kragh 13

Kvant-nyheder – Frit flyvende sort hul

Christine Pepke Gunnarsson 17

Tre tychoniske bøger

Bertil F. Dorch 19

Generalforsamling i SNU

Dorte Olesen 23

Tyge Brahes observationer af den nye stjerne i 1572

Jens Peter Krog 24

Fra Tycho Brahe til nye overraskelser i kosmologien

Charles Louis Steinhardt 29

Om dansk astrometri efter Tycho Brahe

Erik Høg 32

Niels Bohr Institutet og forskningen på CERN

John Renner Hansen 36

Lodret frit fald – breddeopgave 96 og 97 med didaktisk kommentar

Jens Højgaard Jensen 40

Kvant-nyheder – Fugles aerodynamik og magnetiske Bloch-oscillationer

Christine Pepke Gunnarsson 42

Kommende foredrag

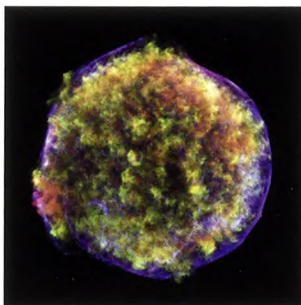
. 43

Nye navne

. 43

Tychos supernova

Jens Olaf Pepke Pedersen Bagsiden



Billedet på forsiden viser resterne af den supernova, som Tycho Brahe observerede i 1572, og som blev kendt som Tychos supernova. Til efteråret kan vi fejre 450-året for hans observation, og Kvant bringer i dette nummer en række artikler om Tycho Brahe og supernovaen. Billedet er taget den 29. april 2003 med røntgenteleskopet Chandra. Røntgenstråling er usynlig for det menneskelige øje, så farverne er kunstige, og røntgenstrålerne har derfor fået tildelt farver efter deres energi: rød 0,95–1,26 keV, grøn 1,63–2,26 keV, blå 4,1–6,1 keV. De grønne og røde farver i det indre viser plasma, der ekspanderer med høj hastighed svarende til en temperatur på 10 millioner grader, mens det yderste lag (de blå områder) svarer til en temperatur på 20 millioner grader. Supernovaer er en vigtig kilde til de kosmiske partikler, der rammer Jorden. Billede: NASA/CXC/Rutgers/J. Warren og J. Hughes m.fl.

Kvant udsendes gratis, i ét eksemplar, til alle gymnasier, seminarier og HTX-kurser i Danmark, på Færøerne og i Grønland med velvillig økonomisk støtte fra Niels Bohr Institutet (KU), Institut for Fysik og Astronomi (AU), Institut for Fysik, Kemi og Farmaci (SDU), DTU Fotonik, DTU Fysik samt Institut for Naturvidenskab og Miljø (RUC).

Kvant omdeles med PostNord. Såfremt bladet udebliver opfordres du til at kontakte PostNords kundeservice på telefon 70707030 samt orientere Kvant på e-mail kvant@kvant.dk.

Tycho Brahe og den nye stjerne

Erik Høg, Niels Bohr Institutet

Tycho Brahes interesse for astronomien begyndte tidligt, men den nye stjerne i november 1572 blev afgørende for hans liv. Hans bog "De Nova Stella" udkom året efter med hans observationer og forklaringer, og den gjorde ham berømt i hele Europa, da han var 27 år. Tychos udvikling og tanker, inden den nye stjerne viste sig, skal her beskrives mere indgående, end det tidligere er sket på dansk.

Tycho Brahe og 1500-tallet

Tycho Brahe (1546–1601) levede i et århundrede, hvor man særligt i Nordeuropa måtte vænne sig til, at kirkens ord ikke gjaldt som før, men at sandheden skulle søges i selve Guds ord, som de står i den Hellige Skrift. Det budskab bragte Martin Luther (1483–1546), og det førte til brud med den katolske kirke. Der fulgte meget omfattende reformer i de protestantiske lande, hvor en stor del af det gods og den rigdom, som kirker og klostre havde samlet, tilfaldt konger og fyrster. I Danmark blev krongodset derved tredoblet. Tiende skulle stadig opkræves, men en tredjedel heraf gik nu til kongens kasse i stedet for til bispens. En anden følge var, at videnskaben friere kunne søge at finde Guds plan for verden gennem studium og måling af naturen. Tanken om den *almægtige Gud som verdens arkitekt* (se figur 1) var modnet gennem århundreder i det kristne Europa.



Figur 1. Gud som verdens arkitekt, ca. 1250.

Gud var en realitet. Ingen tænkte dengang, at Gud kun er en myte, at Gud kun findes i menneskers tanker. En sådan opfattelse kom først op i de følgende århundreder og er en selvfølge for mange mennesker i

dag, men hele livet var dengang præget af kristendom og kirke.

Stadig i første halvdel af 1500-tallet sagde Nikolaus Kopernikus (1473–1543), at Jorden ikke er verdens centrum, men at Jorden og alle planeterne kredser om Solen.

I århundredets sidste halvdel opdagede Tycho Brahe, at selve verdensrummet slet ikke er indrettet, som den store filosof Aristoteles (384–322 f.Kr.) havde tænkt sig til for næsten to tusind år siden. Det indså Tycho Brahe efter nøjagtig måling af positioner for den nye stjerne, der viste sig i 1572 i stjernebilledet Cassiopeia.

Ved at måle stjernens position i nogen tid kunne han bevise, at stjernen var længere borte end Månen. Men derude blandt vandrestjernerne, planeterne, belærte Aristoteles jo, at der kun er planeter. Så måtte den være helt ude blandt fiksstjernerne, men der var alt jo uforanderligt. Tycho Brahe drog den slutning, at det var en helt ny fiksstjerne, og at det derfor var "det største mirakel siden verdens skabelse" [1]. Undersøgelsen af "Nova Stella" og bogen derom fra 1573 gjorde den 27-årige Tycho Brahe berømt i hele Europa.

Nærværende artikel bygger især på en ny bog af Christianson [2] fra 2020. To tidligere bøger af den samme forfatter og andre bøger, også på dansk, er anført i [3]. Vi skal følge Tycho Brahes udvikling gennem barndom og ungdom med tre store rejser i Europa inden opdagelsen af den nye stjerne og hans tanker om denne stjerne. I de følgende år vendte han flere gange tilbage til den, men det har jeg desværre ingen nærmere oplysninger om.

Tycho Brahes øvrige store arbejde på Hven er udførligt beskrevet i Kvant i september 2016 [3]. I den artikel gennemgås også astronomiens udvikling gennem oldtid og middelalder som baggrund for forståelsen af det, der skete i Europa i 1500-tallet gennem design og konstruktion af nye astronomiske instrumenter og udvikling af nye metoder til observation og beregninger. Målefejlen på positioner blev bragt ned til en tiendedel, hvilket fremgår af de nyeste undersøgelser af de gamle stjernekataloger, idet man nu kan projicere de moderne positioner tilbage i tiden med overlegen nøjagtighed.

De første femten år

Skrig fra barnefødsel ved daggry, og "så var min søn Tyge født om dagen mellem kl. ni og ti på Knutstorp [Slot]" i Skåne, skrev Otto Brahe. Det var den 14. december 1546, lige efter den korteste dag i den Julianske kalender. Han fik navnet: Tyge Brahe Ottesen,

Tyge efter sin farfar.

Beate Bille og Otto Brahe havde være gift i to år, og hun havde født en datter Lisbeth¹ før Tyge. Et år efter kom en anden søn, Steen. Nu havde Otto og Beate to sunde sønner, og "efter skæbnens særlige vilje skete det", at Tycho blev taget bort "uden mine forældres vidende" af "min elskede fædrene onkel Jørgen Brahe, som ... opdrog mig, og derefter understøttede mig generøst i sin levetid til mit attende år, og han behandlede mig altid som sin egen søn ... For hans eget ægteskab var barnløst".

Tychos "særlige skæbne" betød, at han blev sendt i latinskole, da han var syv år. "For min egen kære fader Otto Brahe var ikke særlig ivrig efter, at hans fem sønner, hvor jeg er den ældste, skulle lære latin". Jørgen Brahe og hans frue Inger Oxen ønskede, at Tycho skulle blive en kosmopolitisk renæssancehofmand som sin onkel Peder Oxen (1520–1575), og blive trænet i latin, græsk, humaniora og jura, så han kunne tjene som diplomat, administrator og rådgiver.

Han lærte hurtigt at læse, skrive, tale og forstå latin og var klar til at begynde på universitetet, da han var 12 år. Han kom til København og boede i huset hos en professor, som holdt øje med hans studier. Efter Christian III's Reformation var Københavns Universitet blevet reorganiseret med Wittenberg som forbillede, idet Melanchthons "studia humanitatis" var begyndelsen til alle videre studier. Philipp Melanchthon (1497–1560) indførte studenterne i klassisk litteratur på latin, græsk og hebraisk og lærte dem de humanistiske dyder om veltalenhed, lærdom og forsigtighed og samtidig den lutherske teologi og moral. Tycho trivedes ved disse studier og opdagede snart Ovid som sin foretrukne poet.

I hans andet år på universitetet indtraf en partiel solformørkelse den 21. august 1560, den gjorde et stort indtryk på ham, især fordi den var blevet forudsagt. Astronomi var ikke en del af hans forberedelse til jura, så Tycho havde ikke tilladelse til gå til forelæsninger om dette emne. Han reagerede ved at købe bøger og studere astronomi alene. Man kender disse bøger og kan således se, hvad der prægede hans syn på mange ting: hos Sacrobosco (1195–1256) lærte han om astrologi, jura og teologi, om Antikkens Aristoteles (384–322 f.Kr.) og Ptolemæus (ca. 100–170 e.Kr.). I 1561 købte han en bog af Peter Apian (1495–1552), hvor han læste om måling af vinkler på himlen og på Jorden, og hos Johannes Regiomontanus (1436–1476) fandt han trigonometri til beregning af positioner af objekter på himlen til brug ved opstilling af horoskoper.

Hos Giovanni Battista Carelli fandt han tabeller, såkaldte efemerider, med fremtidige positioner af Solen, Månen og planeterne beregnet efter Ptolemæus. Erasmus Reinhold af Wittenberg og Johannes Stadius havde beregnet positioner ud fra Copernicus' teori, og Tycho kunne se forskellene.

Da han var femten, havde Tycho i tre år studeret "trivium" med de klassiske sprog, litteratur og logik, og således gjort, som hans formynder ventede af ham. "Skoledrengen" Tyge havde samtidig banet sig den vej

mod stjernerne, som skæbnen havde bestemt for ham, helt af egen drift og uden, at nogen anede det.

Hans lærere betragtede ham som klar til studium af jura i udlandet, som Jørgen Brahe havde bestemt.

Tycho havde den ældre søster, fire brødre og en lillesøster. Den et år yngre Steen drog til Sachsen i tjeneste hos den danske ambassadør. De tre yngre brødre, Jørgen, Axel og Knud, kom i væbnet tjeneste, søster Sophie (1559–1643), den yngste, gjorde allerede som fjortenårig astronomiske studier sammen med Tycho.

Tychos tre første rejser 1562–1570

Vi kan følge, hvordan Tychos syn på astronomi og astrologi udvikledes på rejserne ved mødet med tidens lærde og med andre interesserede i disse emner. Han blev gradvist klar over, at hans syn på, hvordan astronomien kunne udvikles, adskilte sig fra andres. Man skal måle vinkler på himlen mellem stjerner og planeter. Det er virkelig at "observere", mente han, mens andre brugte denne betegnelse på blot det at iagttage stjernerne, at se dem på himlen. På den måde kunne man ganske vist observere en konjunktion af to planeter og notere tidspunktet og datoen, og det var vigtigt i astrologien.

Tycho lagde mærke til, at de forudsagte tidspunkter for konjunktioner ofte var langt ved siden af. Det kunne der kun rådes bod på ved at observere planeternes positioner gennem mange år. Det ville kun være muligt, hvis man kendte mange stjerners positioner, så man med en vinkelmåling kunne observere vinklen mellem en planet og nogle stjerner.

Astrologien var således en vigtig drivkraft i Tychos arbejde, hvad man også ser af de mange samtaler, han havde på rejserne. Derfor observerede han senere positioner for et tusind stjerner på hele den synlige del af himlen i løbet af de tyve år på Hven. Samtidig observerede han planeternes positioner, han gjorde særlig meget ud af Mars, fordi han ønskede at måle parallaksen, afstanden, for Mars. Alle disse observationer af Mars fik senere enorm betydning, fordi Johannes Kepler (1571–1630) derved fandt lovene for planeters bevægelse, at de bevæger sig i ellipser [4] osv. Disse love førte Isaac Newton (1643–1727) til opdagelsen af de generelle love for legemers bevægelse: tyngdeloven, loven for massetiltrækning, og kraftlovene, kernen i det 17. århundredes naturvidenskabelige revolution.

Tychos interesse for astrologi mindskedes ikke ved en fejltagelse, han begik i 1566, men han lærte, at det er en vanskelig og farlig kunst. Han opsøgte kendte astrologer på rejserne.

Den første rejse februar 1562 til maj 1565

Jørgen Brahe havde valgt en ældre student, Anders Sørensen Vedel (1542–1616), som vejleder, og de rejste til Tysklands bedste juraskole ved Leipzig Universitet, hvor de boede hos en juraprofessor. Tycho hørte forelæsninger i jura og studerede hemmeligt de bøger, som Vedel havde forbudt ham at læse. Med en "himmelglobus på størrelse med en næve" lærte han navne på alle stjernerne.

¹Lisbeth Bille Brahe (1545–1563). Lisbeth omtales ellers aldrig i forbindelse med Tycho, da hun ikke spiller nogen rolle i hans liv. Hun blev gift med Hendrik Gyldenstierna, og de fik to døtre.

Det lærte han sig selv og også matematik uden hjælp fra en lærer. Han skrev, at en lærer nok kunne have hjulpet ham til at gøre hurtigere og større fremskridt, men det er langt fra sikkert. En professor i astronomi-astrologi ville have lært ham, at det var spild af tid at observere stjernerne, da det var hurtigere at slå op i en tabel eller almanak. Men observation var det, han elskede, og "uhæmmet af autoriteter var han fri til at tænke kreativt".

Det var farlige tider. I 1563 rasede et komplot mod den danske konge, hvor Peder Oxe var aktiv, i Tyskland og Danmark, og Danmark var ved at komme i krig med Sverige. Tycho Brahe læste jura og observerede i hemmelighed, at Saturn og Jupiter nærmede sig hinanden på himlen, en konjunktion, der indtræffer hvert tyvende år. Den næste konjunktion i 1583 ville ske i Vandtrekanten. Det ville få store astrologiske konsekvenser.

Tycho havde ingen instrumenter til observationer i 1563, men han opfandt et nyt redskab til observationer, en notesbog. Det var ikke en bog med kolonner af tal, men en journal, hvor han kombinerede fortælling, data og også illustrationer til beskrivelse af observationerne, efterhånden som de blev foretaget. Tycho's notesbog, et af klenodierne i moderne videnskab, findes på Det Kongelige Bibliotek i København. På første side står "Anno 1563, sytten år gammel, Leipzig". Den 18. august 1563 begyndte han at notere observationer af Jupiter og Saturn, mens de nærmede sig hinanden. Den 23. august smeltede de sammen til en kæmpe stor lysende plet. Konjunktionen fandt sted for hans egne øjne.

Hans begejstring fik et knæk, da han så efter i efemeriderne, tabeller med planeternes positioner: Carelli forudsagde den 17. september og Stadius den 24. august. Hvordan kunne de være så forskellige og så forkerte? "Jeg havde ikke længere tillid til efemeriderne" skrev han, fordi de "havde utålelige fejl". Tycho opdagede, at den sande kilde til astronomisk visdom ikke ligger i bøger, men i stjernerne selv.

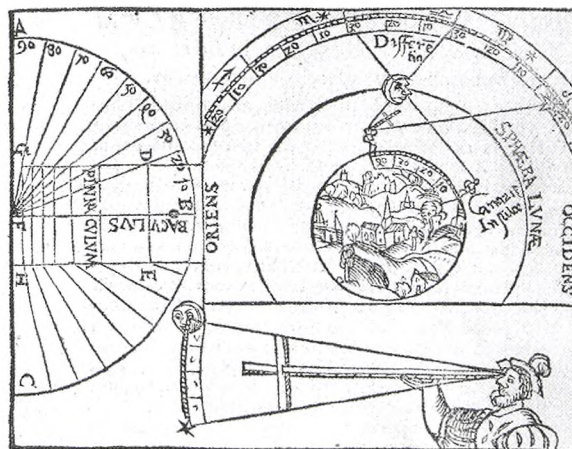
Endnu inden han var fyldt sytten, fortsatte Tycho Brahe med at gå sin egen vej og opdagede, at "hvad man selv gerne vil gøre, er ikke trivielt". Det er utroligt spændende således at følge den unge mands tanker næsten dag for dag i Christiansons bog [2].

Han begyndte også at lægge horoskoper for berømte mennesker, som han skrev ind i en anden notesbog. Han havde en tredje notesbog som andre studenter dengang, en stambog, hvor han bad venner, berømte professorer og andre skrive deres navne og kommentarer.

Ved at føre en notesbog indså han, at observere betød ikke kun at se: det betød at se, måle og notere. Til måling behøvedes instrumenter. Han begyndte i 1563 med en slags passer, idet han sigtede langs det ene ben til en stjerne og langs det andet til en planet, og derefter målte afstanden mellem spidsen af benene til beregning af vinklen mellem stjernen og planeten. I foråret 1564 lavede han sit første rigtige instrument en krydsstav, korsstav eller jakobsstav af ca. en meters længde. Inddelingerne på skalaen lærte han at lave af en ældre student, som havde metoden fra sin lærer Johannes

Homelius.

Tycho lavede sine første målinger med korsstav den 1. maj 1564, da han målte vinkelafstanden mellem fire synlige planeter og sammenlignede med efemerider af Stadius og Carelli. "Jeg målte stjernerne ivrigt, så snart det var klart, og tit målte jeg hele natten fra et vindue på første sal, mens min ledsager sov og ikke anede noget."



Figur 2. Apians illustration af en korsstav, 1564.

At "observere" havde tidligere nærmest været en regel for munke i klosteret, men det havde efterhånden i astronomi og medicin fået den nye betydning: "empirisk studium af fænomener".

Gennem sine observationer opdagede Tycho anomalier, som krævede forklaring, fx at målingerne med korsstaven ikke altid stemte med hinanden. Han søgte en årsag og lavede tabeller med korrektioner. En historiker i det 19. århundrede har kaldt denne behandling af "instrumentfejl" for en epokegørende opdagelse, der har været vejledende for moderne videnskab.

Hjem til et Danmark i krig

I maj 1565 kom Tycho og Vedel tilbage efter tre år i Leipzig. Danmark var i krig, hvor Tycho's slægtninge var med. Den Nordiske Syvårskrig mellem Danmark-Norge og Sverige-Finland havde været i gang siden 1563, da den begyndte som noget, man troede ville være en lynkrig.

Kort efter Tycho's hjemkomst snublede kong Frederiks hest på trækbroen til Københavns Slot og kastede ham i vandet. Jørgen Brahe sprang i voldgraven og reddede kongens liv, men Brahe blev syg og døde den 21. juni 1565. Da Jørgen Brahe ikke havde skrevet noget testamente, gik arven ikke til Tycho, men til Inger Oxe.

Derfor kom Tycho til at leve hos sine rigtige forældre på Aalborghus Slot, hvor Otto Brahe var guvernør, og han var medlem af Rigsrådet. Tycho observerede ikke hele det år, men fik gradvis overtalt sin far til at lade ham studere jura i udlandet.

Tycho's anden rejse fra foråret 1566 til sommeren 1567

Han rejste mod Wittenberg med en ledsager, Hans Aalborg, søn af en rådmand. Da en pest havde lukket Wittenberg Universitet, rejste de videre til Rostock i september, hvor de boede hos en professor i teologi.

Tychos problemer begyndte, da han tydede en måneformørkelse den 28. oktober 1566 som et udsagn om Suleiman den Stores død og satte et digt på latin op på universitetet med denne forudsigelse. Snart efter kom nyheden om, at sultanen var død næsten seks uger før formørkelsen. Det var en ydmygende belæring om farerne ved astrologi. Et meget værre slag fulgte snart efter.

Til en adelsmands opdragelse hørte fægtning, men den unge Tycho var dog ikke blevet dygtig nok til at undgå et slemt hug på næsen. Det pådrog han sig i en duel på daggert og kårde, figur 3, under en fest ved juletid 1566 i Rostock mod en anden dansk student Manderup Parsberg. Festens værtinde skyndede på mæglere, men ude i mørket var det allerede sket, Tychos ansigt var overstrømmet med blod, to uger efter, at han var fyldt tyve, var han mærket for livet. De to kamphaner blev senere forsonet, men Tycho måtte siden bære en næseprotese, som han hæftede på med en salve. Protesen havde hudens farve, den var af messing, altså ikke af skinnende sølv, som man ser hos skuespillere, når de skal spille Tycho Brahe.



Figur 3. Tobias Stimmer, træsnit af en duelscene med daggert og rapier, en kårde med skarpe klinger, som var populær i det 16. århundrede.

Hjem til et Danmark, der stadig var i krig

Helingen af såret gav ham tid til at tænke og finde ud af, hvad han ville med sit liv. Han vendte hjem i sommeren 1567 og meddelte, at han ville forlade jurastudiet og blive "naturfilosof", som man sagde dengang. Hvad har ikke hans familie sagt, da de så den elegante unge mand med de lyse øjne, det røde hår og det skrækelige sår, og hørte hans skøre idé? Fra Bille- og Oxe-familien kom lærde biskopper, ærkebiskopper og højtstående kongelige embedsmænd, men ingen "naturfilosoffer". Tychos brødre var på rette vej i træningen til at blive hoffets krigere. Men hvad tænkte Tycho dog på i disse urolige tider? Man kæmpede stadig i den Nordiske Syvårskrig.

Peder Oxe ville have forstået Tycho. Han var netop kommet hjem fra en tid i udlandet efter sin slehme kontrovers med kongen. Ved kloge diplomatiske manøvrer var han nået til fred med Frederik II og var vendt tilbage til sit sæde i Rigsrådet og var nu statholder for København. I august 1567 var denne geniale finansmand udnævnt til Rigshofmester, faktisk landets statsminister, og tog hånd om den tomme, kongelige kasse, herunder blev Øresundstolden gjort mere indbringende.

Hvad derpå skete, er ukendt. Tycho blev hjemme til udgangen af året uden at observere stjerner.

Den tredje rejse fra december 1567 til august 1570

Den tredje rejse gik uden ledsager først til Rostock, hvor han ankom den 1. januar 1568 og straks begyndte at observere stjernerne. Den 14. januar 1568 skrev han til Hans Aalborg, at han ville afvente fremtiden i Rostock, "Men min kære Hans, du må være helt tavs om årsagen til min rejse." Der var helt klart noget galt. Han havde problemer med Rostock Universitet på grund af duellen, men Peder Oxe hjalp ved at stille en kaution.

I det forår blev et kongeligt brev udstedt på Københavns Slot, som lovede Tycho Brahe det næste ledige embede som domherre ved Roskilde Domkirke med den godtgørelse, der fulgte. Det var, hvad han havde ventet på, og Peder Oxe må have ordnet det. Med en sådan sinecure og den forventede arv engang kunne han opretholde en livsstil som aristokrat og tilbringe resten af livet med at studere, hvad han havde lyst til.

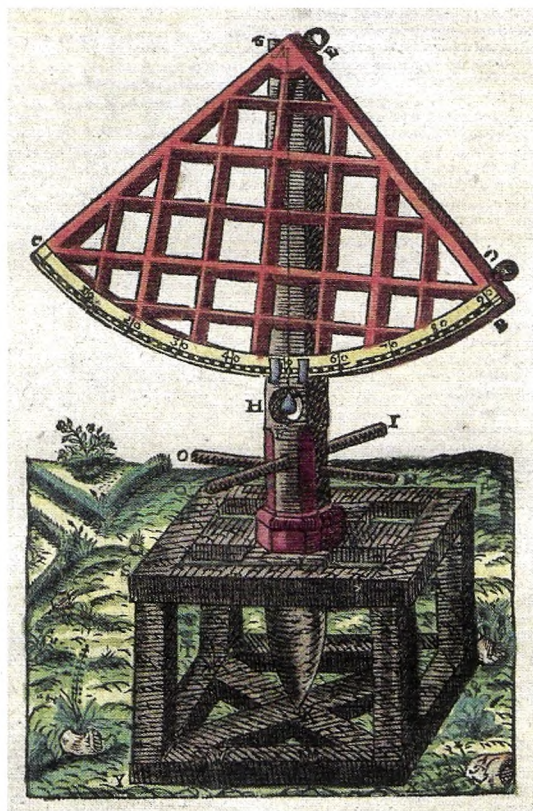
Da disse nyheder nåede ham, afsluttede han sine halvvarme studier af jura og rejste mod syd, muligvis gennem Wittenberg og Leipzig. I Nürnberg købte han en fin korsstav og et sæt astronomiske ringe. I Ingolstadt besøgte han Peter Apians søn, som var en ivrig observatør af himlen, og hvis kæmpestore, triangulerede kort over Bayern var meget beundret. Til sidst nåede han Basel, Paracelsus' og Erasmus' by, hvor han blev immatrikuleret ved universitetet sammen med andre danskere for at begynde sin fremtidige karriere som domherre og naturfilosof.

Tycho ønskede et mere nøjagtigt instrument og begyndte at eksperimentere med kvadranter med en assistent Hugo Blotius. Kvadranter var sædvanligvis små og blev holdt i hånden, men Tycho designede en med 1–1,5 meter radius og nøjagtigt inddelt, men den var så stor, at den viste sig at være ustabil i vinden. I forsøg på at løse et problem skabte han et nyt.

Tycho fortsatte med at opsøge andre autoriteter i astronomi-astrologi. Han besøgte Erasmus Oswald Schreckenfuchs i Freiburg im Breisgau og beundrede hans samling af instrumenter. I det tidlige forår 1569 forlod han Basel, fulgte Donau til Lauingen nær Augsburg og besøgte Cyprianus Leovitius, en tidligere student hos Philipp Melancthon, hvis astrologiske profetier var berømte. Tycho vidste, at Abu Ma'shar af Bagdad (Albumasar) århundreder tidligere havde opdaget mønstre i den universelle historie, som var forbundet med konjunktioner af Saturn og Jupiter. Disse konjunktioner vandrede gennem dyrekredsen på en måde, der gentog sig efter 800 år. Leovitius havde forudsagt store forandringer efter konjunktionerne i 1583 og 1603. Martin Luther forkastede astrologi, mens hans ven Melancthon troede på det. De mente begge, at Guds plan for verden blev åbenbaret gennem kometer, formørkelser og konjunktioner.

Tycho diskuterede konjunktioner med Leovitius. Da de talte om efemeriderne, spurgte han Leovitius, om han lavede astronomiske observationer, for så ville han have set, at de ikke stemte med selve himlen. Leovitius må være blevet forbavset, for han svarede, at han ikke

havde nogen instrumenter, men han havde observeret sol- og måneformørkelser, idet han brugte nogle venners ure. Tycho blev klar over, at den førende astronom-astrolog Leovitius aldrig observerede stjernerne og ikke kendte forskellen mellem at se på himlen og virkelig at observere, at måle på stjernerne. Tycho blev således endnu mere klar over, at hans metode var vigtig, og var fast besluttet på at følge den vej.



Figur 4. Tychos store kvadrant "Quadrans Maximus" i Augsburg. Man ser den solide, nedgravede ramme.

I april 1569 nåede han den store kejserby Augsburg. Her fandt han god lejlighed til astronomiske observationer og videregående kemiske forsøg, og han stiftede bekendtskab med flere ansete mænd, der delte hans interesse for astronomien, navnlig to medlemmer af stadens råd, brødrene Hainzel. Her fik han øjnene op for smukke instrumenter og maskiner, som Hainzel fik fremstillet af dygtige håndværkere til velhavende liebhavere.

Her begyndte Tycho Brahe på bygning af sin berømte store himmelglobus, et mesterværk for sin tid, på hvilken resultaterne af hans omhyggelige stjerneobservationer senere efterhånden blev indgraveret.

Tycho begyndte at observere hyppigere end nogensinde og designede et helt nyt instrument, en "sekstant", en slags stor passer.

Den ene af brødrene Hainzel ejede et landsted, i hvis have han besluttede at lade opstille nogle af Tycho Brahe konstruerede instrumenter (figur 4), der gjorde det muligt at bestemme stjernernes positioner og vinkelafstande imellem stjernerne. Kvadranten havde en radius på 5,5 meter og var så tung, at den krævede tyve mand til betjening, men den var mere nøjagtig end noget tidligere instrument. Tychos første observation er fra den 1. april 1570.

Den berømte franske filosof Petrus Ramus besøgte Augsburg på gennemrejse. Ramus udtalte sig meget beundrende til Tycho under besøget ved den store kvadrant, hvad der hjalp Tycho til at finde sin vej frem.

Tycho og Paul Hainzel observerede Solen sammen ved kvadranten for sidste gang den 16. maj 1570. Kort efter forærede han Hainzel sin sekstant og forlod Augsburg. Han havde nu fundet sin kaldelse: at være astronom og naturfilosof.

Hjem til et Danmark snart i fred

Tycho og hans brødre var blevet kaldt til deres fars dødsleje på Helsingborg Slot. Ved vintersolhverv 1570, på sin 24. fødselsdag, observerede Tycho Månen med en af sine jakobsstave, de eneste instrumenter, han stadig ejede. På den samme dag blev freden underskrevet efter Den Nordiske Syvårskrig. Otto Brahes liv ebbede langsomt ud, og han døde den 9. maj 1571.

Ved arveskiftet fik moderen Beate de krongodser, som Otto havde fået som sikkerhed for lån. Tycho og Steen fik Knutstorp Slot. Med freden i Skandinavien begyndte en periode med hidtil uset velstand. Indtægterne fra Øresundstolden blev tredoblet. De kongelige ejendomme blev reorganiseret, så de gav mere udbytte, og kong Frederik II kunne betale sin gæld tilbage. Renæssancens glans strømmede ind over Danmark. Peder Oxe styrede administrationen i Københavns Slot med en dygtig stab af unge folk herunder Anders Sørensen Vedel, som havde været slotsprædikant siden 1568. Kongen foretrak at holde hof på jagtslotte uden for København.

Kongen blev langt om længe formælet, og brylluppet blev fejret stort på Københavns Slot den 20. juli 1572. Tycho Brahe måtte tjene som adelig hofmand i den uge brylluppet varede, hvor der var fyrværkeri, skuespil med søslag og med kamp på land, og stor underholdning af folket i København. Mere fest for hoffet fulgte på Frederiksborg Slot og andetsteds det meste af sommeren.

Skønt Tycho blev hofmand, residerede han ikke altid på slottet, som Inger Oxe og andre af hans slægt gjorde. Da Tycho kom til København, havde han besøgt boghandlere, bogtrykkere og urmagere, spist med en Paracelsus' tilhænger professor Johannes Pratensis, og besøgt Peder Oxe, Vedel og andre på slottet.

Han boede også på Knutstorp, som var bygget om, og Beate Bille boede der. En dag fortalte hans mor ham, at han var kommet til verden med en død tvillingebror. Det bevægede ham dybt, han forfattede et klagedigt, en elegi efter Ovid med stemmen fra tvillingebroderen "på Olympen" og fik det trykt i København som sin første publikation. Knutstors sognekirke lå i Kågerød. Pastor Jørgen Hansen havde en søn, som efterfulgte ham, og en datter Kirsten Barbara Jørgensdatter (1549–1604), som vi ved meget lidt om udover, at Tycho blev indtaget i hende.

Et par timers ridt gennem ege- og birkeskov bragte Tycho de 20 km til Herrevad Kloster, som var grundlagt fire hundrede år tidligere af cisterciensere. Nogle af de gamle munke levede endnu og havde et apotek og et destilleri, og de sang til den lutherske gudstjeneste

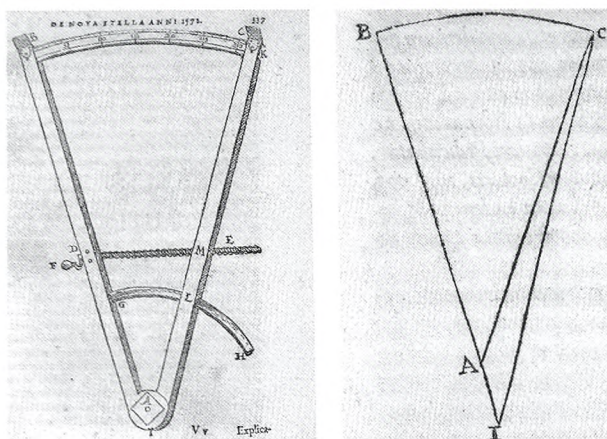
sammen med skoledrengene og deres lærer Canutus Joannis (Knud Jensen). Der var et bibliotek med en rig samling af manuskripter og trykte bøger. Tychos onkel, Steen Bille, boede der med sin frue Kirsten Lindenow i en stor bygning. Tychos yngste bror, Knud Brahe, tilbragte sine skoleår der, idet hans far havde givet efter og ladet den yngste søn lære latin.

På Herrevad var der mange aktiviteter og muligheder. Tycho kom her ofte og lærte meget til sit videre virke. Her var Danmarks vigtigste produktion af smedjærn til brug i Københavns kanonfabrik og andre kongelige værksteder. Tycho kunne oppe i skovene se, hvordan myremalm blev gravet op og smeltet til råjern, inden det blev smeltet til smedjærn. Tycho så disse mirakler af guddommelig kemi og menneskelig opfindsomhed og blev ivrig efter at have sit eget kemiske laboratorium. Det blev opbygget på Herrevad, ikke på Knutstorp, fordi Steen Bille, Canutus Joannis og en af de gamle munke delte interessen. Han fik Pratensis til at sende ham laboratorieudstyr fra København.

Steen Bille fik kongelig tilladelse dateret den 10. april 1572 til at indrette Danmarks første glasværk for venetiansk glas, altså ikke bare det kendte grønne glas. En mester fra Venedig, som fik det danske navn Tønnis Vind, kom herop med sine svende og fremstillede snart elegante glasflasker, drikkeglas og røde vinduesruder.

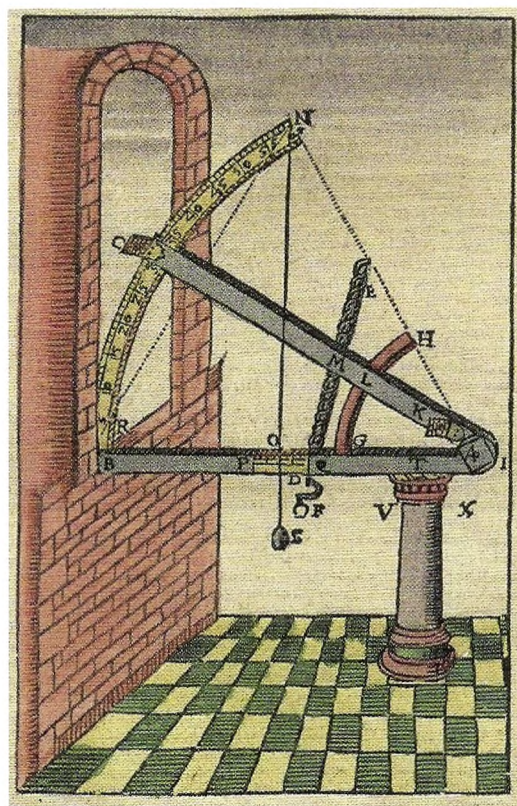
Tycho bad også Pratensis hjælpe med at finde en assistent til laboratoriet, det blev Nicolaus Michaelis Wiburgensis.

Herrevad var efterhånden blevet forvandlet fra at være et center for munkefromhed til et sted med aristokratisk Renæssance, hvor man dyrkede nye former for socialt liv, litteratur, naturfilosofi og teknologi.



Figur 5. Tychos sekstant med 30 grader vinkel og hans diagram til forklaring af instrumentets parallakse.

Tycho fik nu fremstillet en større version af den sekstant, han havde foræret Paul Hainzel. Armene var af fint valnøddetræ med en længde af 155 cm, og man kunne montere en inddelt bue på 30 eller 60 grader på den ene arm (figur 5 og 6). Nu kunne han igen observere og lavede tabeller til korrektion af den parallaksefejl, der skyldes, at øjet er lidt bag ved sigtekorneret. Han gentog altid en observation og erfarede, at to observationer aldrig giver det samme resultat. En observation var et eksperiment, som skulle verificeres. Det er en selvfølge for os i dag, men det var nyt på Tychos tid.



Figur 6. Tychos sekstant monteret i et vindue på Herrevad Kloster. Her med buen på 60 grader, og en lodline er anbragt.

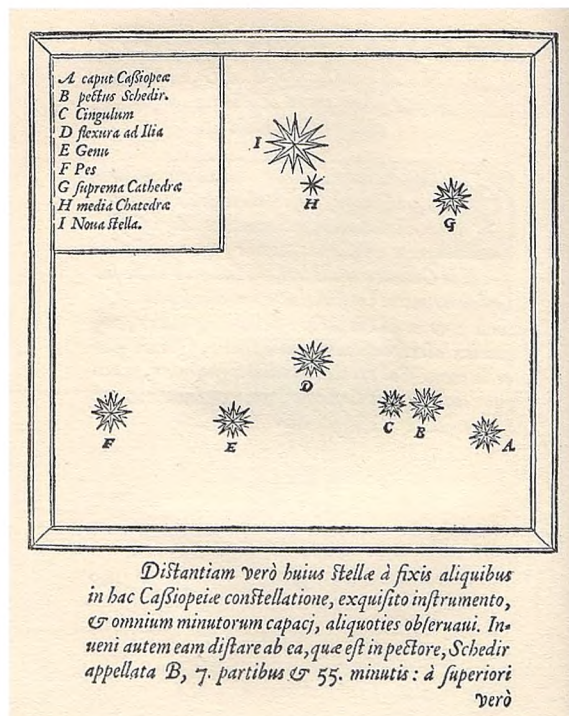
Tycho og novaen

I sommeren 1572, da kun få stjerner var synlige i de lyse nætter, brugte Tycho tiden i laboratoriet og på rejser mellem hoffet, Knutstorp og København. Efterhånden blev nætterne længere og mørkere. Ved efterårsfesten den 11. november gik Solen ned ved firetiden. Her er Tychos egne ord om det, han så på himlen i Cassiopeia lige over sit hoved, på vej fra laboratoriet til aftensmaden. Han skrev i sin første bog [1]:

Om den nye og aldrig siden Verdens begyndelse i nogen tidsalders erindring før observerede stjerne, som viste sig for allerførste gang i slutningen af forgangne år.

Den 11. november sidste år, da jeg efter solnedgang som sædvanlig betragtede stjernerne på den klare himmel, blev jeg opmærksom på, at der lige over mit hoved strålede en ny og ukendt stjerne, som var meget tydelig i forhold til de andre. Lige siden min barndom har jeg været fortrolig med alle himlens stjerner (denne viden er nemlig ikke så vanskelig at opnå), og jeg var helt sikker på, at der aldrig før havde været en stjerne på dette sted på himlen, eller i så fald en meget lille stjerne helt uden denne markante klarhed. Jeg blev i den grad slået af forundring over dette, at jeg såmænd ikke ville tro mine egne øjne. Men da jeg fandt ud af, at også andre kunne se den, når de fik udpeget stedet, var jeg

ikke mere i tvivl om, at der virkelig havde vist sig en ny stjerne dér. Det var i sandhed det største af de mirakler, der er indtruffet i naturen siden Verdens skabelse. Det kan i hvert fald sammenlignes med det, som indtraf ifølge de hellige skrifter: Solens gang blev holdt tilbage på Josvas bønner, og på det himmelske slagtoffers tid blev den formørket.



Figur 7. Tychos kort fra 1573 over Cassiopeia med "Nova Stella", Den Nye Stjerne.

Tycho forlod sine kemiske studier for at studere den nye stjerne. Det var en eksploderende stjerne, en supernova, men det forstod ingen i det 16. århundrede. Ingen anede dengang, at stjerner er glødende gaskugler. Mange i Europa stirrede på stjernen, nogle målte afstanden fra novaen til stjerner i Cassiopeia med korsstave. Paul Hainzel i Augsburg målte den dagligt i øvre og nedre kulmination.

Tycho målte med sin sekstant, både med buen på 30 grader og den med 60 grader som vist på de to figurer 5 og 6. Han observerede dag efter dag, måned efter måned, så længe novaen var synlig og verificerede hele tiden sine resultater. Han målte vinkelafstanden til andre stjerner og positionen i forhold til lodlinien. Især novaen ved I og stjernen D spiller en rolle, idet de ligger lige nord-syd med en afstand af ca. 8 grader. Når de måles i øvre og nedre kulmination, vil vinkelafstanden mellem dem være lidt forskellig, hvis novaen er nær ved Jorden. Denne "parallakse" skyldes, at iagttageren på Jorden har flyttet sig som følge af Jordens daglige omdrejning. Ganske vist troede Tycho Brahe og mange andre dengang, at hele himlen med stjerner og planeter drejede sig på 24 timer, mens selve Jorden ikke drejede, men parallaksen er der alligevel.

Tycho kunne se, at parallaksen måtte være ganske lille, da han efterhånden kendte nøjagtigheden af sine

målinger. Så han indså, at novaen måtte være længere ude end Månen. Meteoror eller kometer kommer og forsvinder, og de er nærmere end Månen ifølge Aristoteles, som man stolede på. Længere ude end Månen ligger først et rum, hvor planeterne og Solen bevæger sig, og i det rum sker ingen forandringer, igen ifølge Aristoteles. Han måtte derfor drage den slutning, at novaen måtte være en helt ny stjerne.

Mens alt dette optog ham, skete også andre ting. Omkring februar 1573 blev Kirsten Jørgensdatter med barn. Det var klart, at de aldrig kunne blive rigtig gift, en adelsmand måtte ikke ægte en ikke-adelig kvinde. Men Tycho holdt fast ved sin Kirsten hele livet, de fik tre sønner og fem døtre.

Mens Kirsten bar deres barn, blev stjernen svagere, men Tycho fortsatte observationerne, så længe det var muligt. Han var sikker på, det var en stjerne, men det havde han svært ved at forklare. Han forkastede til sidst Paracelsus' synspunkt, at den kom fra et frø plantet ved skabelsen og accepterede Melanchtons version af Aristoteles' fysik, som sagde, at guddommelige love herskede i naturen, og de vil evigt vise Guds visdom. Så den nye stjerne var et tegn sat på himlen imod de fysiske love som en advarsel til menneskeheden. Det var en sand stjerne, anderledes end stjernen over Betlehem, der skulle vise vejen for de hellige tre konger.

Tycho skrev et essay om stjernen, som han tog med til København for at diskutere det med Pratensis og andre, som han inviterede til middag. Under måltidet spurgte han til deres mening om den nye stjerne. Ingen af dem havde hørt om den, og en troede, at det var hans spøg, men Tycho smilede bare. Senere på aftenen tog han dem med udenfor, og de blev meget forbavset, da de så stjernen deroppe. De diskuterede astrologiske tyndinger og opfordrede ham til at publicere manuskriptet. Men Tycho var klar over, at mange rynkede på næsen, når aristokrater skrev bøger.

Snart så han en strøm af bøger og skrifter komme fra Tyskland, hvor mange havde set stjernen, men det meste var for ringe, da de fleste var dårligt informerede. Så til sidst indså Tycho, at noget måtte gøres [3].

Dette vides om Tycho, men det kan tilføjes, at stjernen blev set i mange andre lande, og at Tycho ikke var den første. Den italienske astronom Francesco Maurolico (1494–1575) observerede den muligvis før Brahe, og astronomen Wolfgang Schuler i Wittenberg allerede den 6. november 1572.

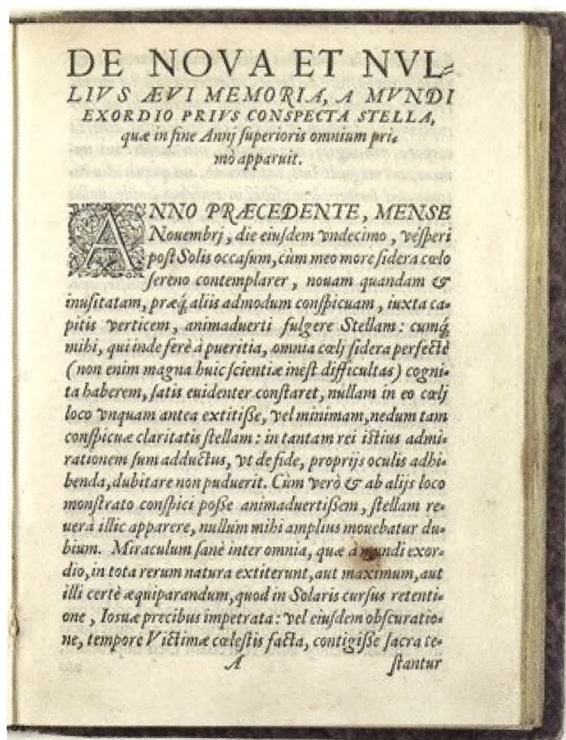
Bogen om den nye stjerne

Peder Oxe tilskyndede Tycho til at publicere bogen, og måske kunne han skjule sit navn bag et anagram, så Pratensis og Tycho gik til Lorenz Benedict i København, som fremstillede de smukkeste bøger nogensinde trykt i København. Inden længe var Tychos bog trykt i et elegant format, figur 8.

Bogen var smykket med et digt af Vedel og Johannes Franciscus Ripensis, og den åbnede med en dialog, hvor Pratensis i et blomstrende sprog prøvede at overbevise Tycho om at publicere sit værk, og Tycho gik tøvende med til det. Bogen fortsatte med at føre bevis ved hjælp af omhyggelige observationer af, at stjernen ikke kunne

være nærmere end Månen, og at den heller ikke kunne befinde sig i de syv vandrestjerners sfærer. Den måtte derfor være i den ottende sfære blandt fiksstjernerne.

Den forudsagde store politiske og religiøse omvæltninger, der ville komme munter overflod og fred, der ville følges af krigsretstilstand og sygdomme og til slut af uendelig sorg og død.



Figur 8. Danskeren Tycho Brahes matematiske overvejelse over en ny stjerne, som aldrig i nogen tidsalders minde har vist sig, men nu for første gang blev observeret i november måned år 1572 efter Kristi fødsel. Hertil kommer – foruden en nøjagtig beregning af en måneformørkelse i dette år og en elegant elegi til Urania – også et dedikationsbrev, hvori den samme forfatter fremlægger en ny og lærd metode til at skrive meteorologiske dagbøger for yndere af begge slags astrologi. Modellen for det år, der nu går på hæld, har forfatteren med enestående flid udarbejdet og sammenskrevet, men den kunne på grund af vanskeligheden ved at trykke de skemaer, hvoraf værket næsten udelukkende består, af tidsnød ikke udgives på denne plads. Lorens Benedict trykte den i København 1573.

Tychos astronomiske og astrologiske rapporter blev fulgt af en humanists tale om universet som et dynamisk forenet kosmos med Mennesket i centrum for at studere det synligt skabte og for at lære om Skaberens usynlige iboende majestæt og visdom. Tycho beskrev sin hensigt om at udbedre manglerne i astrologi som påpeget af Pico de Mirandola (1463–1494), og om at opnå mere nøjagtige observationer og planettabeller for at bestemme planeternes rækkefølge. Han fortsatte med at anvende sin nye astrologiske metode på den kommende måneformørkelse den 8. december 1573, og han kommenterede på den usikre tilstand i meteorologi.

Som del af sin astrologiske reform foreslog Tycho et nyt koordinatsystem på hele himlen, faktisk det ækvatoriale system, som alle astronomer bruger i dag, til afløsning af det ekliptikale system, som ellers altid anvendtes i astrologi.

Sidste kapitel i bogen var en lang “Elegi om Urania” i Ovids stil, som udelades her. Det ses, at alle genrer i Renæssancens retorik: dialog, astronomiske observationer, astrologiske profetier og humanistisk talekunst var til stede i Tychos tynde, smukt trykte bind.

I denne humanistiske ikklædning var desuden noget ukonventionelt, ja noget helt nyt: et omhyggeligt studium af en enkelt stjerne, baseret på observationer og datareduktioner, som Tycho selv havde opfundet. Her var en empirisk metode med blik tilbage til Antikken, men også med stort potentiale for fremtiden. Hans muse havde bestemt ham til at sætte sine mål uendeligt højt. Tycho Brahe skulle blive en ny Hipparchos (ca. 190–120 f.Kr.), der regnes for astronomiens grundlægger. Hipparchos observerede positionerne for 850 stjerner og skrev dem ind i sit stjernekatalog, hvis indhold har været kendt siden Antikken. Tycho ville tælle stjernerne på ny for eftertiden, og hans valg af netop 1000 stjerner til sit katalog med meget nøjagtigere positioner har sit forbillede hos Hipparchos.

Om Tychos nøjagtighed ved måling af den nye stjerne kender jeg ingen tal, men når han sagde, at stjernen var længere væk end månen, må hans målefejl have været betydelig mindre end Månens parallakse, der er 57’ (bueminutter). Det er den vinkel, hvorunder Jordens radius ses i Månens afstand.

Tychos endelige katalog fra 1598 på 1004 stjerner havde fejl på ca. 2,0’, men nogle af stjernerne var nøjagtigere [5]. Med de instrumenter, Tycho brugte indtil 1581, havde observationerne fejl på omkring 4’, hvad der var langt fra hans mål på 1’. Det opnåede han med sine nye instrumenter omkring 1585 [4]. Hipparchos’ gamle katalog, som det findes hos Ptolemæus, havde fejl på 25’, omkring en halv grad.

Tycho Brahe i årene efter novaen

Imidlertid var arven efter Otto Brahe blevet endeligt fordelt. Knutstorp Slot og besiddelser gik til Tycho og Steen. Steen kom tilbage fra Sachsen og blev snart “Hofskænk” ved Frederik II’s hof, ansvarlig for alle kongelige bryggerier og vinkældre. Nu var Tycho blevet en rig mand og kunne tænke på sin fremtid og på nye, bedre instrumenter end en sekstant af træ anbragt i en vinduesåbning.

Han designede en elegant kvadrant. Den havde en serie af buer som foreslået af Petrus Nonius til nøjagtig aflæsning af vinklen, og den havde et sigtemiddel med spalter, som vist på figur 9, i stedet for sigtehuller. Den var lavet af forgyldt messing, formodentlig af den kongelige urmager Steffen Brenner fra Nürnberg og havde en diameter på 39 cm. Stående på en solid sokkel og med en lodline var den meget mere nøjagtig end en håndholdt kvadrant af den størrelse.

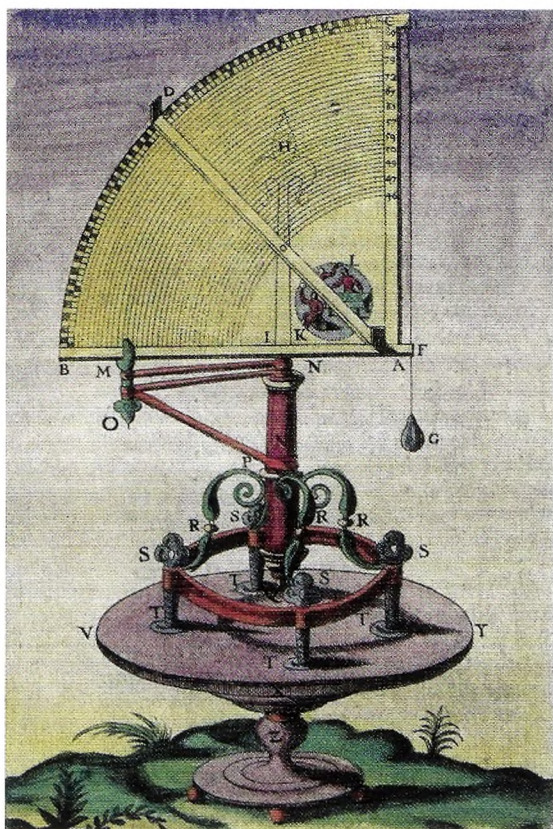
Tycho fik også bygget et forgyldt planetarium, der viste Månens og Solens bevægelser med opgang og nedgang. Han fik bygget en sekstant af stål med en arm på 117 cm, der bar noniusbuer.

Hans venner ved universitet ønskede, at han skulle holde en forelæsning om astronomi, men det ville han ikke, fordi han mente, at det var under en adelsmands værdighed. Han indvilgede dog til sidst, da nogle

adelige studenter opfordrede ham. Kong Frederik gav sin tilladelse og den franske ambassadør Charles de Danzay stillede sin residens i København til rådighed for denne begivenhed.

Hele universitetet samledes i den store sal torsdag den 23. september 1574. Tycho holdt en stor forelæsning om geometri og aritmetik, om den bibelske oprindelse af astronomisk visdom, om menneskets frie vilje og Guds visdom. Han talte om astrologi baseret på iagttagelser beskrevet med ord, og skelnede dette skarpt fra astronomiske observationer, som gav en eksakt matematisk beskrivelse af naturens fænomener.

Efter forelæsningen var der stor fransk banket, hvorfra man kender en bevinget samtale mellem Tycho og universitetets vicerektor, den store og omstridte teolog Niels Hemmingsen (1513–1600) om astrologi.



Figur 9. Øverst: Tychos lille kvadrant af forgyldt messing, 39 cm radius (ikke diameter som på s. 59 i [2]), bygget 1574, træsnit ca. 1598 i [6]. Nederst: Tychos nye sigtemiddel med spalter, der giver parallelle sigteretninger til stjernen.

Efter denne succes holdt Tycho forelæsninger om planetteori for en lille gruppe studenter i efterår og vinter 1574–75. Men i det lange løb var livet ved universitet ikke noget for Tycho Brahe. Hans enorme innovative kapacitet var ikke tilfredsstillet med at forklare Copernicus for en håndfuld studenter. Han og hans brødre, Steen og Axel, præsenterede sig for kongen den 20. december 1574 og tog deres afsked fra

hoffet. Brødrene skulle giftes, og Tycho ville forlade klasseværelset for at rejse udenlands.

Kongen var begyndt at erstatte den gamle Krogenfæstning med et majestætisk renæssanceslot, Kronborg. Han havde hentet dygtige kunstnere og håndværkere fra de krigshærgede Nederlande og ønskede, at Tycho skulle skabe kontakt til begavede folk i de lande, han besøgte. Det forår rejste Tycho af sted med en student Peter Jacobsen Flemløse (1554–1598), der senere arbejdede hos ham på Hven.

Tycho havde en hemmelig dagsorden, som han ikke nævnte for kongen: han ville finde et sted at leve som naturfilosof blandt lærde aristokrater og venner, som ville acceptere Kirsten Jørgensdatter som deres lige. Denne rejse gik først til Landgreve Wilhelm IV i Kassel, hvor Tycho blev meget vel modtaget som den berømte astronom, han var blevet med sin bog om den nye stjerne.

I den tidligere artikel [3] berettes udførligt om dette besøg i Kassel, om rejsens videre forløb og om to møder med Kong Frederik, da han kom hjem efter ni måneder. Resultatet blev, at han den 23. maj 1576 modtog øen Hven som sit fremtidige virkested samt tilsagn om yderligere kongelig gunst og støtte.

Faktisk modtog Tycho Brahe én procent af kongens indtægter i tyve år, det svarer til en tønne guld, siger man. Det er den største statsstøtte til et videnskabeligt projekt – nogensinde nogetsteds i verden.

Arbejdet på Hven kunne nu begynde med udvikling af instrumenter som beskrevet i [3].

Litteratur

- [1] C.G. Tortzen (2012) "Tycho Brahes indledning til 'De Nova Stella' 1573".
<http://www.astro.ku.dk/~erik/xx/Tycho1573.docx>
- [2] J.R. Christianson (2020) "Tycho Brahe and the Measure of the Heavens". Reaktion Books Ltd.
- [3] E. Høg (2016) "Landgreven i Kassel og Tycho Brahe på Hven", *Kvant*, bind 27, nr. 3, side 14-23.
<https://www.kvant.dk/upload/kv-2016-3/kv-2016-3-EH-landgreven-Kassel.pdf>
- [4] E. Høg (2018) "From the Landgrave in Kassel to Isaac Newton", i proceedings fra et møde i september 2016 i Bogota: "Astronomia Dinamica en Latinoamerica", *RevMexAA(SC)*, bind 50
<http://www.astro.ku.dk/~erik/xx/Erik3.Hoeg.Poster.pdf>
- [5] E. Høg (2017) "Selected astrometric catalogues",
<http://arxiv.org/abs/1706.08097>
- [6] T. Brahe: "Astronomiæ instauratæ Mechanica", engelsk oversættelse fra 2015, <http://astoft.dk/tbai.pdf>



Erik Høg er dr.scient. i astronomi. Han har arbejdet ved Hamborg Observatoriet 1958–73 og ved Københavns Universitet 1953–58 og 1973–2002, hvor han gik på pension. Han har især arbejdet med måling af positioner, bevægelser og afstande af stjerner med højest mulig præcision, fra Jorden og med to satellitter, Hipparcos og Roemer/Gaia. En efterfølger til Gaia til opsendelse i 2045 er på vej.

Physics Books & eBooks

Explore a range of **textbooks** and **monographs** across all subjects of physics designed to empower your learning and research

Proud to support Kvant by Danish Physical Society

25% discount code: **WSKVANT25** (til Jul 31, 2022)

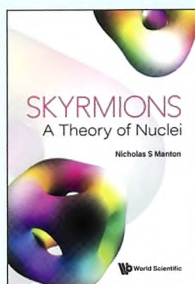
Skyrmions – A Theory of Nuclei

By (author): **Nicholas S Manton**
(University of Cambridge, UK)

"... Manton neatly surveys all the modern methods and results for Skyrmions in a way that skillfully takes the reader on a journey from novice to expert, with key features illustrated via a host of visually attractive colour images. This book provides a fascinating tour of Skyrmions and is highly recommended."

Paul Sutcliffe, Durham University

324pp Feb 2022 | Hardcover: **£85** | eBook: **£70**
978-1-80061-247-1 | 978-1-80061-249-5(ebook)

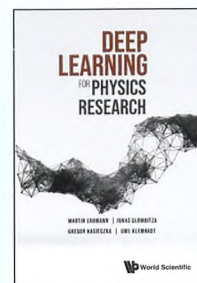


Deep Learning for Physics Research

By (author): **M Erdmann** (RWTH Aachen University, Germany), **J Glombitza** (RWTH Aachen University, Germany), **G Kasieczka** (University of Hamburg, Germany) & **U Klemm** (RWTH Aachen University, Germany)

This textbook addresses students and physicists who want to understand what deep learning actually means, and its potential for their own scientific projects. The authors offer a pedagogical description of the basic and advanced applications, as well as simple hands-on exercises for which python code and training data can be downloaded.

340pp Jun 2021 | Hardcover: **£85** | eBook: **£35**
978-981-123-745-4 | 978-981-123-747-8(ebook)

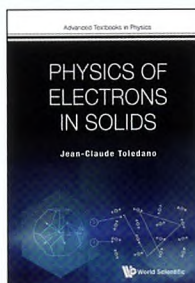


Physics of Electrons in Solids

By (author): **Jean-Claude Tolédano**
(École Polytechnique, France)

Primarily aiming to give undergraduate students an introduction to solid state physics, this book explains the properties of solids through the study of non-interacting electrons in solids. Each chapter contains a qualitative introduction as well as detailed calculations of utmost importance to graduate students.

388pp Jun 2021 | Hardcover: **£115** | eBook: **£90**
978-1-78634-972-9 | 978-1-78634-974-3(ebook)



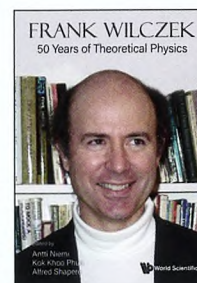
Frank Wilczek

50 Years of Theoretical Physics

Edited by: **A Niemi** (Nordita, Sweden), **K K Phua** (Nanyang Technological University, Singapore) & **A Shapere** (University of Kentucky, USA)

A tribute to Frank Wilczek's legendary scientific contributions, commemorating his 70th birthday and the first 50 years of his career as a theoretical physicist. The contributors include several of his PhD students, close collaborators, and both past and present colleagues.

352pp Mar 2022 | Hardcover: **£55** | eBook: **£45**
978-981-125-517-5 | 978-981-125-518-2(ebook)



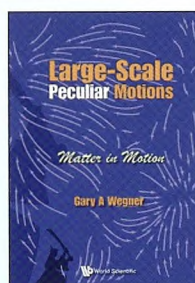
Large-Scale Peculiar Motions

Matter in Motion

By (author): **Gary A Wegner** (Dartmouth College, USA)

Presents the development of studies of peculiar motions along with discoveries in large-scale structure, the cosmic microwave background, baryonic oscillations, gravity waves, and their relation to current work on gravitation and dark matter.

380pp Nov 2021 | Hardcover: **£100** | eBook: **£80**
978-981-121-180-5 | 978-981-121-182-9(ebook)



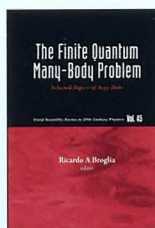
World Scientific Series in 20th Century Physics - Vol. 45

The Finite Quantum Many-Body Problem

Selected Papers of Aage Bohr

Edited by: **Ricardo A Broglia** (Niels Bohr Institute, Denmark)

236pp Aug 2019 | Hardcover: **£75** 978-981-120-813-3

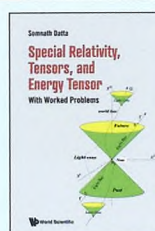


Special Relativity, Tensors, and Energy Tensor

With Worked Problems

By (author): **Somnath Datta** (National Council of Educational Research and Training, India)

384pp Mar 2021 | Hardcover: **£105** | eBook: **£85**
978-981-122-811-7 | 978-981-122-813-1(ebook)



The WSPC Handbook of Astronomical Instrumentation

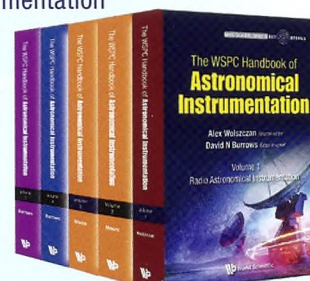
Major Reference Work

(In 5 Volumes) Vol 1: Radio Astronomical Instrumentation Vol 2: UV, Optical & IR Instrumentation: Part 1 Vol 3: UV, Optical & IR Instrumentation: Part 2 Vol 4: X-Ray Astronomical Instrumentation Vol 5: Gamma-Ray and Multimessenger Astronomical Instrumentation

Editor-in-chief: **David N Burrows** (The Pennsylvania State University, USA)

A comprehensive handbook of the state of the art of astronomical instrumentation with a forward view encompassing the next decade

1556pp May 2021 | Hardcover: **£1536** | 978-981-4644-31-0 | eBook: **£1228** 978-981-4644-34-1(ebook)



Find out more at tinyurl.com/wskvant

* eBooks listed on this page are for individual usage only.

For library purchases or other enquiries, please contact:

Ms. Andreea Zaharia (WSPC UK)

email: azaharia@wspc.co.uk | Tel: 44-20-7836-0888

Tycho Brahe: Fra ny stjerne til nyt verdensbillede

Helge Kragh, Niels Bohr Institutet

Tycho Brahe er berømt for at have opdaget en ny stjerne i 1572 og en ny komet fem år senere. Han søgte også at forklare den fysiske natur af de to himmellegemer. Hvori bestod hans opdagelser og skyldtes de virkelig Tycho og kun ham? Artiklen reflekterer over disse spørgsmål i forbindelse med en kort og mere generel diskussion af, hvad der kendetegner en videnskabelig opdagelse.

Når vi i år fejrer Tyge Ottesen Brahe alias Tycho Brahe, er den umiddelbare anledning, at han for 450 år siden og mere præcist den 11. november 1572 observerede en ny stjerne i stjernebilledet Cassiopeia. Det blev indledningen til den da 26-årige adelsmands eventyrlige astronomiske karriere, der i høj grad stod i gæld til det dansk-norske riges hersker Frederik II. Det var nemlig kongen, der i februar 1576 tilbød Tycho øen Hven som len med den ene betingelse, at han stillede sin videnskab i kongens tjeneste. Faktisk blev observatoriet og slottet Uraniborg ikke til på Tychos foranledning, men på kongens. Det var da også, hvad Tycho skrev i en kort selvbiografi fra 1598 [1, s. 11]:

Denne udmærkede konge, som ikke kan prises tilstrækkeligt, tilbød mig af egen drift og efter sin allernådigste vilje den ø i det vidtbekendte danske sund, som vore landsmænd kalder Hven ... Han bad mig om på den at lade opføre bygninger og fremstille instrumenter til astronomiske undersøgelser såvel som til kemiske arbejder og var så nådig at tilsige mig, at han i rigt mål ville bestride udgifterne hertil.

Fra Hven observerede Tycho en ny stor komet den 13. november 1577, næsten præcist fem år efter han havde set den nye stjerne fra det skånske kloster i Herrevad. Mens de to observationer ikke i sig selv var i klar modstrid med det etablerede verdensbillede, var det i høj grad tilfældet med hans analyse og fortolkning af dem. Det er ikke mindst disse innovative og for en tid kontroversielle fortolkninger, der har skabt billedet af Tycho som en dristig reformator af astronomien og en progressiv skikkelse i videnskabshistorien. Det glemmes nogle gange, at han var et barn af sin tid og som sådan stod med den ene fod i fortiden og den anden i fremtiden. Set i historiens lange (og anakronistiske) lys var han både progressiv og konservativ. Ja, på visse områder var han endda reaktionær, hvis man kan tillade sig at bruge den betegnelse for vort nationale videnskabsikon.

Et himmelsk mirakel

Tychos delvise forankring i den gamle naturfilosofi illustreres af hans beskrivelse af den nye stjerne i *De nova stella* fra maj 1573. Efter tidens hovedsageligt aristoteliske standarder var himlene jo uforanderlige og perfekte, så hvordan kunne Tycho *forklare* det fænomen,

han observationelt havde bestemt som en ny fiksstjerne? Andre astronomer i tiden søgte at forklare det ud fra spekulative hypoteser i overensstemmelse med det aristoteliske dogme, fx at det skyldtes en hidtil upåagtet stjerne, hvis lysstyrke pludseligt voksede på grund af ændringer i atmosfæren lige under stjernen. Den slags forklaringer eller bortforklaringer afviste Tycho. Han redegjorde nøje for sine observationer og argumenter, men uden at komme nærmere ind på stjernens fysiske natur og helt uden at forklare dens fremkomst. Og det var der gode grunde til, for han mente, at fremkomsten af fænomenet var uforklarligt.



Figur 1. Frimærker udgivet i anledning af 400-året for Tycho Brahes fødsel (t.v.) og 400-året for udgivelsen af *De nova stella* (t.h.).

Som Tycho skrev i starten af *De nova stella*, så var stjernen “det største af de mirakler, der er indtruffet i naturen siden verdens skabelse” og sammenligneligt med det, der beskrives i Det gamle Testamente (Josva-bogen, kap. 10), hvor Gud stopper Solen i dens gang over himlen [2, s. 28]. Man kunne så tro, at Tycho brugte ordet “mirakel” i dets moderne og noget uskyldige betydning, nemlig som noget usandsynligt, der alligevel sker. Men det var der ikke tale om, for som han skriver lidt senere [2, s. 31]:

[Stjernens] tilblivelsesmåde kan ikke forklares, hverken af teologer eller filosoffer, ej heller af matematikerne selv. Vi må følgelig slå fast, at den er en vidunderlig åbenbaring uden for naturens orden stammende fra Gud, hele Universets skaber Den guddommelige højhed handler nemlig helt frit og er ikke bundet af naturens lænker, men kan, når den vil, standse vandene i floderne og få stjernerne til at gå baglæns.

Det må her bemærkes, at “filosoffer” ikke skal forstås i en nutidig betydning af ordet, men nærmest som “naturforskere” eller “fysikere”. Desuden nævner Tycho ikke eksplicit astronomerne, men han gør det dog implicit. De er nemlig indeholdt i “matematikerne”, idet astronomi i renessancen blev regnet for en matematisk videnskab.

Senere i *De nova stella* hedder det om stjernen, at den er opstået i selve æteren “uden for de almindelige naturlove”. Det afgørende er, at Tycho opfattede den nye stjerne som et egentligt mirakel – en “åbenbaring uden for naturens orden” – i omtrent den forstand som Thomas Aquinas og andre middelalderteologer havde knæsat i 1200-tallet. Ifølge denne forståelse af begrebet er et ægte mirakel (a) faktisk og ikke i sig selv overnaturligt; men det er (b) naturstridigt ved at bryde en eller flere naturlove; og så er det (c) forårsaget af Gud, der alene kan sætte naturlovene ud af kraft [3].

Tycho havde altså ikke noget problem med at “forklare” stjernen som et guddommeligt mirakel, men det havde senere naturfilosoffer i den naturvidenskabelige revolutions æra. Ikke fordi de var mindre faste i deres kristentro, hvad de på ingen måde var, men fordi de nu opfattede de fysiske love som direkte udtryk for Guds skaberkraft. Ville Gud bryde sine egne love? Ifølge Newton intervenerede Gud til stadighed i naturens orden, men kun ikke-mirakuløst ved at korrigere og finjustere naturlovene. Selv om Newton og hans samtidige ikke afviste, at Gud kunne lave egentlige mirakler, så afviste de, at han faktisk gjorde det eller rettere stadig gjorde det. Et videnskabeligt arbejde anno 1700, der forklarede et naturfænomen på den måde, Tycho havde forklaret den nye stjerne, ville blive ignoreret eller latterliggjort. Det er selvsagt stadig tilfældet.

Æter og kosmisk alkymi

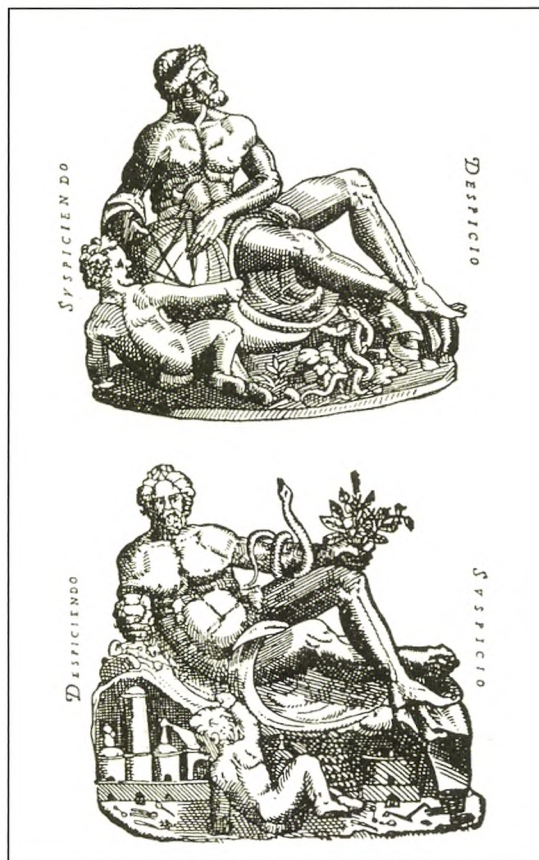
Når Tycho i 1572 beskrev den nye stjerne som en uforklarlig hændelse, var det med henvisning til dens fremkomst eller “tilblivelsesmåde”. Derimod mente han nok, at den mærkelige stjernes fysisk-kemiske natur kunne forklares uden direkte henvisning til Gud, sådan som han antydede i den rapport om kometen, han nedskrev i 1578. Her foreslog han, at såvel kometen som den nye stjerne var dannet af samme slags æter eller himmelske substans, som Mælkevejen bestod af. Denne form for æter var ikke helt ren og gennemsigtig, sådan som fiksstjernernes tætpakkede æter var, og dens tæthed var også mindre.

Det afgørende for Tycho var, at både kometen og novaen var skabt langt fra den jordiske sfære og derfor eksempler på, “at der forekommer en sådan ny fødsel i himlen, der består af den mest subtile, mest gennemsigtige og mest uforgængelige af alle substanser” [4, s. 133]. Hvad angår kometen og de omdannelser af æteren, der havde skabt den, henviste Tycho på samme sted til den navnkundige, men også kontroversielle naturfilosof og læge Paracelsus:

Fordi paracelsisterne anser himlen for det fjerde ildelement og erkender, at der kan forekomme både opståen og undergang, er det efter deres filosofi ikke umuligt, at

kometerne kan fødes i himlen på samme måde, som der undertiden forekommer sjældne gevækster på jorden og i metallerne og monstre hos dyrene.

Tycho var inspireret af dele af Paracelsus’ filosofiske system og ikke mindst af dets holistiske sammenkobling mellem mikrokosmos og makrokosmos. Da han i 1574 forelæste over astronomien ved Københavns Universitet, beskæftigede han sig med, hvad man kan tillade sig at kalde astrokemi eller måske bedre astroalkymi, hvor “astro” dog nok så meget står for astrologi som astronomi. Ikke blot var de syv metaller intimt forbundne med de syv planeter (inklusive Sol og Måne), der var også tilsvarende forbindelser eller affiniteter mellem de himmelske legemer og det menneskelige legemes syv organer.



Figur 2. Reliefskulpturerne ved Uraniborg. Det øverste relief symboliserer astronomien, det nederste kemien og medicinen. Bemærk Asklepios’ slange, oldtidens symbol for lægekunsten.

Som bekendt arbejdede Tycho på Uraniborg lige så flittigt med kemi som med astronomi, idet han anså de to aktiviteter som to sider af samme høje sag. “Også på alkymistiske undersøgelser eller kemiske eksperimenter har jeg ikke anvendt nogen ringe omhu” hedder det i hans selvbiografi, hvor han også nævner, at “det stof, som de behandler, har nogen analogi med himmellegemerne og deres virkninger” [1, s. 23]. Som kemien var den jordiske astronomi, således var astronomien den himmelske kemi. Budskabet om en analogi mellem det himmelske og det jordiske, mellem observatoriet og laboratoriet, blev slået fast ved indgangen til Uraniborg, hvor der

var opsat to reliefskulpturer. Indskriften på den ene var *Desciando / Suspicio* og på den anden *Susciendo / Descipio*, der kan oversættes som henholdsvis “idet jeg ser ned, skuer jeg opad” og “idet jeg ser op, skuer jeg nedad”.

Tychos opdagelser

Ifølge den amerikanske videnskabshistoriker Steven Dick var det først med Tycho Brahe, at man kan tale om opdagelsen af nye astronomiske objekter [5, s. 33]. Før den tid blev himlen anset for uforanderlig, hvilket gjorde det næsten umuligt at forestille sig nyheder og søge efter dem.

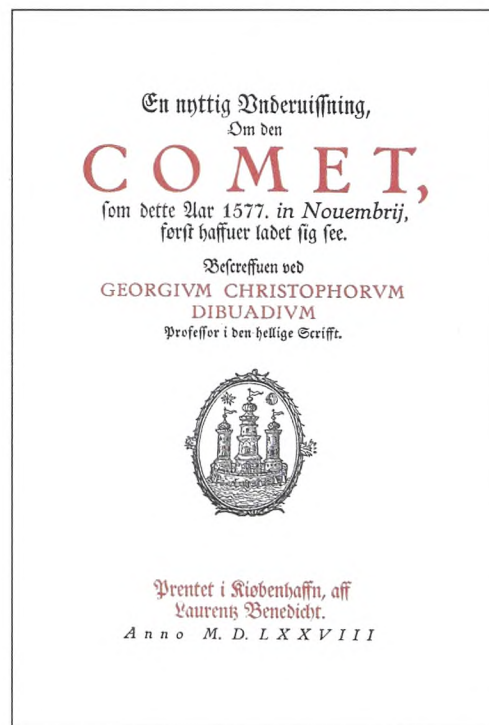
Tycho krediteres for to vigtige opdagelser, hvoraf den ene er stjernen fra 1572 og den anden er kometen fra 1577. Men i begge tilfælde var der astronomer, som tidligere havde iagttaget himmelfænomenet, så man kan umiddelbart undre sig over, at netop Tycho er blevet tildelt æren som opdager. I tilfældet med stjernen ved vi, at den blev iagttaget af bl.a. den anerkendte flamske astronom Cornelius Gemma og også af tyskeren Paul Hainzel, som Tycho tidligere havde mødt i Augsburg, og som han siden var i brevkontakt med. Sidstnævnte er i denne sammenhæng interessant, da han så tidligt som den 7. november ud fra præcise målinger konkluderede, at det lysende himmelske objekt måtte befinde sig langt over Månen. Hainzel vovede dog ikke at offentliggøre sine kontroversielle resultater, men efter at have modtaget et eksemplar af *De nova stella*, priste han Tychos skrift [6, s. 41].

Da Tychos nye stjerne jo i virkeligheden var en supernova (SN 1572), kan det være relevant at nævne, at der var rapporter om andre “nye stjerner” eller supernovaer flere hundrede år før Tycho. Således beskrev kinesiske astronomer allerede i 1054 et mærkeligt lysende objekt, der siden 1942 har været identificeret som Krabbetågen (SN 1054). Kineserne tillagde dog ikke observationen stor betydning, og da den ikke var kendt i Europa, spillede den ingen rolle for hverken Tycho eller andre renæssanceastronomer.

For kometen fra 1577 gælder tilsvarende, at den var blevet observeret flere gange før Tycho. Første gang var i det fjerne Peru den 27. oktober, altså mere end to uger tidligere. I det ikke mindre fjerne Japan blev den set den 8. november. Ikke engang i Danmark var Tycho den første til at observere og skrive om kometen, for på Sorø Kloster observerede teologiprofessoren Jørgen Christoffersen Dybvad det sælsomme fænomen den 11. november og det endda i selskab med kongen [7, s. 227]. Efter mindre end to måneder havde Dybvad nedskrevet sit danske og astrologiske skrift om kometen, der underdanigst var dedikeret til Frederik II. Skriftet er tilgængeligt i et genoptryk i anledning af 350-året for dets udgivelse [8].

Dybvad eller Divadius, som hans latiniserede navn var, skiftede lidt senere sit professorat i teologi ud med et i matematik. Han accepterede som Tycho, at kometen var et tegn på himlens omskiftelighed, men hans argumenter byggede ikke på observationer og systematiske studier. I øvrigt var Dybvad også den første danske lærde, der kommenterede og priste Kopernikus’ heliocentriske

kosmologi, hvilket han gjorde i skriftet *Comentarii breves in secundum librum Copernici* fra 1569. Lige så lidt som Tycho tilsluttede Dybvad sig dog Kopernikus’ teori som en beskrivelse af det virkelige univers.



Figur 3. Forsiden til Dybvads skrift om kometen fra 1577.

På trods af de nævnte forgængere (og andre kunne nævnes) er Tychos prioritet med hensyn til de to opdagelser fra 1572 og 1577 i det store og hele berettiget. For hvad mener vi egentlig med en opdagelse? Her er det vigtigt, at begrebet om en videnskabelig opdagelse af et objekt eller fænomen X omfatter mere end blot en passiv iagttagelse eller registrering af X [9, s. 157-164]. At gøre en opdagelse er en aktiv mental proces, hvor X ikke blot observeres, men også identificeres som X, fx at X tilhører en bestemt kategori af objekter eller fænomener. Desuden vil man ofte (men ikke altid) hævde, at opdagelser kun kan vedrøre, hvad der faktisk findes i naturen, og derfor hvad der er sandt. Der er dog nogen uenighed om, hvorvidt dette kriterium skal henvise til moderne viden eller kun den bedste viden på den tid, da opdagelsen blev gjort. Endelig er der blandt filosoffer og historikere enighed om, at opdagelsesbegrebet indeholder et socialt element. En videnskabelig opdagelse er ikke en privat affære, men må indebære, at opdagelsespåstanden kommunikerer til den relevante videnskabelige offentlighed og godkendes af en væsentlig del af denne. Afvises den, er den netop blot en opdagelses*påstand* og ikke en opdagelse.

Efter de nævnte kriterier er det rimeligt at konkludere, at Tycho faktisk opdagede såvel den nye stjerne i 1572 som kometen fem år senere. Når man alligevel kan nære tvivl med hensyn til hans opdagelse af kometen, skyldes det kun, at Tycho ikke straks publicerede sine undersøgelser og konklusioner om den. Han skrev ganske vist i 1578 et dansk manuskript beregnet til kongen, men det blev aldrig offentligt kendt endside udgivet og findes vist ikke længere. Først lang tid senere

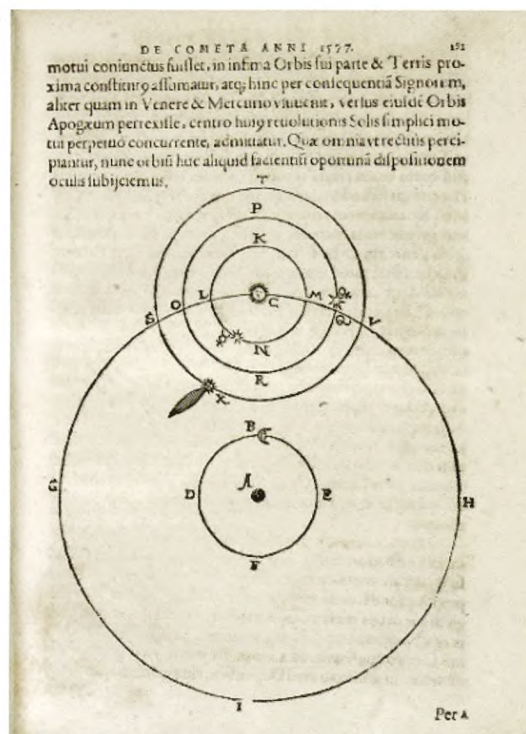
fandt man en tysk version af manuskriptet med en forkortet titel, der på dansk er *Om kometernes oprindelse* [4]. En fuld beskrivelse af kometen måtte vente til 1588, da Tycho udførligt behandlede den i værket *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis*.

Astronomiske opdagelser og ikke-opdagelser

For at illustrere opdagelsesbegrebet skal jeg kort nævne nogle få episoder fra fire forskellige århundreder af astronomihistorien, der på den ene eller anden måde sætter Tychos opdagelser i perspektiv.

- Galilei opdagede Solens pletter engang i foråret 1611, men rapporterede først sine observationer og konklusioner i en bog trykt i marts 1613 med den forkortede titel *Istoria e Dimostrazioni*. Solpletterne var tidligere blevet observeret og beskrevet, men ikke erkendt som pletter på Solens overflade. Fortolkningen af dem blev genstand for en længere kontrovers mellem Galilei og Christoph Scheiner, der beskrev dem før Galilei. Allerede den 8. december 1610 så den engelske astronom Thomas Harriot solpletterne i sin kikkert og var klar over, at de hørte til Solen. Men da Harriot kun nedskrev sine observationer i en notesbog og ikke gjorde dem offentligt tilgængelige, opdagede han ikke Solens pletter.
- William Herschel så først den nye planet Uranus den 13. marts 1781, og 26. april samme år bekendtgjorde Royal Society hans opdagelse – dog ikke af en ny planet, men af en komet. Herschel var nemlig overbevist om, at han med sit spejlteleskop havde opdaget en komet, der nærmede sig Jorden, og det tog det meste af et år, før han indså sin fejltagelse. I mellemtiden havde Laplace og andre beregnet objektets bane til at være omtrentlig cirkulær og deraf sluttet, at det var en planet. Herschel opdagede altså noget i foråret 1781, men kan næppe krediteres for da at have opdaget planeten Uranus. Alligevel blev han hyldet for at have opdaget, hvad han først kaldte *Georgium sidus* til ære for den engelske konge George III.
- Er der en lille planet mellem Solen og Merkur? Det var, hvad den franske amatør-astronom Edmond Lescarbault bekræftede med observationer fra december 1859, og hvad med støtte fra videnskabsakademiet i Paris blev annonceret den 2. januar 1860. Lescarbault og flere andre astronomer mente, at opdagelsen af den nye planet Vulcan (som den blev kaldt) var virkelig, og at den kunne forklare visse uregelmæssigheder i Merkurs bane omkring Solen [10]. Men der var tale om en ikke-opdagelse. Vulcan viste sig snart at være en spøgelsesplanet, og problemet med Merkurs bane blev først løst med Einsteins generelle relativitetsteori fra 1915.
- Da Nobelprisen for 1978 blev tildelt Arno Penzias og Robert Wilson, var det for “deres opdagelse

af den kosmiske mikrobølgebaggrundsstråling”. Historien bag denne berømte opdagelse er dog, at ganske vist opdagede de to radioastronomer i 1964 en svag elektromagnetisk kosmisk støj, men uden at forstå, hvad støjen var, eller relatere den til kosmologiske teorier for universets udvikling. Koblingen til teorien om et Big Bang skyldtes andre og stammer først fra foråret 1965. Så Penzias og Wilson fik en Nobelpris for at have opdaget noget, de ikke vidste, hvad var. Man kan med rette diskutere, om de overhovedet opdagede den kosmologiske baggrundsstråling og, hvis de gjorde det, om det var i 1964 eller 1965.



Figur 4. Det tychoniske verdensbillede som fremstillet i *De mundi aetherei* med Merkur og Venus i omløb om Solen. Den store komet er anbragt i en cirkelbane uden for Venus.

Det tychoniske verdensbillede

Analysen af kometen fra 1577 inspirerede Tycho til med tiden at udtænke sin egen geocentriske kosmologi, som han i 1588 fremlagde i *De mundi aetherei*. Det såkaldte tychoniske system var en slags hybrid mellem det klassiske ptolemaiske og det nye kopernikanske alternativ. Det var konstrueret så snedigt, at det inden for stjerneskæren var geometrisk ækvivalent med Kopernikus' heliocentriske system, således at man ikke dengang kunne skelne observationelt mellem de to verdensbilleder. Tychos system var for en tid i 1600-tallet populært blandt især katolske astronomer, der på den måde kunne fastholde dogmet om Jorden som centrum i universet. Men systemet skulle vise sig blot at være en parentes i astronomi- og kosmologihistorien.

Jeg skal her nøjes med at fremhæve, at Tychos afvisning af det kopernikanske system var baseret på en karakteristisk blanding af, hvad vi i dag vil kalde videnskabelige og uvidenskabelige argumenter. Tycho

var grundlæggende aristoteliker, når det gjaldt Jordens fysik og den traditionelle skelnen mellem verden under og over Månen. Han kunne umuligt forestille sig en Jord, der drejede rundt om sig selv og tilmed var i omløb omkring Solen.

Nogle af Tychos argumenter var astronomiske, som manglen på en årlig stjerneparallaxe. Andre var derimod teologiske, nemlig med udgangspunkt i Bibelens henvisninger til den ubevægelige Jord, sådan som han allerede havde omtalt i sit skrift om den nye stjerne fra 1572. Tycho var måske ikke bibelfundamentalist, men nogle gange var det tæt ved. I sin brevveksling med den tyske kopernikaner Christopher Rothmann hævdede denne, at Bibelen ikke skulle læses helt bogstaveligt og derfor ikke – passende fortolket – udelukkede det heliocentriske system. Men den slags sofisteri ville Tycho ikke vide af, sådan som han meddelte Rothmann i et brev af 21. februar 1589 [11, s. 12]:

Thi større er og bør være Den hellige Skriffs autoritet og værdighed, end at den fortjener sådan tvetydig tolkning. Altså står til denne time Den hellige Skriffs autoritet urokket ... og du kan heller ikke fra den kant forsvare Kopernikus' standpunkt.

Endnu et eksempel på, at Tycho, som jeg formulerede det, stod med det ene ben i fortiden.

Litteratur

- [1] H. Buhl (1996) "Tycho Brahe: Liv, Gerning og Instrumenter", Steno Museets Venner.
- [2] T. Brahe (2002) "Om den nye stjerne", i J. Teuber, "Højdepunkter i Dansk Naturvidenskab", Gad, side 25–48, oversat af C.G. Tortzen.

- [3] H. Kragh (2008) "Er der plads til mirakler i naturvidenskaben?", i B.H. Callesen m.fl., "Mirakler", Aarhus Universitetsforlag, side 27–40.
- [4] J.R. Christianson (1979) "Tycho Brahe's German treatise on the comet of 1577", *Isis*, bind 70, side 110–140.
- [5] S.J. Dick (2013) "Discovery and Classification in Astronomy: Controversy and Consensus", Cambridge University Press.
- [6] W. Norlind (1970) "Tycho Brahe: En Levnadsteckning", Gleerup.
- [7] H. Kragh (2005) "Dansk Naturvidenskabs Historie", bind 1, Aarhus Universitetsforlag.
- [8] J. Dybvad (1572/1922) "Om Kometers Betydning som Jærtæg i Fordums Dage", Niels Thomsen.
- [9] H. Kragh (2004) "Naturerkendelse og Videnskabsteori: De Uorganiske Videnskabers Filosofi og Historie", Aarhus Universitetsforlag.
- [10] R. Baum og W. Sheehan (1997) "In Search of Planet Vulcan: The Ghost in Newton's Clockwork Universe", Basic Books.
- [11] K.P. Moesgaard (1974) "Copernicus' indflydelse på Tycho Brahe", *Astronomisk Tidsskrift*, bind 7, side 1–16.



Helge Kragh er professor emeritus ved Niels Bohr Institutet og arbejder især med de fysiske videnskabers nyere historie.

Frit flyvende sort hul

Christine Pepke Gunnarsson, *Kvant*

ASTROFYSIK. Astronomer har for første gang observeret et sort hul, som bevæger sig frit igennem rummet. Tidligere er sorte huller blevet observeret i binære systemer med en anden stjerne, hvor deres tyngdekraft holder dem sammen i kredsløbet.

Astronomerne har forventet, at isolerede sorte huller eksisterer, men det har ikke været muligt at bekræfte deres eksistens før nu. En del sorte huller dannes, når en stjerne dør og kolliderer under sin egen vægt i en supernova eksplosion. Da der er observeret mange supernovaer, forventede forskerne, at der eksisterede mange isolerede sorte huller, som de bare ikke har opdaget. Det er svært at observere sorte huller, da de ikke udsender stråling (med undtagelse af Hawkingstråling), og man kan derfor kun observere dem ved at se på, hvordan de påvirker deres omgivelser med deres enorme tyngdekraft. Det sorte hul krummer rumtiden omkring sig, så lys der bevæger sig forbi, vil blive afbøjet, forstærket eller dæmpet, ligesom når lys bevæger sig gennem en linse. Derfor kaldes effekten gravitationel linseffekt. Når lyset fra en stjerne bliver afbøjet af det sorte huls tyngdekraft, ser det ud som om, at stjernen

befinder sig et andet sted end den faktisk er. Det er dog svært at observere linseffekten pga. de store afstande, og det er ikke sikkert, at det er et sort hul, der skaber linseffekten. Fx kan en tung exoplanet også påvirke stjernen med sin tyngdekraft. Derfor skal man observere objektet længe for at udelukke andre muligheder.

I 2011 så forskerne en linseffekt fra en stjerne, hvor lyset blev forstærket 400 gange, og i flere år observerede de forstørrelsen af stjernens lys med Hubbleteleskopet og flere teleskoper på Jorden, blandt andet et dansk teleskop ved det Europæiske Sydobservatorium (ESO) i Chile. Forskerne opdagede, at stjernens position også ændrede sig, hvilket var uventet, og de foreslog, at denne ændring kunne være fordi objektet, der skabte linseffekten, var i bevægelse, så det trak i stjernens lys, når det passerede forbi. Forskerne fortsatte med at studere stjernen, og viste, at forstørrelsen havde en lang varighed, og de målte det forbipasserende objekts størrelse til 7 solmasser og dets hastighed til 45 km/s. Den langvarige forstørrelse og den store masse på det usynlige forbipasserende objekt indikerer også et sort hul. Her 11 år efter den første observation har forskerne bevist nok til at sige, at de har observeret det første frit flyvende sorte hul.

Kilde: www.nasa.gov/feature/goddard/2022/hubble-determines-mass-of-isolated-black-hole-roaming-our-milky-way-galaxy.

FAGPAKKE TIL FYSIK

**PRØV
GRATIS**
FREM TIL UGE 42

En fagpakke indeholder:



Grundbøger og temabøger, der lægger op til faglig fordybelse og er rygraden i din undervisning.



Et træningsmiljø, som bygger på det adaptive læringsværktøj boost®.



Digitale iPraxisforløb som du selv kan justere og videreudvikle efter behov.

Du sammensætter selv indholdet på praxisOnline.dk.

BOGPAKKER FRA PRAXIS

Tilmeld faggruppen til bogpakken fra Praxis og bliv opdateret med gratis grund- og temabøger til faget, få tilsendt lærereksemplarer af nye udgivelser og få samtidigt gratis adgang til hele vores digitale univers resten af 2022 med mulighed for at give elevadgang til udvalgte undervisningsmaterialer.

Se mere her: prx.dk/bogpakken eller skriv til Therese på mts@praxis.dk.



Find flere fagpakker her:
fagpakker.dk

Praxis Forlag A/S
Vognmagergade 7, 5. sal
1148 København K
www.praxis.dk

Praxis

Tre tychoniske bøger

Bertil F. Dorch, Syddansk Universitetsbibliotek og Institut for Fysik, Kemi og Farmaci, Syddansk Universitet

Det er 450 år siden, Tycho Brahe observerede den verdensberømte supernova i Cassiopeia. Observationen var en skelsættende videnskabshistorisk begivenhed, der sammen med Tycho Brahes øvrige virke var af afgørende betydning for udviklingen af den videnskabelige metode, forståelsen af vigtigheden af præcision og ikke mindst den efterfølgende revolution af det videnskabelige verdensbillede. Brahe beskrev sine opdagelser i bogen *De Nova Stella* og i sine øvrige værker, der har bevaret hans forskningsmæssige resultater til den dag i dag.

I år kan vi fejre, at 2022 er 450-året for Tycho Brahes observation af en Type Ia-supernova i konstellationen Cassiopeia i november 1572, som beskrevet af ham selv i værket *De Nova Stella*:

Den 11. november sidste år, da jeg efter solnedgang som sædvanlig betragtede stjernerne på den klare himmel, blev jeg opmærksom på, at der lige over mit hoved strålede en ny og ukendt stjerne, som var meget tydelig i forhold til de andre. Lige siden min barndom har jeg været fortrolig med alle himlens stjerner (denne viden er nemlig ikke så vanskelig at opnå), og jeg var helt sikker på, at der aldrig før havde været en stjerne på dette sted på himlen, eller i så fald en meget lille stjerne helt uden denne markante klarhed. Jeg blev i den grad slået af forundring over dette, at jeg såmænd ikke ville tro mine egne øjne. Men da jeg fandt ud af, at også andre kunne se den, når de fik udpeget stedet, var jeg ikke mere i tvivl om, at der virkelig havde vist sig en ny stjerne dér.

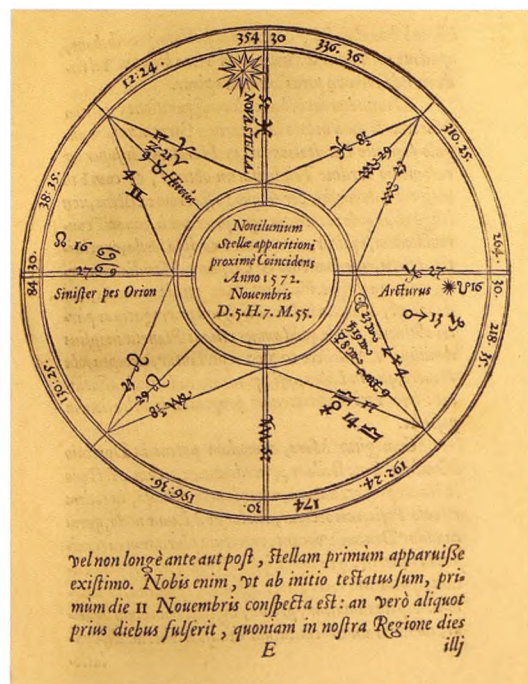
Brahes observation udgør en historisk baggrund for bl.a. viden om tunge stjerners udvikling og endeligt som supernovaer:

Det lykkede i 1945 astronomen Walter Baade (1893-1960) at genskabe supernovaens lyskurve ud fra Brahes detaljerede observationer. Han konkluderede på den baggrund, at SN1572, efter alt at dømme var en Type Ia-supernova, dvs. en ødelæggende eksplosion af en hvid dværgstjerne i et dobbeltstjernesystem, hvor man i øvrigt senere har fundet en mulig makkerstjerne af spektraltype G2, dvs. samme type som solen. Eksplosionen var ophav til en supernovarest, der den dag i dag observeres i det kendte W-formede stjernebillede Cassiopeia.

Derudover var observationen en skelsættende videnskabshistorisk begivenhed, der sammen med Tycho Brahes øvrige virke var af afgørende betydning for udviklingen af den videnskabelige metode, forståelsen af vigtigheden af præcision og ikke mindst den efterfølgende revolution af det videnskabelige verdensbillede.

Tycho Brahe beskrev sin opdagelse i bogen *De Nova Stella* i 1573 og publicerede i øvrigt generelt sine forskningsmæssige resultater i værker, der den dag i dag er bevaret og tilgængelige både i Danmark og

internationalt. Tychos eget "tychoniske" verdensbillede – med Jorden som centrum for det øvrige solsystem – var der dog ikke evidens for i hans observationer, men han havde afgørende betydning for efterfølgeren Johannes Kepler, og hans observationer lagde dermed, om end ufrivilligt, grunden til en ny matematisk beskrivelse af det heliocentriske solsystem, der via Keplers og Galileis love fandt den klassiske form i Newtons beskrivelse af tyngdekraften.



Figur 1. Tycho Brahes illustration af supernovaens position i Cassiopeia fra *De Nova Stella*.

Tre bøger om og af Tycho Brahe

Vi har studeret og analyseret nogle af Tycho Brahes bøger fra hhv. Herlufsholm Skoles Bibliotek ved Syddansk Universitetsbibliotek, samt fra Karen Brahes Bibliotek på Roskilde Kloster. Bøgerne giver et sjældent indblik i, hvordan astronomiske observationer blev registreret af Tycho Brahe på hans observatorium Uraniborg på Hven i slutningen af 1500-tallet og af, hvordan Brahe dengang udvekslede breve med andre astronomer i Europa.

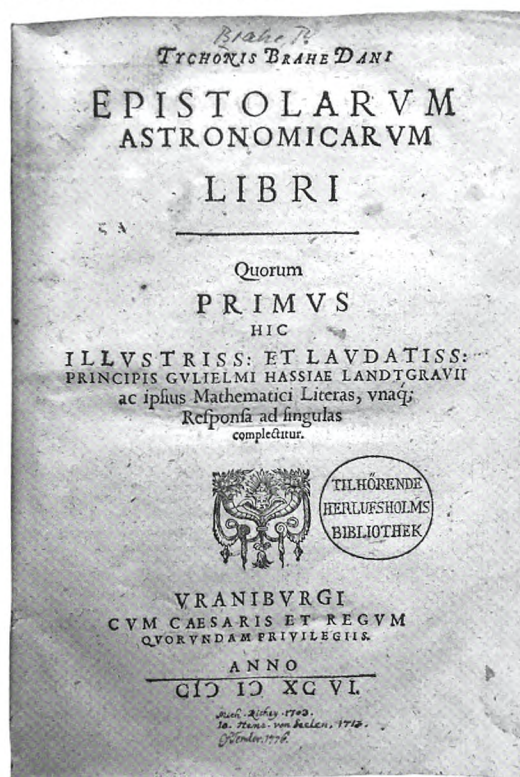
Bøgerne er blandt andet en del af den såkaldte Herlufsholm Skoles Bibliotek, der blev købt af det daværende Odense Universitetsbibliotek i 1968. Vi har

digitaliseret de to bøger “Historia Coelestis” (Albert Curtz, 1672) og “Epistolarum Astronomicarum Libri” (Tycho Brahe, 1596). Sidstnævnte, der er trykt på Tycho Brahes eget trykkeri på Hven, blev også udtaget til grundstofidentifikation ved hjælp af røntgenanalyse på SDU.

I samarbejde med Karen Brahes Bibliotek, der nu har til huse i Roskilde, har det været muligt også at digitalisere Tycho Brahes mest kendte værk “De Nova Stella” (Tycho Brahe, 1573). Karen Brahes Bibliotek, der oprindeligt befandt sig i Odense Adelige Jomfrukloster, er i dag del af Roskilde Kloster og Roskilde Stiftsbibliotek. Projektet er derfor foregået i samarbejde med klosterforvalter, kammerherre, oberst Søren Lyder Jacobsen, og stiftsbibliotekar Hans Michelsen.

Bøgernes omslag indeholder bl.a. fragmenterne af ældre tekster; disse er analyseret, tydet og oversat af forskningsbibliotekar Jakob Holck og forskningsassistent Steffen Hope fra SDU.

Efter digitalisering er bøgerne gjort frit tilgængelige på nettet, hvor der også kan downloades udvalgt information, herunder illustrationer og fakta fra bøgerne, se evt. linket sidst i denne artikel.



Figur 2. Titelbladet i Tycho Brahes Epistolarum Astronomicarum Libri med exlibris fra Herlufsholms Bibliotek.

Epistolarum Astronomicarum Libri

Epistolarum Astronomicarum Libri udgør en samling af Tycho Brahes brevvekslinger med andre personer inden for datidens astronomiske personkredse. Bogen hedder “Liber Primus” og lægger dermed op til, at der skal følge flere end denne ene. Bogen er udgivet af Tycho Brahe selv og indeholder også Tychos egne breve. Sproget i brevene er latin og tysk. Der udkom aldrig flere end denne første bog, da Tycho forlod Hven ikke længe efter dens udgivelse i 1596.

Bogen er for et par år siden blevet røntgenanalyseret af professor Kaare Lund Rasmussen på Institut for Fysik, Kemi og Farmaci (SDU). Omslaget på bogen stammer fra middelalderens munketekster, og i blækket blev blandt andet fundet kviksølv. Det er ikke mindst Tycho Brahes tilsyneladende lemfældige omgang med kviksølv, der tidligere er blevet bragt i spil som medvirkende til hans død den 24. oktober 1601 i Prag, om end dette senere er afvist.

Epistolarum Astronomicarum Libri indeholder en brevveksling mellem Tycho Brahe og blandt andre den tyske astronom og landgreve Vilhelm 4. den Vise af Hessen-Kassel.



Figur 3. Illustration af Uranienborgs facade fra Epistolarum Astronomicarum Libri.

Omslaget på bogen er en tekst fra middelalderen, som indeholder noder til gregoriansk vekselsang. Dengang brugte man tekster i hårdført materiale som omslag, når teksterne ikke længere skulle bruges i anden sammenhæng. Materialerne kunne herved genanvendes, så man således ikke blot sænkede udgiften hos bogbinderen, men samtidig sikrede en robust indpakning på bogen, så den var beskyttet mod slitage og smuds.



Figur 4. Epistolarum Astronomicarum Libri indbundet i sit originale fragment, hvor blandt andet noder og gregoriansk vekselsang fra et ældre dokument tydeligt ses.

Teksterne på disse omslag stammer fra middelalderen og er derfor skrevet eller trykt efter samtidens metoder. På omslaget til Epistolarum Astronomicarum Libri ses blækfarverne sort, rød og blå, som dengang

blev fremstillet på forskellig vis. I dag kan vi med moderne teknologi se, hvilke grundstoffer der var anvendt til at skabe farverne i blækket.



Figur 5. Forklaring om Hvens topologi fra Epistolarum Astronomicarum Libri.

55 TYCHONIS BRAHE LIB. I.
*Altitudines Meridianae aliquot Afixarum Stellarum,
 iuxta assignatos Annos per Quadrantes TYCHONIS
 BRAHE, diligenter observatae Uraniburgi, ubi
 Polus elevatur, p. 55-1-543.*

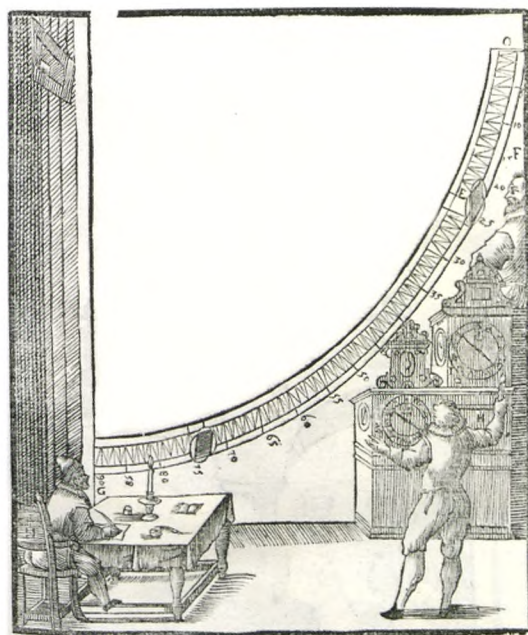
Ad finem Anni 1584 &		Labentem 1585	
NOMINA STELLA- RVM	Altitudines Meridianae P. M.	NOMINA STELLA- RVM	Altitudines Meridianae P. M.
Prima V	51 19	Ant. in mand. Ceti	36 31
Secunda V	52 50	Caput Algol.	75 22 1/2
Informis sup. caud. V	59 36	Præcin. ant. pla. Perf.	65 0
Penultima Pleiadum	50 50 1/2	Sequens in plan. Perf.	64 40
Ant. Chelar. 68	47 30	Sinist. pes Erichr.	66 30
Quæ est in sin. ped. 9	45 50	Dext. pes Bootis	49 39 1/2
In Capite 9 inferior	59 44	Præced. in Cane min.	43 8
Quæ est in Ventre 9	45 30	Lucida Hydra	27 12
Super. Cornu 9	56 55 1/2	Lucida in Claua Boot.	68 59 1/2
Genu 9	46 54 1/2	Dext. hum. Herc.	56 32 1/2
Femur 9	51 47	Sin. hum. Herc.	59 30
Cauda 9	50 59	Caput Herculis	49 2
Infima frontis m	9 21	Inf. in sin. man. Oph.	30 30
Media frontis m	12 47 1/2	Sinist. hum. Oph.	44 11
Suprema frontis m	15 33	Genu dext. Oph.	19 42 1/2
Cor m	8 45	Caput Ophiuchi	47 2
Superius cornu 8	20 21 1/2	Lucida Vulturis	41 56 1/2
Inferius cornu 8	18 7 1/2	Scap. Aquilæ	43 46 1/2
Præced. in cauda 8	15 40 1/2	Sin. manus Antioi	32 23 1/2
Sequens in cauda 8	16 11 1/2	Os Pegasi	41 7
Sin. humerus 8	26 46 1/2	Sinist. Pegasi	59 57 1/2
Dext. humerus 8	31 42	Lucida pector. Peg.	47 51 1/2
Med. a Ventr. 8	34 0	Extrema Pegasi	46 58 1/2
Man. d. x. Antioi	15 75		

Figur 6. Stjernepositioner i form af meridianhøjder af kendte fiksstjerner fra Tycho Brahes breve til andre astronomer i Epistolarum Astronomicarum Libri.

På Institut for Fysik, Kemi og Farmaci arbejder professor Kaare Lund Rasmussen netop med grundstofidentifikation ved hjælp af mikrorøntgenfluorescensanalyse, hvor en fokuseret røntgenstråle rammer

prøven, hvorved en elektron slås ud af atomerne. En elektron med en højere energitilstand falder tilbage i den kvantetilstand, som blev ledig. Herved udsender atomet en blød røntgenstråling, hvis energi afhænger af, hvilke grundstoffer der er tale om.

Blandt de identificerede grundstoffer er netop kviksølv i den røde blækfarve og kobber i den blå blækfarve. Disse var almindelige at bruge i blæk på den tid. Mængderne af kviksølv, som er fundet på omslaget af bogen, er for små til at være meget farlige for os i dag, men bogen skal dog behandles med en vis forsigtighed.



Figur 7. Illustration af Tycho Brahes murkvadrant på Uraniborg fra Historia Coelestis.

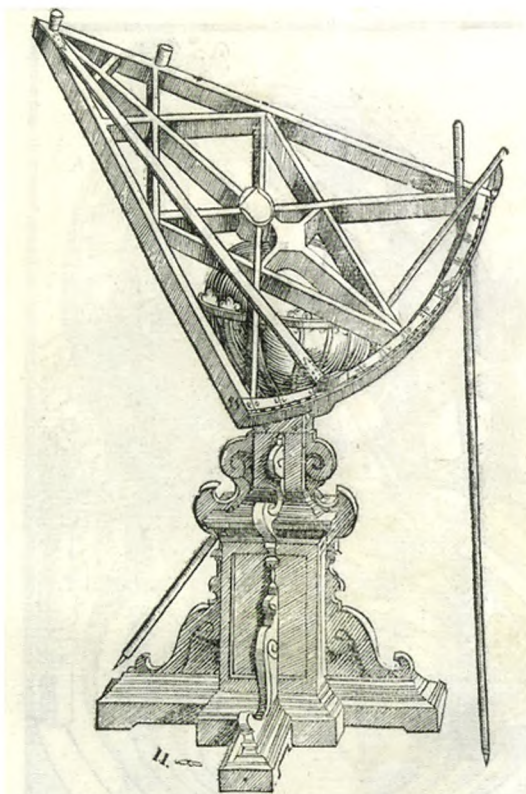
Historia Coelestis

Historia Coelestis er en samling af astronomiske observationer og beskrivelser primært fra Uraniborg. Observationerne strækker sig dog fra år 721 f.v.t. til 1634 og er samlet af den tyske astronom Albert Curtz. Bogen er omfangsrig og har måske været forsøgt lavet som et komplet opslagsværk.

Bogens forfatter er den tyske astronom Albert Curtz, der publicerede under pseudonymet Lucius Barrettus og er udgivet første gang i 1666.

Den 1140 sider lange bog starter ud med cirka 150 siders indledende tekster med forord, observationer fra 721 f.v.t. og frem til 1582, samt en beskrivelse af Tycho Brahe og hans imponerende og banebrydende instrumenter. Herefter følger cirka 900 sider med observationer udført primært fra Uraniborg fra 1582 til 1601, hvor hvert år har sit eget kapitel. Solen, Månen, planeterne og fiksstjernerne er en fast del af den årlige observationslog.

Fra 1586 og frem lægges der større vægt på mere detaljerede observationer af datidens øvrigt kendte planeter – dvs. Mars, Venus, Saturn, Jupiter og Merkur – hvor der er noteret datoer og koordinater, som det ses i de afsnit, der beskriver Solen og Månen. Bogen indeholder også detaljerede observationer i stjernebillederne fra 1586 og fremefter.



Figur 8. Illustration af Tycho Brahes stående sigteinstrument fra *Historia Coelestis*.

Særligt fokus er der på sol- og måneformørkelser, som følges nøje, og observationerne suppleres med illustrationer i 1584, 1588 og 1598.

I 1588 findes der også beskrivelser af solformørkelsen fra Tycho Brahes assistent, Johannes Kepler. Han har ligeledes skrevet en observation til bogen fra 1594.

I 1585 findes en refractionstabel af Merkur og i 1593 findes et stort stjernekatolog.

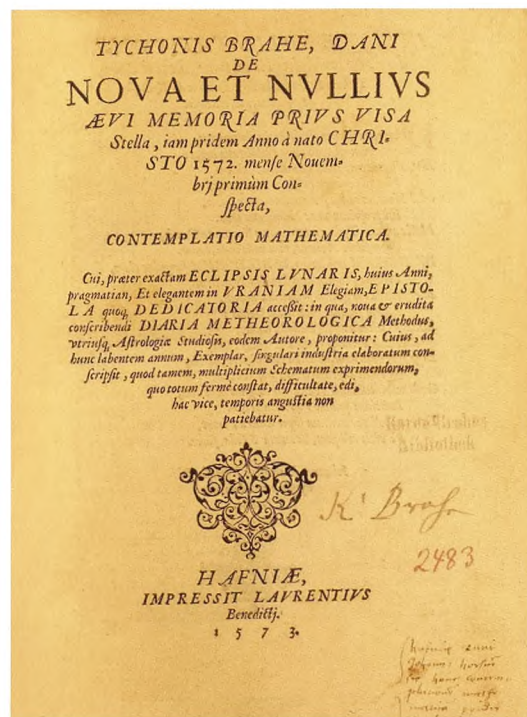
Afslutningsvis har forfatteren fortsat observationer frem til 1634 samt lavet en opsummering af særligt bemærkelsesværdige fænomener.

De Nova Stella

Roskilde Kloster råder over et eksemplar af Tycho Brahes berømte bog, *De Nova Stella* fra 1573. Bogen indeholder blandt andet Tycho Brahes observation af, hvad han dengang troede var en ny stjerne på himlen. I samarbejde med Roskilde Kloster har holdet fra Syddansk Universitetsbibliotek digitaliseret bogen.

Bogen ejes i dag af Roskilde Kloster og er en del af Karen Brahes Bibliotek, der i sin tid befandt sig på Odense Adelige Jomfrukloster, hvor Karen Brahe havde hjemme. *De Nova Stella* er udgivet året efter Tycho Brahes opdagelse og trykt af Lorentz Benedicht i København omtrent et halvt år efter at han havde set stjernen første gang, den 11. november 1572. Undersøgelsen af stjernen er det centrale i bogen, hvilket også fremgår af titelbladet. Men Brahe besluttede sig for at inddrage en længere række af andre tekster om astronomi og astrologi, herunder en astrologisk kalender for 1573, samt om den måneformørkelse, han havde beregnet skulle finde sted i december 1573. Kun indledningen til kalenderen kom med, da den viste

sig at være for kompliceret: Alt i alt består bogen af tre forskellige afhandlinger, men også en del andet materiale, fx æresdigte, hilsner og anbefalinger, bl.a. vedrørende professor i medicin Hans Frandsen (1532-84) og slotspræsten Anders Sørensen Vedel (1542-1616). Derudover indeholder *De Nova Stella* også et digt, "Om Urania", af Tycho selv, der står som efterskrift til bogen.



Figur 9. Titelbladet i Tycho Brahes *De Nova Stella* med exlibris fra Karen Brahes Bibliotek.

Tidligere har dele af *De Nova Stella* være udgivet i oversættelse fra latin til andre sprog, men i anledningen af 450-året oversætter seniorforsker Peter Zeeberg sammen med kollegaer fra Det Danske Sprog- og Litteraturselskab det samlede værk til dansk. Sammen med SDU's digitalisering, tænkes dette udgivet i fysisk form ved Syddansk Universitetsforlag senere på året.



Figur 10. Fragment af ældre tekst fra indbindingen af *De Nova Stella*.

Nyoversættelsen følger generelt de sproglige m.fl. valg, der er truffet i J.L.E. Dreyers udgave af teksten i den samlede udgave af Tycho Brahes værker, *Opera Omnia*, fra 1913.

Markering af 450-året

I forbindelse med 450-året for opdagelsen formidler et bredt partnerskab, der repræsenterer “det astronomiske Danmark”, en lang række emner, der refererer tilbage til Tycho Brahe og hans opdagelse. Det drejer sig selvfølgelig emnemæssigt fx om astronomi og astrofysik generelt, astrofysikken bag tunge stjerner, stjernedannelse og udvikling, samt supernovaer, om grundstofferne og dannelsen af disse, herunder betydningen for livets udvikling, kemi og biokemi. Dertil kommer en række emner, der relaterer sig til verdensbilledets forandring og videnskabelige revolutioner, til dansk historie og videnskabshistorie, samt til den videnskabelige metode og betydningen af præcision i videnskaben.

Markeringen af jubilæet finder sted parallelt i koordination mellem en række organisationer og institutioner, der sammen udgør det astronomiske Danmark, samt med Videnskabsår22, og vil bestå af både podcasts (Rumsnak), udstillinger (fx på SDU og Kroppedal Museum), samt den førnævnte genudgivelse og oversættelse af *De Nova Stella*.

Litteratur

- [1] T. Brahe (1573) “*De Nova Stella*”, Lorentz Benedicht, København, 185 sider.
- [2] T. Brahe (1596) “*Epistolarum Astronomicarum Libri*”, Uranienborg, 358 sider.

[3] T. Brahe (1913–29) J. L. E. Dreyer og H. Ræder (red.) “*Tychonis Brahe Dani Opera Omnia*”, Hauniæ, 15 bind.

[4] A. Curtz (1666) “*Historia Coelestis*”, 1672 udg., 1140 sider.

De tre “tychoniske” bøger omtalt her kan downloades gratis på <http://sdu.dk/brahe>

Tak

Tak til astronom Majken Brahe Ellegaard Christensen, forskningsbibliotekarerne Jakob Povl Holck og Mogens Kragssig Jensen, forskningsassistent Steffen Hope, professor Kaare Lund Rasmussen fra SDU, Peter Zeeberg m.fl. fra Det Danske Sprog- og Litteraturselskab og til Karen Brahes Bibliotek ved Roskilde Kloster.



Bertil Fabricius Dorch er astronom og lektor ved Institut for Fysik, Kemi og Farmaci ved SDU, hvor han har været overbibliotekar for universitetsbiblioteket siden 2013.

Generalforsamling i SNU

Dorte Olesen, SNU

Præsidentens beretning ved SNUs generalforsamling den 4. april 2022 opsummerede, at foredragene i 2021 grundet COVID-19 nedlukningen først kom i gang i april, idet de planlagte foredrag tidligere på sæsonen blev udskudt. I april og maj var der så online-foredrag om klimaforandringer og modeller for stjerners fødsel.

Festoverrækkelserne af Kirstine Meyers Mindelegat til fire lovende unge forskere var blevet udskudt fra december 2020, men i juni 2021 lykkedes det at holde et arrangement i Videnskabernes Selskab, hvor Astrid Trantum Rømer talte om “Elektronernes pardans”, Kasper Steen Pedersen om “Molekylærarkitektur”, Mathias Heltberg om “Kompleks dynamik i cellesignaler” og Nikolaj Kofoed Mandsberg om “Bakterier, dråber og edderkopper – hvor overfladisk en titel”.

Foråret 2021 bød også på flytning af den store vandreudstilling “H.C. Ørsted på ny – skønheden i naturen” fra Syddansk Universitetsbibliotek til Steno Museet, hvor den i udstillingsperioden april-december blev besøgt af 27.343 personer. I december holdt SNU et event på Steno Museet med foredrag og rundvisning på udstillingen af museumsinspektør Hans Buhl. I foråret blev der også udgivet en lille bog om udstillingen, som er blevet ret populær.

Efteråret 2021 bød på fem foredrag i H.C. Ørsted Bygningen i København, hvoraf fire var efterfulgt af medaljeuddelinger – der skete uddeling af gymnasielærermedaljen 2020 til lektor Lasse Seidelin Bendtsen fra Borupgaard Gymnasium og af grundskolelærermedaljen 2021 til lærer Hans Emil Sølyst Hjerl fra Gribskolen i Græsted i september, af sølvmedaljen 2021 til lektor Samel Arslanagić fra DTU Elektro i oktober, og af gymnasielærermedaljen 2021 til lektor Anja Skaar Jacobsen fra Københavns VUC i december.

Tilhørertallet ved foredragene var klart mærket af den fortsatte bekymring vedrørende COVID-19, men der kom dog mellem 60 og 100 tilhørere til hvert af efterårets arrangementer.

Det er en særlig fornøjelse at kunne fortælle, at energiselskabet Ørsted vil stille en ganske stor del af udstillingen op i deres kontordomicil i Gentofte fra begyndelsen af juni 2022 og forventeligt cirka et år frem.

SNU har sidst på året 2021 indgået nye sponsoraftaler både med energiselskabet Ørsted og med firmaet Topsøe, således at de årlige uddelinger af både gymnasielærermedaljen og grundskolelærermedaljen kan fortsætte i hvert fald frem til og med SNUs eget 200-års jubilæum i 2024. Carlsbergs Mindelegat har besluttet at støtte de i 2020 påbegyndte professionelle videooptagelser af SNUs foredrag frem til og med 2024, og vil ligeledes støtte en årlig uddeling af Kirstine Meyers Mindelegat frem til og med 2024. Derudover vil både Carlsbergs Mindelegat og Torkil Holms Fond også støtte andre aktiviteter, der fører frem til fejringen af Selskabets 200 års jubilæum i 2024, herunder udarbejdelsen af en bog om Selskabets historie siden 1924.

Regnskabet udviste før finansielle indtægter et overskud på 125.269 kr. mod et budgetteret overskud på 70.550 kr. Afvigelsen skyldtes primært lavere løbende udgifter i 2021, herunder sekretariatsudgifter.

Regnskabet blev godkendt, det samme gjaldt budgettet for 2022, der udviser et underskud – de foregående års overskud skal nu bringes i anvendelse. Kontingenterne forblev uændret.

Sven Frøkjær stillede sit direktionsmandat til rådighed, men blev genvalgt. Også revisor Steffen Jensen blev genvalgt.

Præsidenten gennemgik SNUs strategi og handlingsplan 2022-2024, der blev positivt modtaget.

Der var under eventuelt et enkelt forslag til direktionen, nemlig at undersøge mulighederne for at stille Kvant til rådighed også for synshæmmede.

Tyge Brahes observationer af den nye stjerne i 1572

Jens Peter Krog, Torup

Som det fremgår mange steder i nærværende udgave af Kvant, var Tyge Brahes observationer af den nye stjerne i 1572 en skelsættende begivenhed for vores forståelse af universet. Tyge Brahe udgav i 1573 sin berømte bog om emnet. Bogen var naturligvis skrevet på latin. I 1923 udgav Otto Gelsted med Tøger Larsens mellemkomst en dansk oversættelse. Takket være denne er det muligt også for ikke-latinkyndige at fordybe sig i emnet, som jeg vil gøre det i denne artikel.

Tyge Brahe (1546–1601) var søn af en dansk adelsfamilie i Skåne. På den tid forventede man, at adelens begavede sønner studerede jura for at blive kongens betroede embedsmænd. Tyge brød med denne forventning og blev i stedet astronom. Som skikken var i lærde kredse, latiniserede Tyge sit navn til Tycho. Jeg vil her holde mig til Tyge.

Da den unge Tyge Brahe observerede den nye stjerne, var han endnu et ukendt navn i astronomien. På det tidspunkt boede han på slottet Herrevad i Skåne. Først omkring 1580 fik han øen Hven i Øresund stillet til rådighed af Frederik 2. og opførte her Uranienborg, se figur 1 og 2. Jeg skal ikke her komme nærmere ind på Tyge Brahes liv. Det kan man læse om mange andre steder, fx i [1], der regnes for et af de mere grundige værker om emnet.



Figur 1. Slottet Uranienborg (med omkringliggende haveanlæg) opført af Tyge Brahe omkring 1580 på Hven som bolig, laboratorium og observatorium. Her afbildet på frimærke fra 1995.

Verdensbilledet i 1500-tallet

For at forstå betydningen af Tyge Brahes observationer, må man først repetere hvilket verdensbillede, der var fremherskende blandt datidens astronomer:

Kikkerten var ikke opfundet endnu, så man kendte kun de fem planeter og de cirka 850 stjerner, der kan ses med det blotte øje. Man kendte planeternes

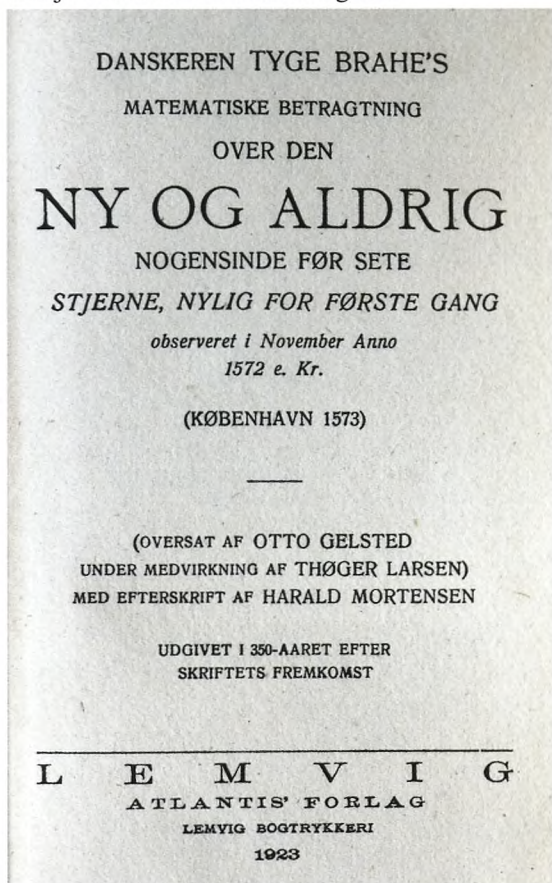
bevægelser på himlen med rimelig nøjagtighed. På den baggrund havde man opbygget en forestilling om, at månen, planeterne og stjernerne var ophængt i et system af sfærer, men man var uenige om, hvorvidt Jorden eller Solen var centrum i universet. I 1572 havde den unge Tyge Brahe næppe nogen selvstændig mening om dette spørgsmål, men han sluttede sig på dette tidspunkt til dem, der mente, at Jorden var centrum i universet. Senere foreslog han det såkaldte tychoniske verdensbillede, som omtales andetsteds i nærværende udgave af Kvant.



Figur 2. Ivar Johnssons statue fra 1946 af Tyge Brahe på Hven med forfatterens tre ældste børn i forgrunden. (Fotograferet sommeren 2009).

Man havde kvalitativt rigtige forestillinger om månens og planeternes indbyrdes afstande, men man havde ingen anelse om hvor meget større afstand, der er til stjernerne. Man havde korrekte forklaringer på sol- og måneformørkelser, men man forstod ikke, hvad kometer var. Mange astronomer mente, at kometer (ligesom stjernesud) måtte være atmosfæriske fænomener.

Man kendte det katalog over de synlige stjerners position og lysstyrke, som Hipparchos (ca. 190 f.Kr. – ca. 120 f.Kr.) havde udarbejdet sytten århundreder tidligere. Disse gamle data passede med, hvad man så i samtiden. På den baggrund var der almindelig enighed om fixstjernesfærens uforanderlighed.



Figur 3. Titelbladet fra Otto Gelsteds oversættelse [2].

Den nye stjerne i 1572

Det havde været overskyet i nogle dage, men om aftenen den 11. november 1572 var vejret klart. Da den da knapt 26-årige Tyge Brahe kikkede op mod himlen, fik han straks øje på, at der var kommet en ny stjerne i stjernebilledet Cassiopeia, som endda lyste klarere end nogen anden stjerne på himlen.

Den første tid lyste den så klart, at man under gunstige forhold kunne skimte den ved højlys dag. Senere aftog dens styrke. Da Tyge Brahe skrev om den i maj 1573, var den som en stjerne af 2. størrelsesklasse. Antageligvis er dens lysstyrke aftaget til usynlighed senere i 1573. Andre astronomer – både i Europa og i Kina – udgav også observationer af denne nye stjerne, men Tyge Brahe udgav i 1573 den første og langt mest grundige bog om emnet. Bogen var naturligvis skrevet på latin, men den blev i 1923 oversat til dansk af Otto Gelsted under medvirken af Thøger Larsen [2], se figur 3. Når man som forfatteren til denne artikel kun beskæftiger sig med astronomi og videnskabshistorie på hobbyniveau og ikke behersker latin, kommer denne oversættelse som en gave.

Bogen er inddelt i fem kapitler, hvis titler jeg gengiver her for at bibringe læseren en fornemmelse af datidens sprogbrug:

I. Om den ny og ingensinde før siden verdens begyndelse observerede stjerne, som viste sig for første gang i slutningen af forrige år.

II. Om denne nye stjernes stilling på himlen i forhold til fixstjernerne og dens længde og bredde i forhold til dyrekredsen.

III. Om dens plads i forhold til verdens diameter og dens afstand fra Jorden, universets centrum.

IV. Om dens størrelse, lys og farve.

V. Astrologisk bedømmelse over virkningen af denne stjerne.

Første kapitel

I første kapitel gør Tyge Brahe rede for, at man ved sammenligning med Hipparchos' stjernekatalog kan se, at stjerner i de mellemliggende 1700 år hverken er opstået, forsvundet eller ændret i lysstyrke. Historier om det modsatte har altid vist sig at handle om kometer. At der nu – som han gør rede for i de følgende kapitler – er tale om en ny stjerne, er altså ganske enestående!

Tyge diskuterer også, om den nye stjerne kan være af samme slags som den, der viste sig over Betlehem. Sidstnævnte kan ikke have været en stjerne som de andre på himlen. I stedet må den have *“haft sin plads i luftens nedre region nær Jordens overflade”*. Ellers havde den ikke kunnet udpege netop det hus, hvori Frelseren fandtes *“... da hele Jorden, sammenlignet med himlen, ikke har nogen bemærkelsesværdig størrelse”*. Tyge betvivler til gengæld ikke Betlehemsstjernens eksistens. Tværtimod fremhæver han Gud for at have oplyst de vise mænds sjæle og øjne, så de kunne se den.

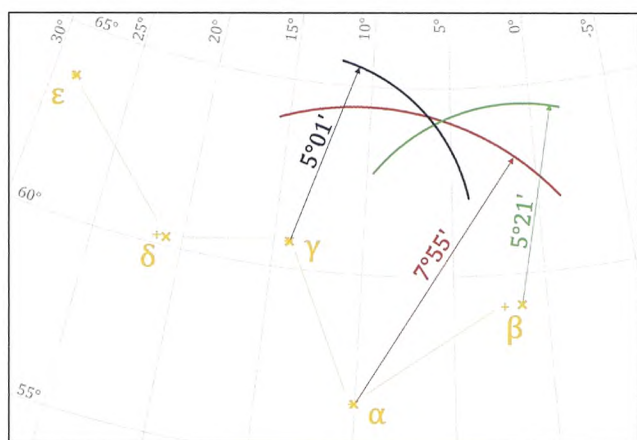
Andet kapitel

I andet kapitel beskriver Tyge Brahe, hvordan han har fastlagt den nye stjernes position på himlen. Her er oplysningerne så udførlige, at vi – 450 år senere – kan aflure, hvor nøjagtige hans måleinstrumenter har været. Tyge har målt vinkelafstanden mellem den nye stjerne og tre af de kendte stjerner i Cassiopeia til hhv. $7^{\circ}55'$, $5^{\circ}21'$ og $5^{\circ}01'$ som vist på figur 4. To målinger var nok til at fastlægge den nye stjernes position. Med tre målinger er den nye stjernes position overbestemt, og hvis de tre målinger ikke passer sammen, er det sandsynligvis udtryk for målefejl.

I de mellemliggende 450 år har de fleste stjerner rykket sig nogle bueminutter på himlen. Vi har i vore dage data for denne egenbevægelse (for eksempel i ESA's Hipparcos-katalog), så vi kan regne tilbage til, hvor de tre stjerner befandt sig i 1572. Som det anes på figur 4, når jeg frem til, at Tyge Brahes tre målinger ikke passer helt med hinanden. De to målinger omkring 5° skal øges med 5 bueminutter, og målingen ved $7^{\circ}55'$ skal reduceres med 5 bueminutter, for at det hele passer sammen.

Tyge Brahe anvendte det i figur 5 viste sigteapparat til målingerne. Det er en såkaldt halvsekstant, altså et sigteapparat, der spænder over vinkler op til 30 grader. Illustrationen og den tilhørende beskrivelse af

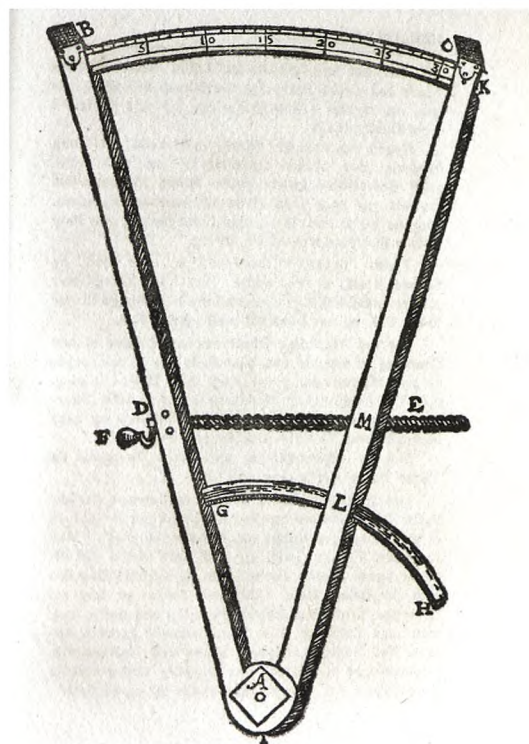
instrumentet var ikke med i den oprindelige, latinske bog, men den er tilføjet i efterskriftet i den danske oversættelse fra 1923. Jeg antager, at både tegning og beskrivelse i dette efterskrift stammer fra en senere udgivelse fra Tyge Brahes egen hånd. Gradskalaen, der var lavet af messing, var inddelt i hele bueminutter. Armene er 160 cm lange, så et bueminut har fyldt ca. 0,5 mm på gradskalaen. Det synes realistisk, at man har kunnet ridse streger i messingpladen med denne afstand. Instrumentet havde ikke de mere avancerede sigtemidler og skalainddelinger, som Tyge Brahe senere udviklede, og som man fx ser på de berømte illustrationer af murkvadranten på Uranienborg (se andetsteds i nærværende udgave af Kvant). En kopi af måleinstrumentet er udstillet på Stenomuseet i Aarhus. Gradskalaen og dens inddeling er dog ikke gengivet i detaljer på denne kopi.



Figur 4. Positioner for de fem klare stjerner i Cassiopeia i vore dage (+) og i 1572 (x). De tre cirkelslag med angivne radier er Tyge Brahes positionsbestemmelse for den nye stjerne.

Det fremgår af Tyge Brahes oplysninger i [1], at han har målt den nye stjernes position mange gange, og at resultaterne altid var de samme inden for 1 bueminut. Vi må derfor tro, at gentagelsesnøjagtigheden har været 1 bueminut eller bedre, og at de ± 5 bueminutter må tilskrives en form for systematisk fejl.

Hvis alle målinger faldt til den ene side, kunne forklaringen være så simpel, som at graderne på instrumentet var for store eller for små. Der er imidlertid tale om, at målinger omkring 5 grader ligger lidt for lavt, og at målinger omkring 8 grader ligger lidt for højt. Det kunne skyldes, at inddelingerne varierer i størrelse fra sted til sted på skalaen. Det skulle så dreje sig om, at inddelingerne var ca. 2,5 mm bagefter ved 5 grader og ca. 2,5 mm foran ved 8 grader, hvilket kun er ca. 90 mm længere henne på skalaen. Det vil være ret let for Tyge Brahe at kontrollere instrumentet for sådanne fejl. For eksempel kunne han udføre overbestemte positionsmålinger på almindelige fixstjerner udvalgt sådan, at forskellige områder på skalaen kom i anvendelse. Tyge Brahe har også kunnet måle vinkelafstande mellem de tre referencestjerner i Cassiopeia og udført samme kontrolberegning, som jeg har udført her. Det er ret sikkert, at Tyge Brahe har udført sådanne kontrolmålinger i hvert fald senere i sit virke. Måske har han ikke nået det, inden han publicerede i 1573.



Figur 5. Skitse af halvseksanten, som Tyge Brahe anvendte til målingerne i 1572. Fra efterskriftet til [2].

Først omkring 1587 lærte Tyge Brahe at korrigere sine målinger for lysets brydning i atmosfæren [3], der jo giver en fejl, der er nul ved Zenith og tiltager ned mod horisonten. Lysbrydningsfejl for stjerner i Cassiopeia, der altid står nær Zenith, vil imidlertid være mindre end 1 bueminut.

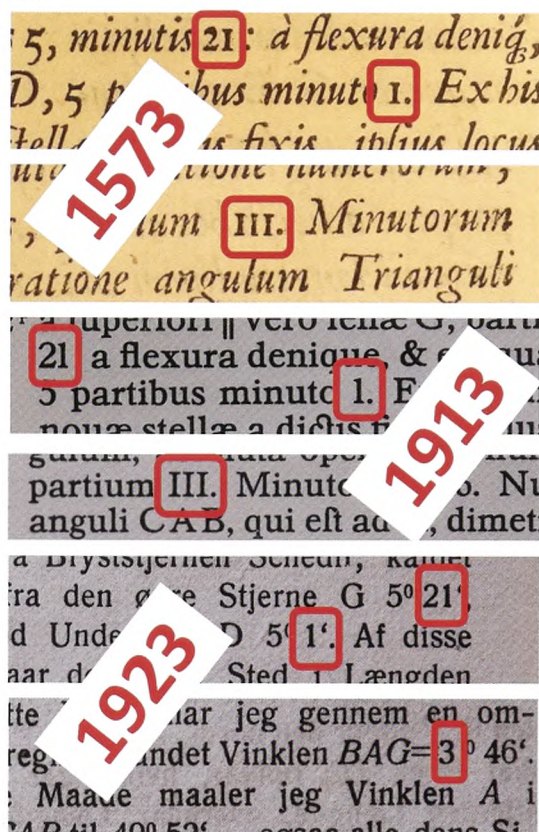
Alt i alt har jeg ikke fundet en åbenlys forklaring på de fejl, der synes at være i målingerne.

Ud fra sine målinger har Tyge Brahe beregnet den nye stjernes position på himlen udtrykt i længde- og breddegrader (med dyrekredsen og forårspunktet som reference). Tyge Brahe angiver alle sine mellemregninger i bogen, og et sted kommer han frem til en vinkel på $3^{\circ}46'$. Når jeg regner efter, finder jeg, at $111^{\circ}46'$ ville passe meget bedre. Så meget kan Tyge Brahe ikke have regnet forkert, især ikke, når der er tale om en mellemregning i en udregning, som i sin helhed ender med det rigtige tal. Det viser sig, at problemet er af typografisk art (se figur 6): I den danske oversættelse fra 1923 står der ganske vist $3^{\circ}46'$. Der findes flere udgaver af den latinske tekst. Den i vor tid mest udbredte udgave findes i Det Danske Sprog- og Litteraturselskabs udgivelse af Tyge Brahes samlede værker fra 1913 [4]. Her står "partium III. Minutorum 46."

Det tyder på, at typografen i 1913 er kommet til at tage bogstavet "I" i stedet for tallet "1", da der stod "111" i manuskriptet. Alle andre steder i 1913-udgaven er typen "1" brugt for tallet et, så typografen har haft begge typer til rådighed. Otto Gelsted, der var latinkyndig, men ikke specielt kyndig i matematik, har i 1923 læst "III" som romertallet III og skrevet 3 i sin danske oversættelse.

Takket være Syddansk Universitets digitalisering af Karen Brahes bogsamling (se andetsteds i nærværende udgave af Kvant), er den uhyre sjældne og kostbare oprindelige, latinske udgave fra 1573 nu tilgængelig for

offentligheden. Her kan man se, at bogtrykkeren i 1573 udelukkende har brugt typen “I” for tallet “1”. Trykfejlen ser således ud til at være opstået i 1913 og fejllæsningen i 1923.



Figur 6. De 111 grader som blev til 3 grader: I Tyge Brahes oprindelige udgave fra 1573 (øverst) brugte man konsekvent typen I for cifretet 1, fx i tallene 1, 21 og 111 som vist med rødt. I Det Danske Sprog- og Litteraturselskabs udgave fra 1913 (midterst) brugte man næsten alle steder typen I for cifretet 1, fx i tallene 1 og 21. Eneste undtagelse er tallet 111, som er sat med typen I. I Otto Gelstedes danske oversættelse fra 1923 (nederst) brugte man konsekvent typen I for cifretet 1, fx i tallene 1 og 21. Gelsted har læst 1913-udgavens III som romertallet 3 og ladet det gengive som arabertallet 3.

Tredje kapitel

I tredje kapitel gør Tyge Brahe rede for, at den nye stjerne er længere væk end Saturn og formentlig lige så langt væk som fixstjernerne. Argumentationen kan sammenfattes således: Den nye stjerne følger de andre stjerner bevægelse på himlen. Den må derfor sidde fast på en himmelhvælving (sfære), der ligesom fixstjernesfæren drejer en omgang i døgnet. Hvis denne hvælving havde så lille diameter, at Jorden derfra ville ses under en vinkel på mere end et bueminut, så ville man tilsvarende fra Jorden se den nye stjerne flytte sig mere end et bueminut i forhold til en fixstjerne, der ses i omtrent samme retning. Tyge Brahe målte mange gange i løbet af vinteren 1572–1573, at vinkelafstanden til nabostjernen vedblev at være $7^{\circ}55'$, altså at en eventuel ændring var mindre end et bueminut. Derfor var afstanden til den nye stjerne mindst 3400 jordradier (ca. 22 mio. km med vores nuværende viden). Den 26-årige Tyge Brahe havde endnu ikke egne data for planetbanernes diameter, så han måtte i stedet henvise til andre: "... dette [at Jorden ses under en vinkel på

et bueminut eller mindre] finder ifølge Mestrene sted i den ottende himmel [fixstjernesfæren] eller ikke langt fra denne i de tre øverste planeters [Mars, Jupiter og Saturn] højere kredse." Tyge Brahe anfører endvidere, at hvis den nye stjerne ikke var længere væk end de tre nævnte planeter, så ville den i månedernes løb bevæge sig lige så meget i forhold til fixstjernerne, som disse planeter gør, hvilket var i tydelig modstrid med hans observationer.

Alt i alt kunne Tyge Brahe fastslå, at der var tale om en stjerne, og at fixstjernesfæren derfor ikke var uforanderlig! Hen mod slutningen af tredje kapitel indrømmer Tyge Brahe dog, at der er en spinkel mulighed for, at den nye stjerne alligevel kunne være en komet. Tyge Brahe kendte nemlig til, at den højt anerkendte arabiske astronom Al bertegnius (858–929) 600 år tidligere havde observeret en komet, der var længere væk end månen og befandt sig i Venus' sfære. Hvis en komet virkelig kunne befinde sig i en planets sfære, så kunne den nye stjerne være en komet i en af de ydre planeters sfære. Dog tydede hverken dens udseende eller bevægelser på, at den nye stjerne var en komet. Denne usikkerhed pinte tydeligvis den unge Tyge Brahe, der endnu ikke selv havde set en komet. Han lover i slutningen af tredje kapitel, at "... hvis Gud vil, at der i vor Levetid opstaar en Komet, skal jeg søge at skaffe sikkerhed med Hensyn til denne Sag."

Måske blev Tyges løfte bemærket på højere sted. I hvert fald viste der sig i 1577 en tydelig komet, hvis bevægelser Tyge Brahe observerede meget nøjagtigt. Tyge Brahe kunne påvise, at kometen var længere væk end månen (og altså ikke var et atmosfærisk fænomen), og at den på sin vej trængte igennem flere planeters sfærer, hvad man ellers havde anset for umuligt. Han påviste også, at kometens hale hele tiden pegede væk fra Solen. Det er rigtigt, og i dag ved vi, at komethaler dannes ved, at solvinden driver fordampet materiale væk fra kometen.

Fjerde kapitel

Fjerde kapitel indeholder detaljerede oplysninger om den nye stjernes lysstyrke og farve. Tyge Brahe har med det blotte øje sammenlignet den nye stjerne med kendte himmellegemer i perioden fra 11. november 1572 til maj 1573. Beskrivelserne af lysstyrken er ret håndfaste, og stemmer med, hvad vi i vore dage vil forvente af en supernova. Farveoplysningerne er mere løse: "... hvid og nåede næsten Jupiters Glans. ... rødtligt Marslignende Lys omtrent som Aldebora eller den røde Orionis venstre Skulder. ... en blyagtig Hvidhed. ... et noget saturnisk og venuslignende lys." Man kan forestille sig, hvor glad Tyge Brahe ville have været for at eje et spektrofotometer!

Femte kapitel

Femte kapitel kan for den moderne læser virke useriøst. Man skal tage i betragtning, at astrologiske forudsigelser og horoskoper dengang var stærkt efterspurgt af kongen og andre rige og magtfulde personer, som Tyge Brahe har villet holde sig gode venner med. Til forsvar for Tyge Brahes videnskabelige seriøsitet kan man notere sig, at

han i dette kapitel kommer frem til, at man ikke kan sige noget om den nye stjernes virkning, som på en gang er både specifikt og sikkert.

Den nye stjernes betydning for nutidens verdensbillede

Tyge Brahe påviste, at den nye stjerne hørte hjemme i fixstjernesfæren, som således ikke længere kunne siges at være uforanderlig. Denne erkendelse viste sig siden at være første trin på vejen til vores nuværende forståelse af stjernernes indre struktur og udvikling. Opdagelsen hædres stadig mange steder, se eksempel i figur 7.



Figur 7. 20-kronemønt fra serien af videnskabsmønter fra 2013. Tyge Brahe er her kommet i fornemt selskab, idet de øvrige mønter i serien markerer Rømers måling af lysets tøven, Ørstedes opdagelse af elektromagnetismen og Bohrs atomteori.

Vi ved i dag, at resterne af SN 1572 befinder sig ca. 3 kpc borte. Den årlige parallakse er altså en tretusindedel af et buesekund og dermed ca. 200.000 gange mindre end det bueminut, som Tyge Brahe skønnede som sin detektionsgrænse. Det bør erindres, at det først i 1838 – altså tættere på vor tid end på Tyge Brahes – lykkedes at måle en stjernes parallakse.

Tyge Brahe havde ikke nogen ide om den nye stjernes fysiske natur. Først i begyndelsen af 1900-tallet opstod forståelsen af, at gamle stjerner af en vis størrelse kan ende deres liv med at eksplodere som supernovaer. Man forstod da, at Tyge Brahes nye stjerne (og andre historiske beretninger om “nye stjerner”) måtte være supernovaer. Først i 1950 påviste man resterne af SN 1572 (ved radioastronomi). Senere har man fundet yderligere evidens for rester af SN 1572, og emnet tiltrækker sig stadig forskningsmæssig interesse, se for eksempel [5] for en introduktion og [6] og [7] for nyere forskning.

Litteratur

- [1] L.E. Dreyer(1963) “Tycho Brahe – A Picture of Scientific Life and Work in the Sixteenth Century”, Dover Publications Inc., New York.
- [2] T. Brahe (1923) “Danskeren Tyge Brahe’s matematiske Betragtninger over den ny og aldrig nogensinde før sete Stjerne, nylig for første gang observeret i November Anno 1572 e.Kr.”, på dansk ved

Otto Gelsted, Atlantis’ Forlag, Lemvig. Genoptrykt 2007, se <https://lemvigmuseum.dk/shop/boeger-af-og-om-thoeger-larsen/tyge-brahe-den-ny-stjerne-1572/>

- [3] I.A. Mahan (1962) “Astronomical Refraction – Some History and Theories”, *Applied Optics*, bind 1, side 497–511.
- [4] J.L.E. Dreyer (red.) (1913) “Tychoonis Brahe Dani Opera Omnia”, bind 1, Gyldendal, København.
- [5] Wikipedia om SN 1572: https://en.wikipedia.org/wiki/SN_1572, tilgået maj 2022.
- [6] P. Ruiz-Lapuente m.fl. (2004) “The binary progenitor of Tycho Brahe’s 1572 supernova”, *Nature*, bind 431, side 1069–1072.
- [7] O. Krause m.fl. (2008) “Tycho Brahe’s 1572 supernova as a standard type Ia as revealed by its light-echo spectrum”, *Nature*, bind 456, side 617–619.

Jens Peter Krog er fysiker og har siden afslutningen af sit ph.d.-studium i 1995 arbejdet med forskning og produktudvikling ved danske industri-virksomheder. Siden 2008 har Jens Peter Krog drevet sit eget rådgivende ingeniørfirma, der løser konsulentopgaver indenfor industrien. Jens Peter Krog beskæftiger sig på hobbyplan med astronomi og videnskabs-historie.



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

Fra Tycho Brahe til nye overraskelser i kosmologien

Charles Louis Steinhardt, Niels Bohr Institutet

Da Tycho Brahe i 1572 opdagede en “ny stjerne”, tvang det astronomerne til at genoverveje deres grundlæggende opfattelse af himlen. Inden for blot et enkelt århundrede ændrede den videnskabelige konsensus om forståelsen af vores plads i universet sig fuldstændigt. I de sidste 25 år har nye supernovaobservationer givet os en lige så fundamental ændring i vores forståelse af kosmologien. Yderligere er der antydninger af, at flere overraskelser kan være på vej.

På mange måder begynder den moderne kosmologis historie i slutningen af 1920'erne med opdagelsen af, at universet udvider sig. I 1929 udgav Edwin Hubble en banebrydende artikel, der viste, at alle fjerne galakser er på vej væk fra os, og jo fjernere galaksen er, desto hurtigere bevæger den sig fra os. Denne såkaldte Hubble-Lemaître-lov var den første centrale observation, der førte til Big Bang-teorien og vores nuværende konsensusteori om universets historie. Universets ekspansionshastighed lige nu er beskrevet af Hubble-konstanten, som er cirka 70 km/s/Mpc.

Hubbles måling af ekspansionshastigheden var imidlertid 500 km/s/Mpc, og derfor forkert med næsten en faktor ti! Hvorfor begik Hubble så stor en fejl? En måling af ekspansionshastigheden forudsatte, at han kunne finde forholdet mellem hastighed og afstand. At måle hastighed er en af de nemmeste opgaver i astronomi. På grund af Doppler-effekten er lyset, som vi observerer fra en fjern galakse, forskudt i bølglængde. Ved at sammenligne bølglængderne af emissionen fra fx brint i en fjern galakse med brints bølglængder målt i laboratoriet, kan vi nemt beregne hastigheden. Fordi alle fjerne objekter bevæger sig væk fra os, flytter deres lys sig mod længere – og dermed mere røde – bølglængder. Således beskriver astronomer typisk ikke afstanden til et fjernt objekt i enheder af kilometer eller lysår, men i stedet ved objektets “rødforskydning”, da det er præcis, hvad der bliver målt.

Vanskelige afstandsmålinger

Til gengæld har afstand historisk set været en af de sværeste egenskaber at måle for astronomer, og det var afstandsmålingerne, der fik Hubble til at måle så forkert. Tycho Brahe bidrog selv til vigtige tidlige fremskridt i måling af afstande til objekter i vores solsystem. I 1577 brugte han de små variationer i en kometes position, som skyldes Jordens kredsløb om Solen, til at vise, at kometen var længere væk end Månen – en teknik, som kaldes parallakse. Det tog dog yderligere 250 år, før det var muligt at måle parallaksen af blot en nærliggende stjerne. Vi kan stadig ikke måle parallaksen af fjerne galakser, fordi parallaksen er meget lille og omvendt proportional med afstanden.

¹ Afstanden i et ekspanderende univers er ret kompliceret, fordi afstanden til et objekt nu, afstanden på det tidspunkt, hvor lyset blev udsendt, og afstanden, som lyset rejste fra det objekt til os, alle er forskellige. Denne afstand kaldes luminositetsafstanden, da det lys, vi observerer, er den samlede luminositet spredt ud over en kugle med denne afstand som radius.

² Det specielle ved cepheider er, at deres variable periode afhænger af deres luminositet, så ved at måle perioden samt den tilsyneladende lysstyrke kan man udlede deres afstand.

Moderne teknikker til afstandsmåling er i stedet afhængige af “standardlyskilder”. Antag, at vi tager identiske lyspærer og placerer dem i forskellige afstande. Jo længere væk vi sætter hver lyspære, jo svagere bliver den, og dens tilsyneladende lysstyrke falder med kvadratet på afstanden. Hvis man kender den samlede energiudsendelse, kaldet luminositeten, kan vi bruge dette til at beregne afstanden.¹ I 1908 opdagede den amerikanske astronom Henrietta Leavitt et forhold, der lod hende beregne luminositeten af en type variable stjerner kaldet cepheider.² Hubble brugte dette forhold i sit arbejde to årtier senere.



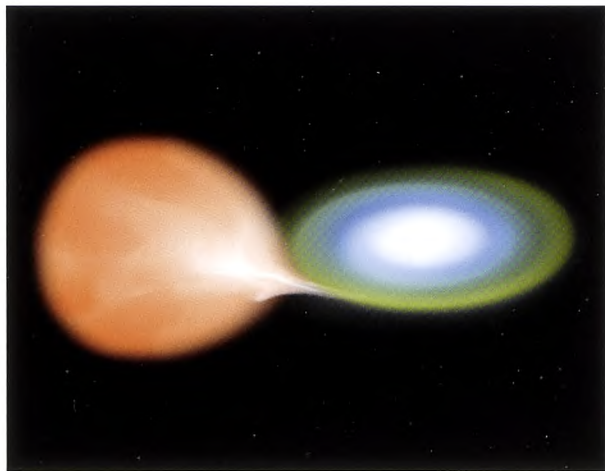
Figur 1. RS Puppis er en af de klareste kendte cepheider i Mælkevejen. (ESA/Hubble).

Supernovaer som standardlyskilder

Selv med vores kraftigste teleskoper kan vi ikke se individuelle stjerner i fjerne galakser, i hvert fald ikke under normale omstændigheder. Når stjerner eksploderer, kan supernovaen dog i kort tid lyse kraftigere end hele resten af dens værtsgalakse således, at vi kan se dem. Selvfølgelig vil en tungere stjerne producere en større og mere

energigig ekspllosion, ligesom stjerner har forskellige masser. Så umiddelbart lyder en supernova måske ikke som en særlig god kandidat til en standardlyskilde.

Vi har dog en god løsning. Der eksisterer en minimumsmasse, som er nødvendig for at producere en supernova. Stjerner med lavere masse, ligesom Solen, vil med tiden blive til en hvid dværg. En hvid dværg er en særlig type død stjerne. I en normal stjerne er den enorme tyngdekraft, der komprimerer stjernen, balanceret af det enorme udadgående tryk fra strålingsproduktionen fra fusion i dens kerne. Når kernen løber tør for brændstof og ikke længere kan undergå fusion, komprimerer tyngdekraften den så meget som muligt. Kvantemekanikken fortæller, at der er en grænse for, hvor tæt vi kan pakke elektroner. Ved denne grænse vil elektronerne modvirke tyngdekraften for at forhindre, at de bliver yderligere komprimeret. Det resulterende såkaldte degenerationstryk forhindrer en hvid dværg i at kollapse helt, men kun når den er meget, meget kompakt. Når Solen bliver en hvid dværg, vil dens radius omtrent svare til Jordens.



Figur 2. Illustration viser, hvordan gas strømmer fra den store røde ledsagerstjerne ind i en skive og derefter ind på den hvide dværg, der er gemt inde i det hvide område. Efterhånden som gassen strømmer stadig tættere på den hvide dværg, bliver den stadig varmere, og farven ændrer sig fra gul til hvid. Når en tilstrækkelig mængde gas har samlet sig på den hvide dværgstjerne, vil den gennemgå en termionuklear ekspllosion, der vil udstøde stjernens yderste lag i et nova-udbrud. (NASA/CXC/M.Weiss)

Hvis den hvide dværg er en del af et dobbeltstjernesystem, kan den få tilført masse fra sin ledsager. Hvis dværgen tilføres for meget masse, kan tyngdekraften blive så stærk, at degenerationstrykket ikke længere er nok til at forhindre stjernen i at implodere. Hvis den hvide dværg når denne såkaldte Chandrasekhar-grænse, som er 1,44 gange Solens masse, hvilket er den maksimale grænse for en hvid dværg, eksploderer den som en Type Ia-supernova. Fordi supernovaen udløses ved at nå denne kritiske masse, burde alle Type Ia-supernovaer være meget lig hinanden. Så i de sidste tre årtier har vi brugt Type Ia-supernovaer som standardlyskilder.

Resultaterne har indvarslet en revolution, der er lige så betydningsfuld som den, der blev udløst af Hubble og Tycho Brahe. Da jeg først lærte om kosmologi

som studerende, troede vi, at vi omsider forstod alle de vigtige dele af universets historie. Efter Big Bang udvidede universet sig med en enorm hastighed. På den allerstørste "universelle" skala, behøver vi kun tænke på tyngdekraften, som forsøger at trække alt sammen igen og bremse udvidelsen. Det eneste tilbageværende store spørgsmål var, om tyngdekraften ville vinde, og universet til sidst ville smelte sammen igen i et Big Crunch, eller om tyngdekraften ville tabe, og universet ville blive ved med at udvide sig, langsomt og langsomt, for altid.

Stigende ekspansionshastighed

Hvad Type Ia-supernovaerne i stedet viste os, var, at ekspansionshastigheden faktisk er stigende. Der skal være en endnu stærkere frastødende kraft end tiltrækningskraften fra tyngdekraften, og den frastødende kraft vinder. Vi ved nu, at såkaldt mørk energi udgør næsten 70% af universets energi i dag. Vi tror også, at mørk energi kun kan komme til at udgøre en større andel, efterhånden som universet fortsætter med at udvide sig, så til sidst vil næsten det hele være mørk energi. Dette gør, at fremtiden for vores univers er overraskende dystert: det vil fortsætte med at udvide sig hurtigere og hurtigere, udtømme sig selv og blive et koldt, mørkt sted. Eller vil det?

I de seneste par år er vi blevet meget bedre til at finde Type Ia-supernovaer, som sætter os i stand til at måle Hubble-konstanten mere og mere præcist. Opdagelsen af mørk energi i 1997 kom fra blot 46 Type Ia-supernovaer, men i dag har vi et katalog på næsten 2500. Og med alle disse ekstra observationer og de stadig mere præcise målinger af Hubble-konstanten har vi fået farten af en ny overraskelse.

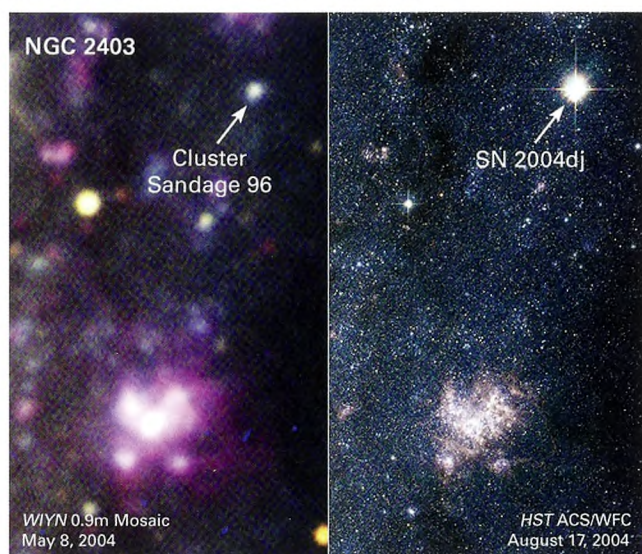


Figur 3. Resterne af en Type Ia-supernova, G299.2-2.9, der eksploderede for ca. 4.500 år siden i Mælkevejen. Billedet er optaget i røntgenområdet med NASA's Chandra-røntgenobservatorium. (NASA/CXC/U.Texas)

Supernova-målinger viser, at Hubble-konstanten er 73 ± 1 km/s/Mpc. Men vi kan også bruge den fjerreste stråling i universet, den kosmiske mikrobølge-

baggrundsstråling (CMB på engelsk), til at beregne ekspansionshastigheden på en anden måde. CMB-observationer fortæller os om det meget tidlige univers. Hvis vi bruger vores nuværende model for mørk energi, kan vi spole tiden frem med de generelle relativistiske ligninger for at beregne ekspansionshastigheden i dag. Planck-satellitens målinger giver en Hubble-konstant på 67 ± 1 km/s/Mpc. Dette er tæt på de lokale supernovamålinger, men ikke helt det samme: det ser ud til, at noget er en lille smule forkert, og afvigelsen er statistisk signifikant.

En mulighed er, at der stadig er problemer med vores afstandsmålinger. Det er et godt gæt, for dette har været problemet i meget af astronomiens historie. Måske er en Type Ia-supernova ikke helt så en god standardlyskilde, som vi tror. Eller måske har vi ikke kalibreret dem korrekt, og de er en lille smule mere energirige, end vi tror. Eller måske er det CMB-målingerne, der er forkerte. Forskergrupper verden rundt arbejder nu på at finde ud af, om det er måleproblemer, der har forårsaget denne såkaldte Hubble-kontrovers. Flere af disse grupper ledes af forskere ved Niels Bohr Institutet.



Figur 4. Billedet til venstre repræsenterer et lille område af galaksen NGC 2403, taget to måneder før en massiv stjerne eksploderede i 2004, kendt som supernova 2004dj, på billedet til højre. Stjernen befinder sig i en hob af massive, generelt blå (men nogle røde) stjerner kaldet Sandage 96. Stjernerne i denne hob er så langt væk, at deres lys fremstår som lyset fra en enkelt stjerne. Det gule objekt under og til venstre for hoben er så langt væk, at deres lys fremstår som lyset fra en enkelt stjerne. Det lyserøde område nederst er en stjernefødselsregion. (ESA/Hubble).

Mørk energi måske ikke så simpel

Hvis imidlertid begge målinger er korrekte, kan det i stedet betyde, at mørk energi ikke er helt så simpel, som vi har antaget. Faktisk havde forskere, selv før denne Hubble-kontrovers begyndte at blive et problem, foreslået, at mørk energi kunne være mere kompliceret.

Alt, hvad vi ved om mørk energi, fortæller os om dens effekter i fortiden, ikke i fremtiden. At forudsige fremtiden kræver at vide, hvad mørk energi faktisk er. En hypotese, kaldet kvintessens, antyder, at mørk energi var meget anderledes tidligt i universet, da det var kun var en lille smule af universets energi, end senere hvor det er det meste af energien. I så fald kan den fremtidige effekt være meget anderledes end den fortidige.

Når vi har mange mulige modeller at vælge imellem, som alle stemmer overens med alt, hvad vi observerer, forsøger vi ofte at vælge den enkleste model. Den enkleste model for mørk energi er så ligetil, som enhver model kunne være: bare en konstant. Før Hubbles opdagelse havde Albert Einstein introduceret en "kosmologisk konstant", Λ , for at skabe et statisk og uændret univers. Men man indså senere, at denne konstant også var den enkleste måde at producere den acceleration, vi observerer i dag. Vores standard kosmologiske model, Λ CDM, antager, at mørk energi er en konstant.³ Da en konstant selvfølgelig vil være ens til enhver tid, betyder det, at fremtiden er den samme som fortiden: accelereret ekspansion, hurtigere og hurtigere, for altid.

Så det betyder, at udbyttet fra Hubble-kontroversen er enorm: intet mindre end universets fremtid. Hvis begge målinger er korrekte, er Λ CDM derfor forkert. Så ville vi have brug for en anden model, og vores forudsigelser om fremtiden ville sandsynligvis ændre sig. I så fald vil det, 450 år efter Tycho's opdagelse og 25 år efter, at supernovaer første gang viste os, at det meste af universet består af mørk energi, kunne betyde, at vi nærmer os tidspunktet for endnu en stor overraskelse om vores univers.

Litteratur

- [1] A.C. Andersen (2016) "En lille bog om universet", Lindhard og Ringhof.
- [2] T. Davis (2005) "Misconceptions about the Big Bang", *Scientific American*, bind 292, nr. 3, side 36–45. www.mso.anu.edu.au/~charley/papers/LineweaverDavisSciAm.pdf
- [3] B. Ryden (2002) "Introduction to Cosmology", Cambridge University Press.



Charles Louis Steinhardt er lektor ved Cosmic Dawn Center og Niels Bohr Institutet. Meget af hans forskning fokuserer på galakseudvikling og på de tidligste galakser. Fordi astronomi bruger enorme datasæt, forsker han også i maskinlæring og astrostatistik. Han afholder også et internationalt sommerforskningsprogram for bachelorstuderende på NBI.

³ Λ CDM har to komponenter. Λ er selvfølgelig denne kosmologiske konstant. CDM er en forkortelse for "koldt mørkt stof" på engelsk, som er den mest simple mulige model for mørkt stof.

Om dansk astrometri efter Tycho Brahe

Erik Høg, Niels Bohr Institutet

Efter Tycho Brahe blev astronomi ved Københavns Universitet fornyet, Rundetårn blev opført. Her skal kun nævnes arbejdet med måling af stjerners positioner på himlen, det der nu kaldes astrometri. Danske astronomer har bidraget til den enorme udvikling af astrometrien gennem de sidste et hundrede år, en udvikling der har sat spor i alle grene af astronomi og astrofysik¹.

Astrometri med meridiankredse

Måling af stjerners positioner på himlen med stor nøjagtighed kaldes "astrometri", idet stjernerne observeres som lysende punkter på himlen. Betegnelsen astrometri anvendes siden ca. 1900 for at skelne fra "astrofysik", den anden gren af astronomien, hvor man undersøger stjerner som fysiske objekter, glødende gaskugler, ved hjælp af fysiske love som varmeteori og atomteori, dvs. termodynamik og kvantemekanik.



Figur 1. Rundetårn, bygget til Trinitatis Kirke som astronomisk tårn, ikke et klokketårn.

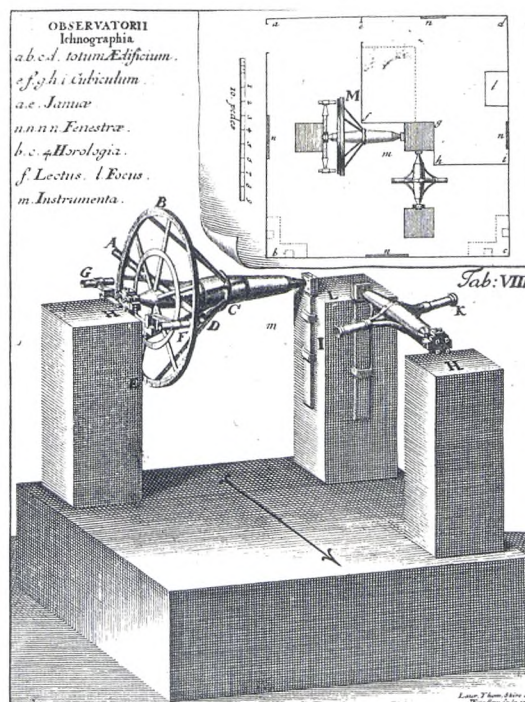
Tycho Brahe (1546–1601) udviklede astrometrien i stor stil, men betegnelsen var astronomi. Faktisk bestod astronomi indtil for godt hundrede år siden for størstedelen af astrometri og anvendelse af positionerne på studiet af stjerners bevægelser og afstande. Tycho Brahe var astrometriker, men han var også astrofysiker, idet han fandt den nye stjernes plads i universet, den var en fiksstjerne langt ude i den ottende sfære.

Tycho Brahe på Hven havde ingen direkte tilknytning til Københavns Universitet, men han var højt respekteret der. Astronomi/astrometri fik snart en fast plads på

Universitetet, og enkelte træk fra de følgende fire århundreder skal nævnes her.

Københavns Universitets Astronomiske Observatorium blev indrettet på toppen af det berømte Rundetårn, som blev bygget i 1642. Christen Sørensen Longomontanus (1562–1647), som havde været Tycho Brahes assistent på Hven, blev forstander. Han var professor i matematik og astronomi og skrev en række bøger om disse emner.

Ole Rømer (1644–1710) var professor i astronomi og udviklede nye typer instrumenter til måling af stjerners positioner, idet han forstod at anvende kikkerten som en vigtig fornyelse. Hans meridiankreds blev et forbillede i de følgende århundreder, næsten alle observatorier i 1800-tallet ejede en meridiankreds, som blev det fundamentale, mest nøjagtige instrument til astrometri. Ole Rømer er ellers mest kendt for sin opdagelse af "lysets tøven" altså lysets endelige hastighed, målt ved observation af tidspunkterne for formørkelser af Jupiters inderste måne, Io, og publiceret i 1676.



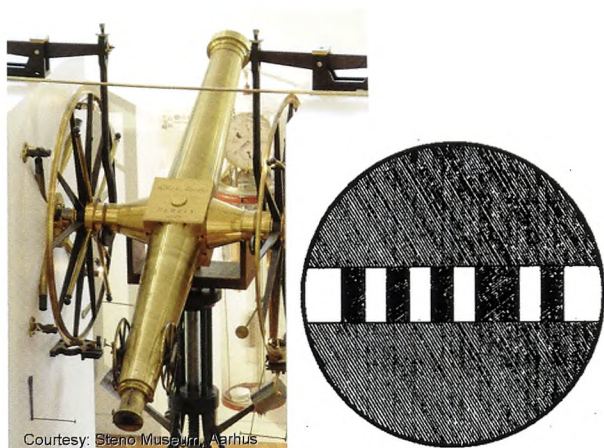
Figur 2. Ole Rømers meridiankreds fra 1705, opstillet nær Vridsløsemagle vest for København.

I 1861 flyttede observatoriet fra Rundetårn til en ny bygning på Rosenborg Bastion ved Østervold. I det nye

¹En stor tak skylder jeg Claus Fabricius, Svend Laustsen og Lars Occhionero for hjælp til billeder og afklarende spørgsmål.

observatorium blev selvfølgelig også opstillet en meridiankreds, og ved dette instrument udførte den meget unge Bengt Strömgren (1908–1987) astrometriske målinger, som blev vejvisende for astrometriens udvikling. I 1925 eksperimenterede han med stjerners passage over spalter i meridiankredsen, (se figur 3), idet han registrerede den elektriske strøm i en fotocelle bag spalterne – det kaldes “fotoelektrisk astrometri”. Det var en ganske avanceret elektronisk forstærker efter den tids målestok, som denne unge mand fik bygget til formålet.

Bengt Strömgren blev i 1940 professor i astronomi, idet han afløste sin far, Elis Strömgren (1870–1847), og allerede samme år bestilte han en ny meridiankreds, som i 1953 blev opstillet på et højdedrag nær landsbyen Brorfelde syd for Holbæk, hvor et nyt observatorium blev opført.



Figur 3. Meridiankredsen i det nye observatorium på Østervold fra 1861, som findes udstillet i Steno Museum, Aarhus. Til højre det system af spalter, som Bengt Strömgren anvendte.

Bengt Strömgren blev en af de førende astrofysikere i 1900-tallet, men hans betydning for astrometri blev mindst lige så stor gennem den udvikling af astrometrien, han satte i gang med fotoelektrisk astrometri og med den nye meridiankreds i Brorfelde. I denne udvikling var danske astronomer altid helt fremme gennem udnyttelse af elektronik og satellitter og ved internationalt samarbejde, se mere i [1].

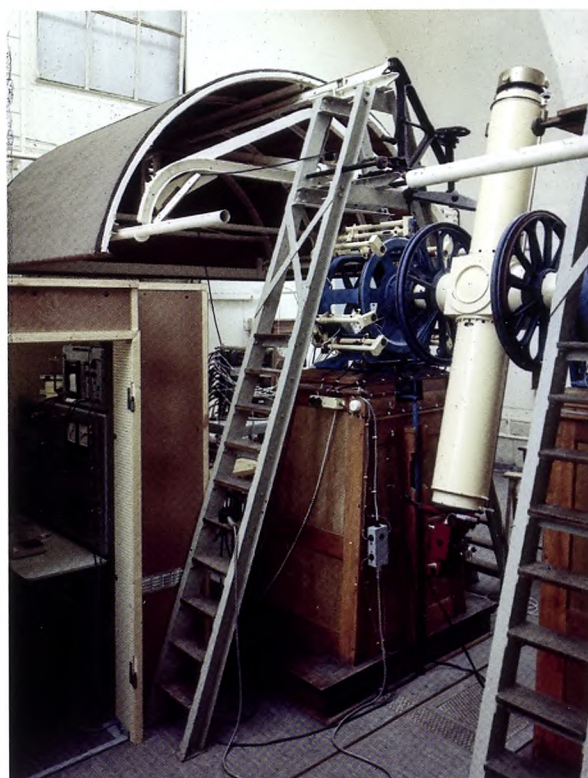
Her må nævnes Peter Naur (1928–2016), som blev min vejleder i astrometri fra 1953, og som fik stor betydning for min udvikling gennem mange samtaler om elektroniske regnemaskiner, i dag kaldet “computere”, og den tankegang, der ligger bag (se [1]). Han forlod observatoriet og astronomi i 1959 for at arbejde ved det danske firma “Regnecentralen” med udvikling af firmaets GIER-computer og af et nyt programmeringssprog ALGOL. Han blev Danmarks første professor i computer science.

Peter Naur arbejdede fra 1956 i Brorfelde med udvikling af en fotografisk teknik til observation med meridiankredsen. Udviklingen af dette apparatur lykkedes for Svend Laustsen (f. 1927) i begyndelsen af tresserne. Svend sagde for nylig til mig, at han godt kunne se dengang, at den fotoelektriske metode til observation af stjerner, som jeg samtidig udviklede i Hamburg, måtte være fremtiden, men på det tidspunkt

var han naturligvis nødt til at fortsætte med den fotografiske metode.

Imidlertid havde udviklingen af fotoelektrisk astrometri taget fart fra 1960 med digitalisering af Strömgrens metode, idet jeg indførte “fotoelektrisk astrometri med fotontælling” på meridiankredsen ved Hamburg Observatorium (se figur 4). Det var dengang det største observatorium i Tyskland, hvor jeg arbejdede i årene 1958–73.

Instrumentet var halvautomatisk, en observatør drejede kikkerten i den retning, som assistenten i kabinen til venstre havde angivet ud fra en liste over stjernerne. Så kunne den ønskede stjerne måles, når den passerede meridianen, altså nord-sydretningen. Selve fotontællingen blev registreret på en hulstrimmel inde i kabinen, og hulstrimlen blev senere behandlet i en computer, den ovennævnte GIER. Dette instrument med GIER-computeren blev opstillet i Perth i Vestaustralien, som led i et stort internationalt samarbejde til måling af sydhimlens stjerner. I Perth observerede man 25.000 stjerner i fem år 1967–72 med en hidtil uset nøjagtighed.



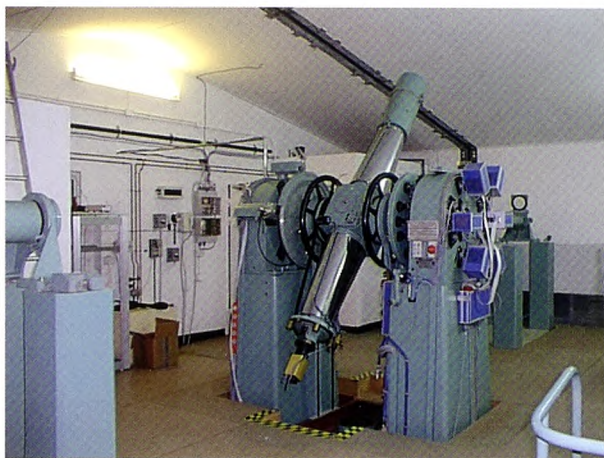
Figur 4. Meridiankredsen i Hamburg, der blev opstillet i Australien.

I 1973 blev jeg “hentet hjem” fra Hamburg, og meridiankredsen i Brorfelde blev udrustet med spalter og fotontælling, takket være den meget kompetente stab til mekanik, elektronik og astrometri. Men nu var en computer direkte knyttet til instrumentet. Ledet af Leif Helmer (f. 1943) og Claus Fabricius (f. 1954) og i et samarbejde med Royal Greenwich Observatory i England og Observatoriet i San Fernando i Spanien blev dette meget moderne instrument flyttet til en bjergtop på La Palma på De Kanariske Øer, hvor det kom i drift i foråret 1984. Man kunne som forventet få 100.000 observationer om året med stor nøjagtighed i de mange klare nætter på stedet.

Observationerne var fuldt automatiserede fra starten. Operatøren kunne sove natten igennem (medmindre der opstod et problem). I 1997 automatiseredes yderligere, så operatøren ikke længere behøvede at befinde sig på bjerget: kikkerten kunne betjenes fra Danmark, England eller Spanien.

I 2004 ophørte både den danske og engelske deltagelse i observationerne, som blev fortsat af observatoriet i San Fernando, der havde været deltager siden starten. Samtidig blev hele instrumentet overdraget Spanien for et symbolsk beløb til videre observationer, der ophørte i 2013. Instrumentet tilhører nu det Astrofysiske Institut på De Kanariske Øer.

Brorfeldeområdet med bygninger og instrumenter blev i 2012 erhvervet af Holbæk Kommune, der siden 2016 driver det som "et opdagelsescenter med fokus på astronomi, geologi, natur og teknik". Der formidles om meridiankredsen bl.a. ved en udstilling i den oprindelige kuppel.



Figur 5. Den automatiske meridiankreds på La Palma.

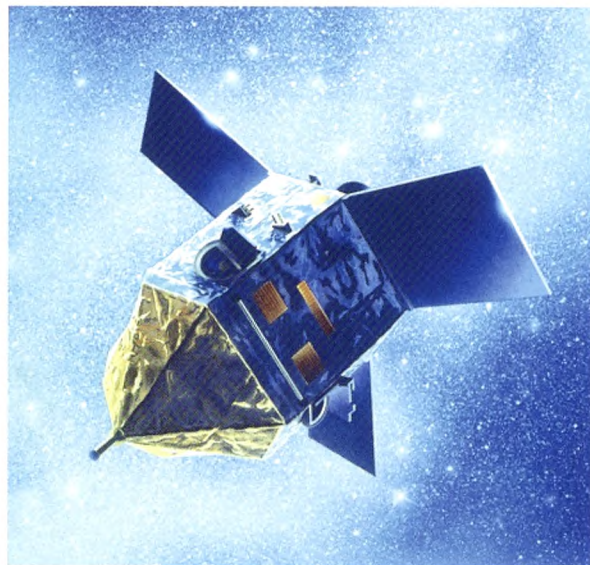
Astrometri med satellitter

Denne teknik med fotontælling blev anvendt i ESAs første satellit til astrometri med Hipparcos (se [1]), som blev vedtaget af ESA i 1980 og opsendt i 1989. Satellitten drejede sig en gang om sin akse på et par timer og målte samtidigt stjerner i to retninger på himlen. Drejningen var programmeret, så hele himlen blev "scannet" mange gange systematisk i de tre år, observationerne varede.

Hipparcos observerede således 120.000 udvalgte stjerner én efter én, og det gav større astrometrisk nøjagtighed end nogensinde før. Samtidig målte Hipparcos de 2,5 millioner lysstærkeste stjerner på himlen i det såkaldte Tycho-eksperiment (se [1]), som jeg havde foreslået i 1981. Observationerne var ganske vist knap så nøjagtige som med selve Hipparcos, men alligevel nøjagtigere end det kunne gøres fra Jordens overflade for disse mange stjerner.

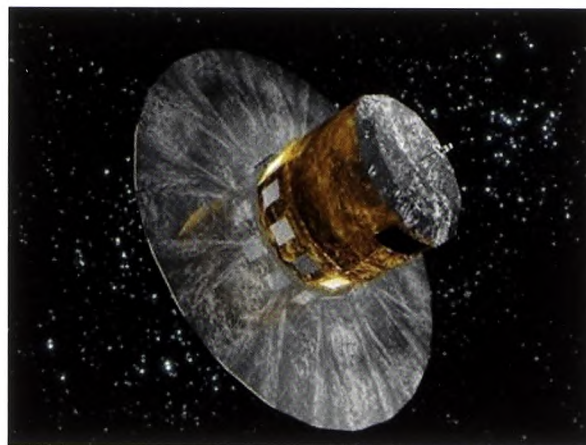
Til ESAs anden satellit, Gaia, foreslog jeg i 1992 (se [2]) at anvende en ny type detektor, en CCD (Charge Coupled Device), som er den slags detektor, der sidder i ethvert kamera nu om dage. Den hidtil anvendte detektor til fotontælling kunne faktisk kun måle én stjerne ad gangen, mens detektering med mange CCD'er betød,

at tusinder af stjerner kunne observeres samtidigt og meget nøjagtigere. Gaia blev opsendt i 2013 og har nu observeret to milliarder stjerner.



Figur 6. Den første astrometriske satellit, ESAs Hipparcos.

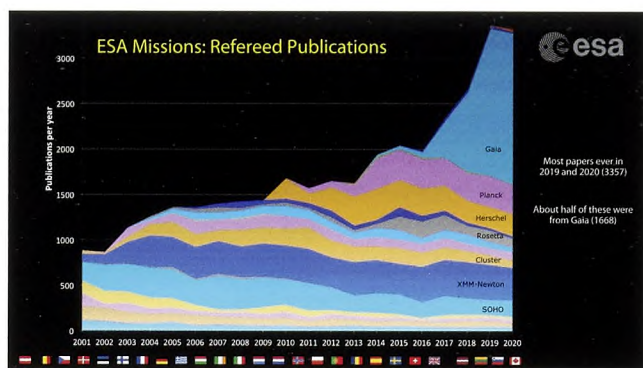
Resultaterne har været revolutionerende i alle grene af astronomi og astrofysik, de har i 2019 og 2020 givet lige så mange videnskabelige publikationer om året som alle andre ESA-missioner tilsammen, se figur 8, alene baseret på observationer fra de første 22 måneder. Der udkommer 4–5 Gaia-relaterede publikationer om dagen, og observationerne ventes at fortsætte til 2024, i alt i 10 år.



Figur 7. Gaia-satellitten.

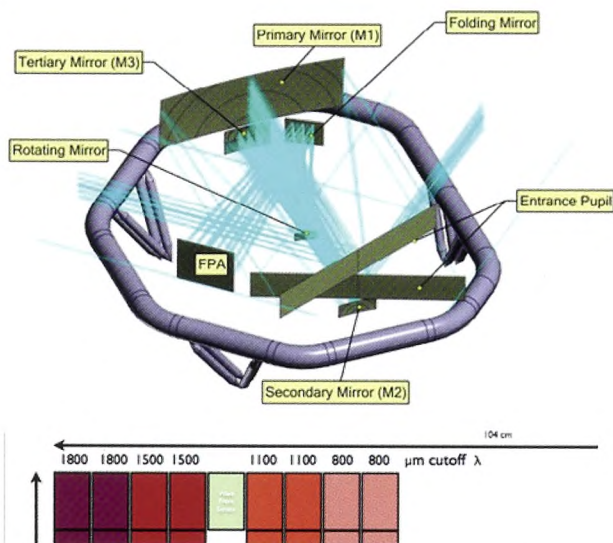
Nøjagtighed er alfa og omega i astrometri. Fremskridtet kan kort beskrives således: de bedste observationer med meridiankreds havde en nøjagtighed på 0,1" (buesekund), altså 600 gange mindre fejl end Tycho Brahes bedste målinger. Hipparcos-satellitten opnåede 0,001", og Gaia 0,00002".

I 2013 foreslog jeg, at en efterfølger skulle opsendes om ca. tyve år, fordi stjernernes bevægelser kan bestemmes meget nøjagtigt ved sammenligning af positioner målt med denne lange tid imellem, faktisk ti gange nøjagtigere end det er muligt med en enkelt satellit, der måler i tre år. Den følgende udvikling beskrives i et interview ved Michael Perryman [3].



Figur 8. Publikationer fra ESAs missioner.

Dette forslag har i 2021 fået ESA til at gå ind i nærmere undersøgelser, der sigter mod opsendelse af en Gaia-efterfølger i 2045. Den skal måle Gaia-stjernerne igen og samtidig have følsomhed for det nære infrarøde lys, da man så kan observere mange flere røde stjerner. Stjerner kan være røde, fordi de er koldere, eller fordi de ligger dybt inde i interstellare skyer, derinde kan støv og gas samles til nye stjerner, hvor tyngdekraften tager over.



Figur 9. Gaia-efterfølger, kaldet GaiaNIR. Øverst: det optiske system, nederst: fokalplan, FPA, hvor kun den ene af syv rækker detektorer er vist. Disse detektorer skal udføre astrometri og samtidig fotometri ved fire bølgelængder mellem ca. 400 og 2000 nanometer.

Observatoriet lukker efter 363 år

Observatoriet i Brorfelde blev lukket for videnskab, da hele staben flyttede til København i 1996, hvor de flyttede sammen med staben fra Østervoldgade til en istandsat ældre bygning. Københavns Universitets Observatorium eksisterer imidlertid ikke mere, idet denne 363 år gamle institution i 2005 blev absorberet i Niels Bohr Institutet – uden nogen festlighed eller begravelse.

Observatoriets hovedinstrument var meridiankredsen i Brorfelde lige fra begyndelsen i 1953. Jeg var meget bevidst herom, da jeg begyndte mit arbejde derude efter samtaler med Bengt Strömgren, hvori også astrometriens store betydning for astronomi var klar. Ingen kunne dengang ane, at dette instrument skulle

komme til at spille en kæmperolle i en udvikling, hvorunder det blev det mest avancerede og nøjagtige i sin art, endsige at det ville blive en udvikling, som til sidst gjorde meridiankredse overflødige og forældede. Som hovedinstrument fik det i årtier uforbeholden støtte fra observatoriet og fra Carlsbergfondet, der donerede instrumentet i anledning af Rømers 300-årsdag i 1944, senere suppleret i 1946 ved Tycho's 400-årsdag.

Arbejdet ved observatoriet med de astrometriske satellitter forløb samtidig, støttet gennem mine årlige ansøgninger til Statens Forskningsråd og af en stor donation sidst i 1990'erne fra Velux Fonden til fremstilling af Tycho-2-kataloget. I mange år var jeg leder af to internationale konsortier, der forestod reduktion af data fra selve Hipparcos og fra Tycho-eksperimentet, jeg var medlem af ESAs Science Teams for Hipparcos og Gaia i årene 1975–2007 og ledede en gruppe for Gaia-fotometri. Dette er belyst for nylig i tre interviews ved Michael Perryman, og de kan findes gennem links i [3].

Astronomien i København er nu helt fokuseret på astrofysik, hvad der er meget naturligt og rigtigt. Der var jo ikke basis for en dansk deltagelse i Gaia-data-reduktionen. Dette store arbejde varetages af et konsortium på 400 personer fordelt i Europa, og jeg glæder mig over, at Lund Observatorium deltager i det med en stor gruppe. Mit samarbejde om astrometri med Lund Observatorium begyndte i 1973, da Lennart Lindegren (f. 1950) blev interesseret i en astrometrisk opgave, jeg gav ham som ganske ung student, og han kom straks til at spille en central rolle både i Hipparcos og Gaia takket være sit matematiske geni.

De to sidste danske astrometrikere i den lange række siden Tycho Brahe er Claus Fabricius, der har arbejdet med både meridiankreds og Hipparcos og nu arbejder på Gaia-data i Barcelona, og så er der mig selv (f. 1932), der stadig har kunnet bidrage til astrometri ved at dokumentere astrometriens udvikling og ved at arbejde på en efterfølger for Gaia.

Litteratur

- [1] E. Høg (2010) "En landmåler i himlen", *Kvant*, bind 21, nr. 3, side 3–8.
<http://www.kvant.dk/upload/kv-2010-3/kv-2010-3-EH-astrometri.pdf>
- [2] E. Høg (2013) "Gaia-missionens snørklede tilblivelse", *Kvant*, bind 24, nr. 4, side 30–34.
<http://www.kvant.dk/upload/kv-2013-4/kv-2013-4-EH-Gaia.pdf>
- [3] E. Høg (2022) "Letter on Gaia".
<http://www.astro.ku.dk/~erik/xx/hoeg3-letter.pdf>



Erik Høg er dr.scient. i astronomi. Han har arbejdet ved Hamborg Observatorium 1958–73 og ved Københavns Universitet 1953–58 og 1973–2002, hvor han gik på pension. Han har især arbejdet med måling af positioner, bevægelser og afstande af stjerner med højest mulig præcision, fra Jorden og med to satellitter, Hipparcos og Roemer/Gaia. En efterfølger til Gaia til opsendelse i 2045 er på vej.

Niels Bohr Institutet og forskningen på CERN

John Renner Hansen, Niels Bohr Institutet

Niels Bohr Institutet har igennem seks årtier været tæt knyttet til udviklingen af det europæiske center for partikelfysik, CERN, i Geneve. Relationen går helt tilbage til Niels Bohr, som i tiden lige efter 2. verdenskrig lagde et stort arbejde i at få etableret et fælles europæisk laboratorium til studier af subatomare fænomener. Siden har forskere fra Niels Bohr Institutet bidraget til helt basale eksperimenter, som har gjort nogle af de mest centrale opdagelser og foretaget målinger på naturens mindste byggesten og af de kræfter, der holder partiklerne sammen i fx protoner og neutroner.

Niels Bohr Institutet og CERN

Niels Bohr Institutet har lige fra starten af CERN i 1953 været tæt knyttet til organisationen og har bidraget til mange af de videnskabelige landvindinger, som CERN har muliggjort. Fysikerne, der bruger CERN, arbejder inden for et bredt spektrum af emner, lige fra lavenergifænomener i atomfysikken til fænomener, der i naturen kun skete i et meget kort tidsrum efter Big Bang for 13,8 milliarder år siden. Dengang var energitætheden tilstrækkeligt høj til at skabe tilstande, som i dag kun kan genskabes i laboratorierne ved hjælp af kilometerstore acceleratorsystemer. Udover de eksperimentelle faciliteter er CERN hjemsted for en teoriafdeling, hvor samspillet mellem de eksperimentelle resultater og de teoretiske idéer skaber udvikling mod en bedre forståelse af naturen.

Partikelfysik

Fascinationen ved det absolut største og det absolut mindste i naturen har gennem tiden udfordret mennesker til at udnytte den højeste teknologiske kunnen for at flytte grænserne for den erkendelse, vi har om de to ekstremer. I den ene ende findes kosmos, som beskrives med de største afstande, de længste tider og de største objekter. Det er her, det hele begynder i et Big Bang for 13,8 milliarder år siden. Mikrobølgebaggrundsstrålingen og lyset fra fjerne galakser fortæller os om en fantastisk udvikling frem til det univers, vi observerer i dag. I den modsatte ende findes elementarpartiklerne, med de korteste afstande og tider samt de mindste genstande. Det er en moderne erkendelse, at det hele hænger sammen, og at man ikke kommer til at forstå den kosmologiske udvikling, hvis man ikke forstår naturen på de mindste skalaer og omvendt aldrig vil få en fuld forståelse af mikrokosmos, uden også at undersøge universet på de største skalaer.

Gennem historien er det, vi kender som de mest elementære partikler til stadighed blevet mindre og lettere. Men det er en gammel erkendelse, formuleret af Demokrit i det fjerde århundrede før vores tidsregning, at stof kun kan brydes ned til en vis mindste bestanddel – atomet. De udelelige atomer kan samles igen som byggeklodser til nye objekter, som bliver synlige og brugbare. Det er den grundfilosofi, der henover kemien, atomfysikken og kernefysikken er ført med som en centralt antagelse i partikelfysikken.

Partikelfysikken er læren om de absolut mindste

partikler og om de kræfter, som de påvirker hinanden med, og som endelig har nået den udelelighed, som Demokrit forudsagde for 2500 år siden. Niels Bohr Institutets medarbejdere har gennem hele instituttets 100-årige historie været på forkant i denne udvikling. Fra Niels Bohrs grundlæggende opdagelse af atomernes kvanteegenskaber, over kernefysikken hvor Åge Bohr og Ben Motelson med deres model for atomkernen og deres nobelpriser fik sat fokus på instituttets aktiviteter. De sidste 60 års deltagelse i centrale eksperimenter på CERN er en naturlig del af denne udvikling.

CERN

Når man undersøger mindre og mindre partikler, skal der til stadighed bruges større og større instrumenter. På et tidspunkt bliver det så dyrt, at de enkelte universiteter og senere de fleste lande ikke selv kunne finde de nødvendige ressourcer til projekterne. Efterkrigstidens Europa var et ideelt sted at begynde et overnationalt samarbejde om noget så upolitisk som studiet af de mindste partikler, og derigennem finde finansiering til de dyre accelerators og måleinstrumenter. Europa var dengang splittet, og et diplomatisk projekt om videnskab – science diplomacy – blev brugt til at samle kræfterne om noget, man ikke kunne være politisk uenige om på tværs af nationer. Niels Bohr lagde et stort arbejde i at få etableret et fælles europæisk laboratorium, og det lykkedes i 1951.

Elleve lande, heriblandt Danmark, nedfældede en aftale om European Council for Nuclear Research, som senere skulle blive til Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire, forkortet til CERN. Det var centralt, at organisationen ikke måtte bruges til militære formål, og at viden skabt af organisationen skal deles med alle. CERNs konvention siger direkte, at "The Organization shall have no concern with work for military requirements and the results of its experimental and theoretical work shall be published or otherwise made generally available." Dette var helt i tråd med de tanker, der fik Niels Bohr til at sende sit brev om en åben verden til De Forenede Nationers Generalforsamling den 9. juni 1950, og som nu snart 75 år senere gennemsyrrer ideen om "Open Science", en demokratisering og fredeliggørelse af videnskab bredt forstået. Mere jordbundet var CERN-projektet også et forsøg på at standse den hjerneflugt fra Europa mod USA, som man havde oplevet under og efter 2. verdenskrig.

CERN blev etableret på en bar mark uden for Geneve lige op til grænsen mellem Schweiz og Frankrig. Det gav gode muligheder for de udvidelser, som organisationen senere har gennemført. Man har flere gange måtte bygge nye accelerators med endnu højere partikelenergi til rådighed, når grænsen for, hvad man kunne lære med de "gamle" maskiner, var nået.



Figur 1. Mange af CERNs grundlæggere samlet til 3. session i det midlertidige CERN-råd, Amsterdam den 4. oktober 1952. Niels Bohr ses øverst i anden række fra venstre, med sin uundværlige pibe.

Princippet i forskningen er meget simpelt. Tag protoner, også kendt som den positivt ladede kerne i brintatomet, accelerér dem til en høj energi og send dem ind mod noget stof, hvor de rammer atomkernerne. Observer, hvad der kommer ud af sammenstødene. Sammenlign derefter observationerne med teoretiske forudsigelser for derigennem at bestemme, om teorien holder, eller om den har brug for justeringer eller måske en total nytænkning.

Ideen med at sende protoner ind mod et fast stykke stof er simpel, men har den ulempe, at en meget stor del af protonens energi ikke kan bruges til at skabe nye partikler med. En stor del af energien går til at opfylde loven om impulsbevarelse. Kort sagt, den samlede bevægelse skal bevares før og efter et sammenstød. Dette løste CERNs acceleratorfolk ved at sende to protonstråler imod hinanden. To kolliderende protoner med samme fart, men i hver sin retning, har samlet set ingen impuls. Det fælles massemidt punkt bevæger sig ikke. Metoden blev senere raffineret ved at erstatte den ene stråle af protoner med en stråle af antiprotoner, så man derved skabte en proton-antiproton-kollision. Senest har man brugt elektroner og anti-elektroner (positroner), inden man i Large Hadron Collider er gået tilbage til at kolliderende protoner fra to modsatte retninger. Alt sammen for at skabe så høj energi i sammenstødene som muligt og samtidig høj intensitet i strålerne, så man også får mange sammenstød at studere. For en indføring i partikelacceleratorer se [1].

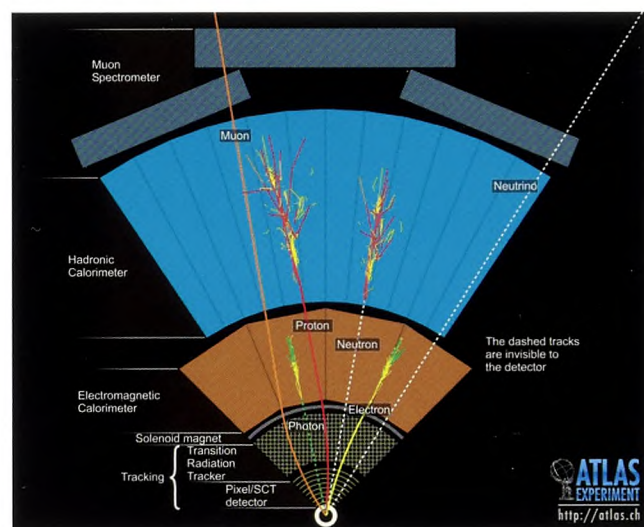
Helt vildt bliver det, når man i stedet for at lade protoner kolliderende sender tunge ioner, fx blykerner, imod hinanden. De to kerner smelter sammen i et område med så høj temperatur og tryk, at protoner og neutroner nærmest smelter og danner et plasma, kvark-gluon-

plasma, som kunne have været til stede i det meget tidlige univers.

Richard Feynman sammenlignede metoden med at smadre to gammeldags vækkeure sammen og notere, hvad der kommer ud, tandhjul, fjedre, møtrikker, visere ..., i hvilke retninger, og med hvilken fart. Gør det en million gange og forsøg så at rekonstruere, hvordan vækkeuret er bygget.

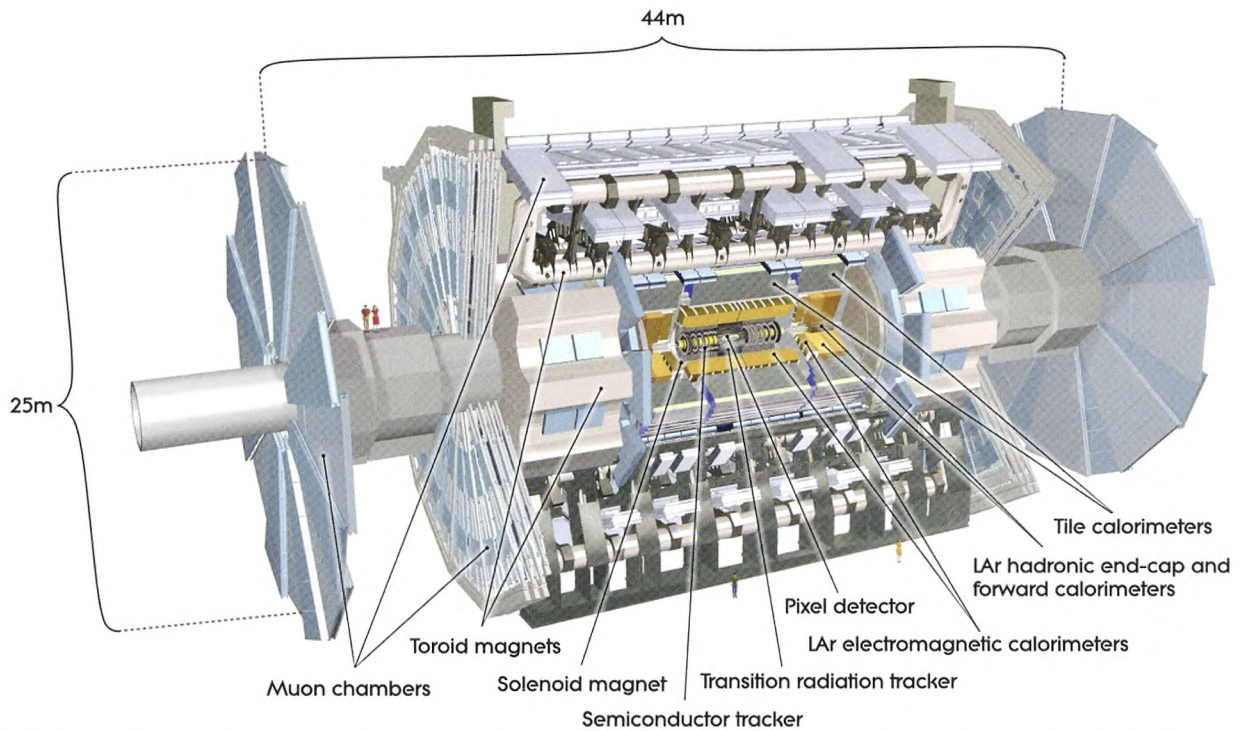
Eksperimenternes opbygning

Undersøgelsen af, hvad der sker, når to partikler støder sammen med høje energier, går ud på at identificere og måle energi og retning af de partikler, der kommer ud fra sammenstødspunktet, ligesom i Feynmans tankeeksperiment med vækkeurene. Selvom der produceres hundredevis af forskellige partikler i sammenstødene, er de fleste så kortlivede, at de reelt ikke flytter sig, inden de henfalder til mere stabile partikler. Det er derfor relativt få forskellige partikeltyper, man skal koncentrere sig om, de typer, som lever længe nok til at komme hele vejen ud til måleinstrumenterne. Essentielt er det elektroner, myoner, protoner, neutroner, π^- - og K -mesoner samt fotoner.



Figur 2. 30°-udsnit af ATLAS-detektoren ved CERNs Large Hadron Collider. Protonerne støder sammen i punkt nederst på figuren. Partiklerne passerer spordetektoren, det elektromagnetiske kalorimeter, det hadroniske kalorimeter og til sidst myondetektoren. Hele opstillingen er omgivet af et kraftigt magnetfelt.

Figur 2 illustrerer et 30°-tværsnit af en traditionel eksperimentel opstilling, i dette tilfælde ATLAS ved CERNs Large Hadron Collider. Se figur 3, hvor hele detektoren er vist. De enkelte detektorkomponenter er anbragt som dåser med stigende radius og længder og med sammenstødspunktet i centrum. Det hele er pålagt et magnetfelt, som i dette tilfælde går vinkelret ud af billedets plan. Inderst i spordetektoren måles retning og impuls af de ladede partikler, derefter energien af elektroner og fotoner i det elektromagnetiske kalorimeter, efterfulgt af energimålingen af protoner, neutroner, og mesoner i hadron-kalorimeteret. Myonerne farer lige igennem alt og efterlader sig kun et svagt spor af ioner, dvs. atomer, hvor en eller flere elektroner er slået af. Neutrinoer farer lige igennem uden nogen form for sig-



Figur 3. ATLAS-detektoren med spordetektoren inderst, kalorimetre udenom og muon-kamre yderst, det hele indhyllet i et magnetfelt, som skabes af solenoidmagneten mellem spordetektorerne og kalorimetrene. ATLAS har ud over den centrale solenoide også et sæt spoler yderst, som skaber et magnetfelt cirkulært omkring de indkomne protonstråler.

nal. Krumningen af sporene giver partiklernes impuls (bevægelsesmængde). Jo højere impuls, jo mere lige er sporet. Ved at kombinere de forskellige signaler kan man identificere partiklerne. Fx afsætter en elektron et signal i spordetektoren og afsætter alt sin energi i det elektromagnetiske kalorimeter. En neutron giver ingen signaler i spordetektoren og i det første kalorimeter, men afsætter sin energi i hadronkalorimeteret.

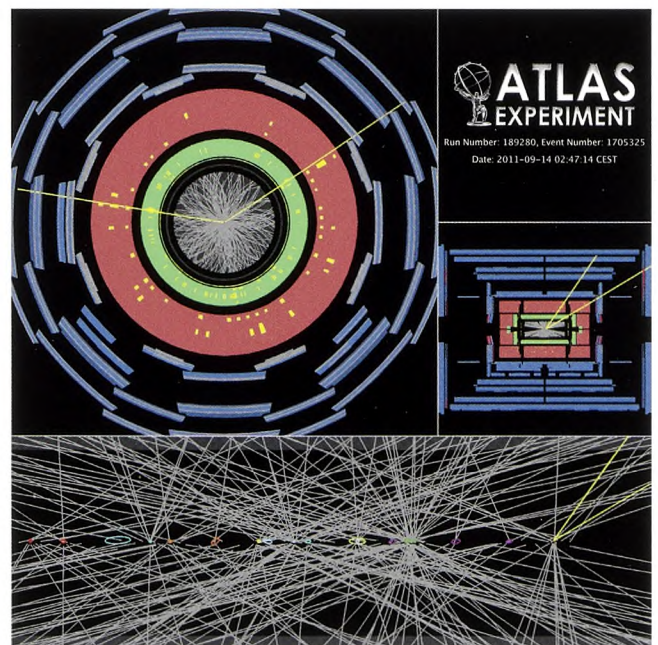
En rekonstrueret begivenhed fra ATLAS, figur 4, hvor man inderst ser spor af ladede partikler, derefter energi afsat af elektroner og fotoner (grønt område), fulgt af hadronisk energi (orange område), og to myoner, som løber hele vejen igennem. Udover det sammenstød, der har skabt de to myoner, kan man på figuren se 11 andre sammenstød, som er sket samtidigt inden for ca. 1 cm. Det siger noget om den præcision, man skal bruge i eksperimenterne, for ikke at blande partikler fra to eller flere uafhængige sammenstød sammen. For en indføring i eksperimenterne på CERN se [2].

Mystikken om de mange partikler

Man havde, allerede inden CERN blev etableret, set tre helt forskellige elementarpartikeltyper, leptoner, hadroner og fotoner. Elektronen er den mest kendte lepton og den første af de nye elementarpartikler til at blive opdaget allerede i 1899 af J.J. Thomson. Dertil myonen, en elektronlignende partikel, men 207 gange tungere end elektronen, observeret i den kosmiske stråling af Anderson og Neddermeyer i 1936. Og så den mærkelige neutrino, som af W. Pauli i 1930 blev indført, for at forstå hvorfor elektronerne fra β -radioaktivitet ikke altid har den samme energi.

Den næste type partikler kaldes hadroner og relaterer sig til atomkernerne. Protonen og neutronen er de mest

kendte hadroner.



Figur 4. Rekonstrueret begivenhed i ATLAS-detektoren ved LHC.

Sidst men ikke mindst betydningsfuldt har vi fotonen, lyskvantet, som Planck indførte i 1896 for at forstå strålingen fra et absolut sort legeme. Albert Einstein viste i 1905 gennem den fotoelektriske effekt, at indførelsen af lyspartiklen ikke alene var et matematisk trick for at løse et problem, men at lys både kan beskrives som bølger og som energipakker, fotoner.

Med adgangen til mere kraftfulde accelerators og effektive detektorsystemer fx på CERN opdagede

man i hundredevis af nye elementarpartikler, der alle kunne karakteriseres som hadroner. Noget tydede på, at man var ved at afdække et endnu dybere lag af elementarpartikler.

Det krævede nytænkning, og i 1964 foreslog Murray Gell-Mann og George Zweig uafhængigt af hinanden, at hadronerne var opbygget af mindre byggesten kaldet kvarker. For at få det hele til at gå op behøvede man blot tre forskellige kvarker, kaldet up (u), down (d) og strange (s). Det var ikke let at overbevise kollegerne om, at kvarkteorien var den rigtige vej frem. Specielt det faktum, at kvarkerne ikke kunne have ladninger med et helt multiplum af protonens ladning, faldt ikke i god jord. For at få de tre kvarker på plads må ladningerne fordeles med $+2/3$ protonladning til u-kvarken og $-1/3$ protonladning til både d- og s-kvarkerne. Lægger man nu ladningerne fra to u-kvarker sammen med en d-kvark, får man $+1$, altså en proton, og lægger man to d-kvarker sammen med en u-kvark får man 0, en neutron. Tager man en u-kvark sammen med en anti-u-kvark ($\bar{u}$)², får man 0 ladning, en neutral π -meson, mens en u sammen med en $\bar{d}$ giver $+1$, den positivt ladede π -meson. Og så er det bare at gå i gang med at konstruere nye partikler, fx uds (λ^0), $s\bar{u}$ (K^+) osv. og derefter lede efter dem i naturen. Senere er modellen udvidet, så der nu er tre familier af kvarker og leptoner, hvor de letteste er (u(p), d(own), e^- , ν_e), den mellemste (c(harme), s(trange), μ^- , ν_μ) og de tungeste (t(op), b(ottom), τ^- , ν_τ). Et udestående spørgsmål var så, om der kan være flere, endnu tungere familier.

De fundamentale kræfter og partiklernes masse

Modellen indeholder derudover en forklaring på tre af naturens fire fundamentale kræfter. Det er ikke muligt at beskrive tyngdekraften konsistent sammen med de andre kræfter inden for kvantemekanikken, hvilket er nødvendigt for at forstå tyngdekraftens virkemåde. I modellen beskrives kræfter som udveksling af partikler mellem elementære byggestene, kvarker og leptoner. Den elektromagnetiske kraft er udveksling af fotoner, Plancks lyspartikel. De stærke kernekræfter skabes gennem udveksling af gluoner, limpartikler, og de svage kernekræfter, som er årsag til β -radioaktive henfald, fremkommer gennem udveksling af W- og Z-bosoner. Fotonen bliver dermed medlem af en ny gruppe partikler, de kraftoverførende. Da modellen blev fremsat af Glashow, Weinberg og Salam i 1967–68, var W- og Z-partiklerne alene forudsigelser fra en matematisk model, som det krævede eksperimenter at be- eller afkræfte. Den samlede model for partikler og kræfter går under navnet Standardmodellen. For en indføring i Standardmodellen se [3,4]

For at få modellen til at fungere var man nødt til at lade alle partikler i modellen være masseløse. Masse får partiklerne ved at vekselvirke med Higgs-partikler, der er allestedsnærværende i vakuum. Massen får partiklerne, fordi det er "svært" at trænge gennem vakuum, og de partikler, som vekselvirker stærkest med Higgspartiklen, får de største masser. Igen en matematisk konstruktion, der må be- eller afkræftes i laboratoriet.

Niels Bohr Institutets deltagelse på CERN

Forskere fra Niels Bohr Institutet har gennem mere end 40 år deltaget i eksperimenter, som har undersøgt og i utrolig grad bekræftet Standardmodellens forudsigelser. Der er tale om bidrag til store langvarige internationale projekter, som her kun kan nævnes med udpegning af de centrale resultater. Niels Bohr Institutet har med stor succes været med til at afklare de store oprindelige udestående spørgsmål i Standardmodellen; W-, Z- og Higgspartiklernes fysiske eksistens, antallet af familier af fundamentale byggesten, (der er kun tre), og egenskaberne ved den stærke kernekræfter. Bidragene til eksperimenterne har været mangfoldige og inden for alle dele af moderne partikelfysik; komplekse spor-detektorer og kalorimetre, styrings-, kalibrerings- og dataindsamlingselektronik, algoritmer og programmer til datareduktion og -analyse, samt simuleringer af detektorernes forventede signalmønstre. De studerende er blevet udfordret og oplært i de mest avancerede måleprocesser, altid på forkant af hvad der er teknisk muligt.

Her følger de centrale eksperimenter på CERN, som Niels Bohr Institutet har deltaget i. Årstallene angiver den periode, hvor eksperimentet indsamlede data.

- R807: 1977–1983, proton-proton-kollisioner ved 28 GeV massemidtpunktsenergi (CM-energi). Stærke bidrag til vores forståelse af de stærke kernekræfter.
- UA2 [5]: 1980–1986, proton-antiproton-kollisioner ved op til 630 GeV CM-energi; opdagelsen af W- og Z-partiklerne, jets-fysik, der klart viser, at der er hårde objekter inden i protoner og antiprotoner, hvilket er afgørende for forståelsen af de stærke kernekræfter.
- ALEPH [6] og DELPHI [7]: 1989–2001, elektron-positron-kollisioner med op til 210 GeV CM-energi; gennem målingen af antallet af lette neutrinoer, blev antallet af familier begrænset til tre. Kun hvis den tilhørende neutrino har en masse højere end halvdelen af Z-partiklens masse, kan en fjerde familie komme på tale, og da de tre første neutrinoer har en forsvindende masse, anses dette for usandsynligt. Dertil mange analyser som bekræfter alle Standardmodellens forudsigelser.
- ATLAS [8] 2009–2030'erne, proton-proton-kollisioner ved op til 14.000 GeV CM-energi; Opdagelsen af Higgs-partiklen. Et væld af målinger, som alle bekræfter Standardmodellen inden for de statistiske usikkerheder.
- ALICE [9] 2012–2030'erne, bly-bly-collider ved ca. 5 TeV per nukleon; klare indikationer på nye faser for stof, der formodes at have været tilstede i det tidlige univers, og som havde indflydelse på universets tidlige udvikling; underbygger vores grundlæggende forståelse af de stærke kernekræfter.

Mange af de emner, som denne artikel har berørt, vil også i fremtiden have stor bevågenhed. "Science diplomacy" vil i den nuværende situation med de genopståede øst-vest-spændinger utvivlsomt komme til at spille en afgørende rolle for genetableringen af den gensidige troværdighed. På samme måde som CERN gjorde det i efterkrigstidens Europa. På den videnskabelige front er arbejdet langt fra gjort færdigt. Vi ved, at Standardmodellen ikke er hele sandheden. Den forklarer fx ikke det mørke stof og mørk energi, der udgør henved 95 % af alt stof i universet. Den forklarer heller ikke, hvorfor der ikke er lige så meget antistof som stof i universet. Det er et faktum, som vi kan være glade for, men som ikke er forstået ud fra Standardmodellen. Og så giver den oplagt forkerte svar, når man lader den beskrive ekstremt høje energitætheder, fx at det er mere end 100 % sikkert, at visse processer finder sted i det tidlige univers. Og så mangler vi helt at forstå tyngdekraften ud fra Standardmodellens begrebsapparat. Der er nok at tage fat på, og Niels Bohr Institutet er en del af fremtiden, både inden for partikelfysik og astronomi og altid både med bidrag til eksperimenter og observationer på den ene side og teoridannelse på den anden.

- [1] <https://home.cern/science/accelerators>
- [2] <https://home.cern/science/experiments>
- [3] <https://home.cern/science/physics/standard-model>
- [4] <https://fysikleksikon.nbi.ku.dk/s/standardmodellen>
- [5] <https://home.cern/science/experiments/ua2>
- [6] <https://home.cern/science/experiments/aleph>
- [7] <https://home.cern/science/experiments/delphi>
- [8] <https://home.cern/science/experiments/atlas>
- [9] <https://home.cern/science/experiments/alice>



John Renner Hansen er lic.scient. og professor i eksperimentel partikelfysik ved Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet. Han har bidraget til CERN-eksperimenterne UA2, ALEPH og ATLAS

Lodret frit fald

– breddeopgave 96 og 97 med didaktisk kommentar

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 en ny opgave. Opgaverne i sidste nummer af Kvant var disse breddeopgaver (nr. 96 og 97 i rækken her i Kvant):

Breddeopgave 96 og 97. Lodret frit fald

Ifølge Galilei skulle Aristoteles have ment, at en sten, tabt fra toppen af masten på et skib i fart, vil lande et stykke henne ad dækket, hvorimod Galilei var sikker på, at stenen lander for foden af masten. Er afstanden imellem de to formodede landingssteder til at konstatere? Begrund svaret.

På grund af Jordens rotation om sin egen akse falder en tabt sten fra det ca. 100 m høje rådhusårn i København ikke lodret ned til tårnets fod, selvom den ikke fik noget sidelæns skub, da den blev tabt. Hvorfor det? Kan det måles? Begrund svarene.

Løsninger

Hvad angår den første opgave, vil en tabt sten ifølge Aristoteles søge direkte imod sit "naturlige sted" ved i forhold til Jorden at bevæge sig lodret nedad. Da skibet samtidigt bevæger sig i vandret retning, vil stenen lande et stykke henne ad dækket. Men ifølge Galilei og inertiens lov vil stenen blive ved med at have skibets vandrette hastighed under dens fald, som derfor sker langs med masten til dens fod.

Hvis vi kalder mastens højde h , skibets fart v og tyngdefeltstyrken g , giver nutidens måde at regne på $h = \frac{1}{2}gt^2$, dvs $t = \sqrt{2h/g}$ for tiden, det tager stenen at falde. Ifølge Aristoteles er stykket, stenen lander henne ad dækket, derfor givet ved:

$$d = vt = v\sqrt{2h/g} \quad (1)$$

Indsættes $h = 10$ m, $g = 10$ m/s² og $v = 20$ km/time

i formlen, fås $d \approx 8$ m. Altså noget, der synes at skulle være til at konstatere selv på Aristoteles' tid.

I den anden opgave er det Corioliskraften, $2m\mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega}$, der er årsag til den vandrette bevægelse i forhold til rådhusårn og rådhusplads. Her står m for stenens masse, $\mathbf{v}$ dens hastighed og $\boldsymbol{\omega}$ vinkelhastigheden af Jordens rotation. Opdeles $\boldsymbol{\omega}$ i en lodret og vandret komponent i forhold til Rådhuspladsen, $\boldsymbol{\omega} = \boldsymbol{\omega}_v + \boldsymbol{\omega}_l$, har vi $\mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega} = \mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega}_v$, da $\mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega}_l$ praktisk taget er nul, fordi stenen, bortset fra den lille afvigelse, vi er på sporet af, bevæger sig efter lodlinjen. Da $\boldsymbol{\omega}_v$ er rettet imod nord og $\mathbf{v}$ helt dominerende nedad, er $\mathbf{v} \times \boldsymbol{\omega}$ rettet imod øst. Det er derfor på østsiden af rådhusårnet, at et tænkt forsøg bedst udføres. Vi kalder komponenten af $\mathbf{v}$ langs lodlinjen for v_y og komponenten vinkelret herpå rettet imod øst for v_x . Idet størrelsen af den øst-rettede Corioliskraft da er $2mv_y\omega \cos \varphi$, hvor φ er Københavns breddegrad, har vi for stenens bevægelse imod Rådhuspladsen:

$$m\ddot{v}_y = mg \quad (2)$$

$$m\ddot{v}_x = 2mv_y\omega \cos \varphi \quad (3)$$

Integration af ligning (2) giver $v_y(t) = gt$, idet $v_y(0) = 0$. Integration af ligning (3), efter indsættelse af dette i den, giver da $\ddot{x} = v_x(t) = gt^2\omega \cos \varphi$, idet $v_x(0) = 0$. Ved endnu en integration fås så $x(t) = \frac{1}{3}gt^3\omega \cos \varphi$, idet $x(0) = 0$. Med brug af betegnelsen t_1 for faldtiden gennem rådhusårnets højde h fås for afstanden d fra tårnets fod, hvor stenen lander:

$$d = \frac{1}{3}t_1^3 g \omega \cos \varphi \quad (4)$$

Indsættes $t_1 = \sqrt{2h/g}$ med $g = 10 \text{ m/s}^2$ og $h = 100$ m samt $\omega = 2\pi/24$ timer, og $\cos \varphi \approx \frac{1}{2}$, fås $d \approx 1$ cm. Det kunne nok ikke observeres på Aristoteles' eller Galileis tid. Men måske nu om dage?

Kommentar

Man kan undre sig over, at Aristoteles' påstand, om hvor en tabt sten fra toppen af en skibsmast vil falde på dækket, kunne stå til troende i to årtusinder. Med vore dages synsvinkel forekommer en afstand på 8 m at være svær at overse. Men i perioden har systematisk erfaringsindsamling og eksperimenter ikke været gængs. Det er først med Galilei og ligesindede, at der udvikledes en eksperimentel videnskabskultur beslægtet med vore dages. Galilei selv var en foregangsmand ved at anse "naturens bog for at være skrevet i matematik", men også foregangsmand ved at samle erfaring systematisk via eksperimenter til udledning af de matematiske love i naturens bog. Hvorimod Aristoteles med følgere uddrog almene love som sammenfatninger af hverdagserfaringer, som de forelå umiddelbart. Og iagttagelsen af de 8 m har åbenbart skulle hentes fra en mere tilrettelagt forsøgsopstilling end fra et skib i bølgegang, hvor de 8 m ikke er blevet noteret i to årtusinder.

Nu om dage er formel (1) afgørende hverdagserfaring for bombeflyvere. Indsættelse af $v = 800 \text{ km/time}$, $h =$

50 m og $g = 10 \text{ m/s}^2$ i formlen, giver således $d \approx 700$ m, som ikke er til at overse. Jeg har ikke undersøgt og kender ikke til erfaringsmæssig efterprøvning af formel (4). De eksperimentelle udfordringer er noget større end ved efterprøvningen af formel (1). Med h øget fra 100 m til 1 km eller 10 km, øges d ganske vist fra 1 cm til henholdsvis 31 cm og 10 m, som skulle være til at få øje på. Men ved fald fra store højder tænker jeg, at forstyrrende forhold, fx luftmodstand og det underliggende terræns påvirkning af lodlinjen, kan gøre efterprøvningen vanskelig.

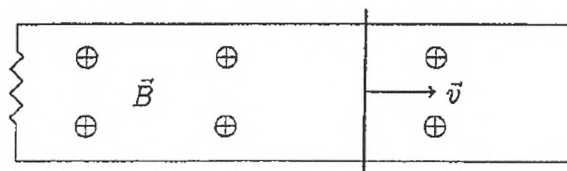
De to opgaver befinder sig i hver sin ende af spektret af breddeopgaver, den første i den lette ende, den anden i den svære. Der er ikke kun mere matematik i den anden. Den er også begrebsligt mere krævende. Opgaveformuleringen peger ganske vist i retning af centrifugalkraft og Corioliskraft. Men at indse, at centrifugalkraften kun påvirker lodlinjen, og ikke faldets afvigelse fra lodlinjen, kræver overblik.

Som nævnt i tidligere kommentarer, efterstræber vi ikke samme sværhedsgrad af opgaverne i et eksamenssæt. Blandingen af opgaver med forskellig sværhedsgrad imødekommer behovet for differentierede udfordringer til de forskellige studerende. Den traditionelle opgaveopbygning med gradvis problemklarificering gennem hjælpespørgsmål, hvor hjælpespørgsmålene udfordrer mindre end hovedsagen, tjener også behovet for differentierede udfordringer. Men vi kan ikke bruge denne opgaveopbygning i breddekurset, da vi lægger vægt på, at de studerende trænes i selv at kunne identificere fysikken i problemer beskrevet i dagligdags sprog og kunne modellere problemerne matematisk, forud for til sidst at kunne løse de således formaliserede fysikproblemer. Med en tilrettelagt rute via hjælpespørgsmål ville vi ikke levere træning i selv at stille hjælpespørgsmål.

Breddeopgave 98 og 99. Fluksreglen

Inden næste nummer af Kvant udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningerne til disse to opgaver fra breddekurset på RUC (fra eksamen juni 2010 og eksamen juni 2013, nr. 98 og 99 i rækken her i Kvant):

En metalstang trækkes mod højre på et par glatte metalskinner anbragt i et magnetfelt som antydnet på figuren. Hvordan ændrer dens hastighed sig med tiden, når den slippes? Begrund svaret.



Hvordan afhænger selvinduktionskoefficienten for en spole med en given størrelse af antallet af vindinger? Begrund svaret.

Løsninger og kommentar bringes i næste nummer af Kvant.

Fugles aerodynamik kan inspirere til design af mere sikre fly

AERODYNAMIK. Den fugleinteresserede læser har måske bemærket, at en fugl, der lander på en gren, kan gøre det på to måder. Enten basker den hurtigt vingerne opad, eller også folder den vingerne tilbage og skaber en fejende bevægelse, mens den sænker farten.

Disse to forskellige bevægelser har et forskerhold fra Department of Mechanical and Aerospace Engineering ved University of Central Florida studeret.

Forskerne har undersøgt aerodynamikken af fugles landingsmanøvre og forklarer, at en nøjagtig forståelse af landingsmanøvren ville hjælpe med at designe endnu mere sikre fly.



Forskerne fandt ud af, at den fejende bevægelse, som ændrer formen af fuglens vinge, øger vingernes opdrift, og giver en bedre kontrol af de aerodynamiske kræfter under en landing.

Forskerne har især været interesseret i den fejende landingsmanøvre, da den giver fuglene mulighed for en glat landing inden for kort afstand. Derfor er den fejende landingsmanøvre en mulighed for et fly, når der kun er en kort landingsbane.

Forskerne simulerede fuglevinger med aluminiums-plader, som de skubbede gennem en beholder fyldt med sølvbelagte glaskugler med en diameter på 10 μm . De brugte forskellige plader til at simulere vingerne under de to typer landingsmanøvre; en rektangulær plade til den lige vinge og en tilspidset plade til den fejende vinge. Pladerne blev bevæget med konstant hastighed et par sekunder, hvorefter de blev vippet og flyttet mod beholderens væg under deceleration for at efterligne en landende fugl, der sænker farten, mens den hæver vingerne. Kraftmålingerne viste, at den tilspidsede plade producerede mere opdrift end den rektangulære plade, hvilket simulationerne bekræftede. På begge plader blev dannet en hvirvel, men kun ved den tilspidsede plade blev hvirvlen stabiliseret, hvilket øgede opdriften.

Forskerne konkluderede, at den fejende vingebevægelse stabiliserer fuglen bedre og øger den aerodynamiske kraft, og at hvis denne landingsmanøvre anvendes af fly, så kan det bidrage til en mere stabil landing.

Kilde: D. R. Adhikari m.fl. (2022) "Effect of wing sweep on a perching maneuver", *Phys.Rev.Fluids*, bind 7, side 044702, samt <https://physics.aps.org/articles/v15/s47>

Magnetiske Bloch-oscillationer muliggør nye computere

MAGNETISME. En forskergruppe fra Niels Bohr Institutet i København har med neutronspretningsforsøg vist, at der dannes magnetiske Bloch-oscillationer i magnetiske materialer. Magnetiske Bloch-oscillationer blev forudsagt i 1996, men det er først nu lykkedes at vise, at de eksisterer.



Når elektroner i et periodisk gitter udsættes for et elektrisk felt, begynder de at oscillere. Dette kaldes Bloch-oscillationer. Forskerne har vist, at der findes en magnetisk analog til Bloch-oscillationer i en ferromagnet. Magnetiske materialer er som bekendt opdelt i domæner, hvor enten spin op eller spin ned dominerer. Domænerne er adskilt af domænevægge, som er kvasipartikler, det vil sige, at de opfører sig som partikler og fx kan bevæges vha. et påført magnetfelt. Domænevæggene opfører sig også som bølger (partikel-bølge dualitet), og det betyder at positionen af domænevæggen begynder at oscillere, når den udsættes for et magnetfelt. Det gør den, da det magnetiske felt virker som en kraft, der prøver at ensrette spin op/ned, hvilket accelererer domænevæggen i en retning og skaber en oscillerende bevægelse. Det er netop de oscillationer, som forskerne har vist eksisterer i magnetiske materialer.

Forskerne studerede bevægelse af domænevægge i det magnetiske materiale $\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{D}_2\text{O}$. De undersøgte materialet med neutroner. Neutroner er ideelle til at studere magnetiske materialer, da de ikke er elektrisk ladet, men reagerer med magnetfelter. Neutronspretningsforsøgene viste spindynamikken i materialet, og her så forskerne oscillationer, som deres model for magnetiske Bloch-oscillationer kunne forklare.

Computere bruger i dag elektroner til at transportere information gennem mikrochips. Men de elektriske strømme opvarmer chippen, og det bliver et problem,

når mange små komponenter er tæt pakket. Det er i dag svært at gøre komponenterne mindre og pakke dem mere uden at overophede dem. En computer baseret på magnetisme vil kunne undgå det problem. Men sådan en computer kræver forståelse af de fundamentale egen-

skaber ved magnetisme, og det har forskerne vist med demonstrationen af magnetiske Bloch-oscillationer.

Kilde: U.B. Hansen m.fl. (2022) "Magnetic Bloch oscillations and domain wall dynamics in a near-Ising ferromagnetic chain", *Nat. Commun.*, bind 13, side 2547, samt <https://phys.org/news/2022-05-properties-magnetism.html>.

Kommende foredrag

Dato	Tid	Foredragstitel	Foredragsholder	Forening
Sep 2022				
5/9	19.30	Kvanteinformation, kvantecomputere og kvanteinternettet	Anders Sørensen	SNU
12/9	18.15	Astronomien på Tychos tid	Helge Kragh	AS (Khb)
19/9	19.45	Astronomien på Tychos tid	Helge Kragh	AS (Aarh)
26/9	19.30	Kvantemekanikken – atomernes vilde verden	Klaus Mølmer	SNU
Okt 2022				
3/10	18.15	<i>De Stella Nova</i> og Tycho Brahes andre bevarede skrifter	Bertil Dorch	AS (Khb)
10/10	19.45	<i>De Stella Nova</i> og Tycho Brahes andre bevarede skrifter	Bertil Dorch	AS (Aarh)
24/10	18.15	Forskning i termionukleare supernovaer i dag	Maximilian Stritzinger	AS (Khb)
24/10	19.30	Event med uddeling af Kirstine Meyers Mindelegat		SNU
Nov 2022				
1/11	19.45	Forskning i termionukleare supernovaer i dag	Maximilian Stritzinger	AS (Aarh)
7/11	18.15	Supernovaresten efter Tycho's supernova og andre supernovaresten observeret i røntgenstråling	Desiree Della Monica Ferreira	AS (Khb)
14/11	19.30	"Kogt spaghetti i en jacuzzi" – om protein-krysallografi	Johan Gotthardt Olsen	SNU
15/11		Årsmøde i Dansk Fysisk Selskab på Hotel		DFS
-16/11		Nyborg Strand		
21/11	19.45	Supernovaresten efter Tychos supernova og andre supernovaresten observeret i røntgenstråling	Desiree Della Monica Ferreira	AS (Aarh)
28/11	18.15	Type Ia-supernovaer og kosmologien	Charles Steinhardt	AS (Khb)
Dec 2022				
5/12	19.45	Type Ia-supernovaer og kosmologien	Charles Steinhardt	AS (Aarh)
5/12	19.30	Jupiter set fra NASA-missionen Juno: nyt om måner og magnetfelt. Efter foredraget uddeles H.C. Ørstedmedaljen til en inspirerende gymnasielærer	John Leif Jørgensen	SNU

AS (Khb): Astronomisk Selskab, CSS (lokale 35.-1.05), Gammeltoftsgade 15, 1353 København K (astronomisk.dk).

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

DFS: Dansk Fysisk Selskab (dfs.nbi.dk).

SNU: Aud. 1, H.C. Ørstedbygningen, Universitetsparken 5, 2100 København Ø (naturlaeren.dk, facebook.com/SNU1824).

Foredragene i AS kræver tilmelding via AS eller Folkeuniversitetet. Der er gratis adgang til foredragene i SNU.

Nye navne

Astronomisk Selskab har valgt Lars Occhionero som ny formand, da den hidtidige formand Christina Toldbo er i USA, men Christina fortsætter som bestyrelsesmedlem, hvor hun tager sig af pressekontakten. Lars er museumsinspektør på Kroppedal Museum med ansvar for astronomi og astronomihistorie.

I Dansk Fysisk Selskab har Ian Bearden afløst

Kristoffer Haldrup som formand. Ian er professor i eksperimentel subatomar fysik på Niels Bohr Institutet.

Endelig har Kvants redaktion fået et nyt medlem, idet SNU har udpeget Ole Mørk Lauridsen til redaktionen. Ole er cand.polyt. fra DTU og tidligere udviklingsdirektør for Tele Danmark, forskningschef for NetTest, CTO for Terma o.m.a. Han er desuden medlem af direktionen for SNU.

Tychos supernova

Jens Olaf Pepke Pedersen



Den 11. november i år er det præcis 450 år siden, at Tycho Brahe opdagede den "nye" stjerne i stjernebilledet Cassiopeia. Brahe kunne naturligvis ikke dengang vide, at det var en døende stjerne han observerede. I dag ved vi, at han så en supernovaeksplosion, som var 8–10.000 lysår borte, og som siden har fået navnet SN 1572 efter årstallet for Brahes observation. Ofte kaldes den blot for "Tychos supernova".

Brahe forsøgte at måle afstanden til lyskilden ved at måle parallaksen, og han kunne konstatere, at den i hvert fald var længere ude end Månen. Derfor kunne han konkludere, at det ikke var et fænomen i Jordens atmosfære, men måtte være en ny stjerne, og han blev slået af forundring over at have oplevet *"det største af de mirakler, der er indtruffet i naturen siden verdens skabelse"*. Himmelhvelvingen var ikke længere evig og uforanderlig.

Det fik imidlertid ikke Brahe til at konkludere, at der var noget galt med Bibels skabelsesberetning, og han blev i stedet begejstret over at konstatere, at Gud stadig var i gang med sit skaberværk. Den nye stjerne var *"en vidunderlig åbenbaring uden for naturens orden stammende fra Gud, hele universets skaber, som han selv har skabt i begyndelsen og nu endelig vist for verden i dens tusmørketime"*.

I dag betragter vi ofte naturvidenskab og religion som adskilt fra hinanden, men på Brahes tid ville en sådan opdeling ikke have givet mening. Alle de store naturforskere var troende, og selv deres videnskabelige begreber var formet af deres religiøse overbevisning. Når de henviste til naturlove, var det ikke en

bekvem metafor, men det var vitterlig de love, som Gud havde udformet for rummet, og ifølge Brahe var astronomien derfor et redskab til at udforske Guds love.

At Brahe bruger ordet "tusmørketime" i citatet ovenfor kan derfor være et tegn på, at han i lighed med mange andre i sin samtid mente, at dommedagen var nær. Han advarede dog i sin bog om den nye stjerne imod forhastede spekulationer om stjernens betydning. Ifølge Brahe skulle alle filosoffer – gamle som nye –, samt teologer og matematikere således *"tie og lade være med at tro, at de med nogen sikkerhed kan fastslå noget om denne stjernes tilblivelsesmåde eller komme med en forklaring på dette mirakel"*. Brahe afviser også med videnskabelige argumenter, at det kan være en ny Betlehemsstjerne, for *"denne stjerne havde nemlig ikke sin position på himlen blandt de andre stjerner, men i den nederste luftregion ikke langt fra Jordens overflade. Ellers ville den nemlig ikke med sin bevægelse have vist vej for dem, som ledte efter frelseren."*

Brahe bliver ofte udnævnt som grundlæggeren af den moderne astronomi, der er baseret på observationer, og han bidrog sammen med Kopernikus til den videnskabelige revolution, der blev afgørende i Vestens historie. Kopernikus' bidrag var den korrekte model for solsystemet med Solen i centrum, men han havde ikke de observationer, der kunne vise, at hans model var korrekt. Brahe kom derimod med de nøjagtige observationer, og dermed kunne han bevise, at den nye stjerne var længere væk end Månen, og at det aristoteliske billede af en uforanderlig himmel hinsides Månen var forkert.

Med dette temanummer om Tycho Brahe og den nye stjerne ønsker Kvant at markere jubilæet, og vi er taknemmelige for, at en række dygtige forfattere har bidraget med artikler om deres viden til dette temanummer. Vi har tilstræbt, at artiklernes kan læses og bruges hver for sig, og der er også mulighed for at møde flere af forfatterne i den foredragsrække, som Astronomisk Selskab har arrangeret til efteråret, og som kan ses på omslagets inderside.