

# Før Hubble: Om galaksernes tidlige historie

Helge Kragh, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Mens der i dag er næsten uendeligt mange galakser, har der gennem det meste af astronomiens historie kun været en enkel galakse, nemlig Mælkevejen. I artiklen gives et rids af tågerne historie fra oldtiden til slutningen af 1800-tallet, hvor det endnu ikke var anerkendt, at der findes galaktiske systemer hinsides vor egen Mælkevej.

Når astronomer taler om galaksernes historie, mener de den måde, galakser er blevet dannet og siden har udviklet sig. Men her skal "galaksernes historie" forstås på en helt anden måde, nemlig som den opfattelse og viden man gennem historien har haft om de himmelske objekter, vi i dag betegner som galakser. Det er altså ikke galakserne selv, der står i centrum, men de forskere der har kortlagt dem og søgt at forstå, hvad objekterne er. Vores egen Mælkevej er en typisk spiralgalakse, en enorm samling af stjerner og gasskyer, og den er kun én af de ufatteligt mange galakser, der flyder rundt i universet. Dette er en forbavsende ny erkendelse, idet den har mindre end 100 år på bagen. Artiklen beskriver dele af den tidligere historie indtil slutningen af 1800-tallet, mange år før det stod klart, at Andromeda og andre galakser befinder sig langt væk fra Mælkevejen.

En anden vigtig forbemærkning er af sproglig art. Ordet "galakse" har traditionelt været et synonym for Mælkevejen og derfor et entalsord, mens "galakser" i flertal hovedsageligt hører til perioden efter ca. 1950. Tidligere blev de på dansk typisk betegnet som "tåger" eller "stjernetåger", mens det engelske udtryk var "nebulae". Titlen på Edwin Hubbles velkendte bog fra 1936 var karakteristisk nok *The Realm of the Nebulae* og ikke "The Realm of the Galaxies" [1]. Strengt taget er det altså anakronistisk at tale om galakser i den periode, der her beskrives, hvilket jeg dog af pædagogiske grunde alligevel vil gøre af og til.

## Fra Ptolemaios til Galilei

I sit berømte værk *Almagest* fra omkring 150 e.Kr. nævnte den græske matematiker og astronom Ptolemaios nogle få lyssvage stjerner, der mindede ham om tågeklatter, men uden at han hæftede sig ved dem. Han benævnte dem *nepheloidés* fra det græske ord *nepheos* (*νέφος*) for sky eller tåge. Da den persiske astronom Abd-al-Rahman al-Sufi 800 år senere skrev en udvidet version af Ptolemaios' stjernekatalog, bemærkede han noget, der sært nok var undgået den græske autoritets opmærksomhed. Under optimale betingelser er Andromedagalaksen, der er Mælkevejens nabogalakse, nemlig synlig for det blotte øje, og den indgik i al-Sufis bog fra ca. 964 som en "tågeagtig klat". Senere blev al-Sufis bog om fiksstjerner kendt i Europa, hvor den og den tågeagtige klat blev bemærket af senmiddelalderlige astronomer (figur 1).

I starten af 1600-tallet var det dog Mælkevejen og ikke de små klatter på himlen, der tiltrak sig opmærksomhed, hvilket i høj grad skyldtes Galileis brug af den nye kikkert. I sin *Sidereus Nuncius* (Stjerne-

Budbringeren) fra 1610 kunne han konkludere [2, s. 62], at "Mælkevejen er intet andet end en talløs mængde af stjerner grupperet i klynger." På den anden side, om Andromeda eller andre af de tågede stjerner havde han intet at sige. Mælkevejen har jo altid været kendt og i overensstemmelse med græsk mytologi blev den af og til omtalt som *Galaxias* (*Γαλαξίας*), der er afledt af et græsk ord for mælk. Den latinske betegnelse er via *lactea*.



**Figur 1.** Håndskrift fra ca. 1420 med en latinsk oversættelse af al-Sufis skrift om fiksstjerner. Andromedatågen er angivet som en samling prikker ved munden af den store fisk.

Associationen mellem Mælkevej og galakse optræder i, hvad der muligvis er den første beskrivelse af Mælkevejen på dansk. I værket *Hexaëmeron Rhythmico-Danicum*, der var forfattet omkring 1630, men først udkom i 1661, skrev den lærde præst Anders Christensen Arrebo om Guds skabelse af verden [3, s. 205–208]. Han fandt også plads til at beskrive Galileis

kikkertobservationer og hvordan, de havde skabt et nyt billede af Mælkevejen:

Her giøris ej behof paa Melkevej at træde  
 Oc med Viitløftighed besee Galactis Sæde:  
 Thi det ej andet er end Stierner smaa oc  
 mange,  
 Thi maae den Melcke-sti saa u-betraad  
 hengange.  
 Om du her tvister paa, Bruug Galilæi Øje,  
 Saa kandst du selvver see, de Stierner i det  
 høje.

Ligningen Mælkevej = galakse fremgår ikke blot klart af Arrebos værk, men også af al samtidig astronomisk litteratur.

### En eller mange mælkeveje?

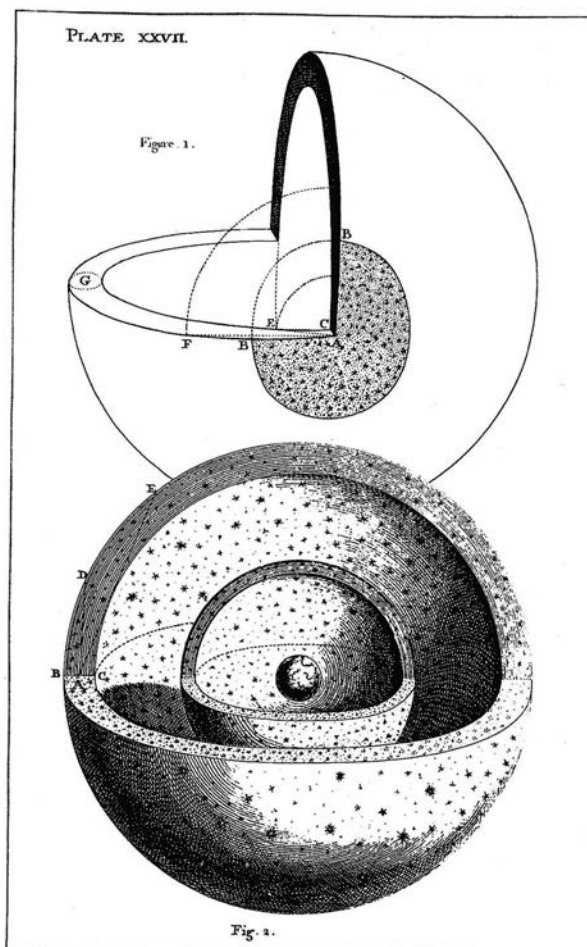
Oplysningstidens spekulative kosmologi som repræsenteret af Thomas Wright i England, Immanuel Kant i Tyskland og Pierre Louis Maupertuis i Frankrig, førte for første gang til ideen om galaktiske systemer hinsides Mælkevejen. Wright foreslog i 1750 en original men skrupforkert model for Mælkevejen, der for ham at se blot var et optisk bedrag (figur 2). Inspireret af Wrights tanker formulerede den 31-årige Kant fem år senere sin egen visionære kosmologiske teori i det anonymt udgivne værk *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels* eller, som titlen var i den danske oversættelse fra 1806, *Almindelig Naturhistorie og Theorie over Himmelen*.

Kants afhandling var en milepæl i kosmologiens idéhistorie, idet den argumenterede for et dynamisk univers, der i "myriader af millioner af århundreder" havde ændret sig og stadig befandt sig i en proces af både skabelse og forfald. I modsætning til Wright var han opmærksom på de fjerne tåger, som han ikke opfattede som enkelte stjerner, men derimod som hele verdener af stjerner af omtrent samme art som Mælkevejen. Kant hævdede, at tågerne ligesom Mælkevejen var formet som flade cirkulære skiver, der afhængigt af retningen til Jorden typisk ville ses som ellipser. "Disse elliptiske figurer er blot universer eller (så at sige) mælkeveje", skrev han [3, s. 221].

Med Kants værk har vi for første gang den grandiose idé om det materielle univers som bestående af enorme ekstragalaktiske strukturer, hvoraf Mælkevejen blot er en af utalligt mange. Senere talte man om denne kvalitative kosmologi som "ø-universet" (island universe), hvor tågerne eller galakserne er spredt ud over verdensrummet som øer i et gigantisk hav. Selv om Kant ikke selv benyttede denne metafor, brugte han en nærliggende, idet han betegnede tågerne som *Weltinseln*, altså verdens-øer.

Den tysk-franske polyhistor Johann Heinrich Lambert er kendt for sine bidrag til matematik og fotometri – nogle vil kende til "Lambert-Beers lov" – men han arbejdede også med astronomiske og kosmologiske emner. I *Cosmologische Briefe* fra 1761 fremlagde ham en teori for universets struktur, der på flere måder

mindede om Kants, idet han som denne spekulerede, at tågerne var store samlinger af stjerner uden for Mælkevejen. Selv om ø-universet således var velkendt i oplysningstiden, varede det mere end et århundrede, før teorien vakte interesse blandt fagastronomer. Kants bog blev først alment kendt, efter Hermann von Helmholtz i et foredrag i 1854 henlede opmærksomheden på den.



**Figur 2.** Thomas Wrights koncentriske univers. Solen og Jorden befinder sig i den ydre kugleskal sammen med de fleste øvrige stjerner, hvilket Wright brugte til at forklare Mælkevejens udseende. I midten befinder sig Guds "hellige trone".

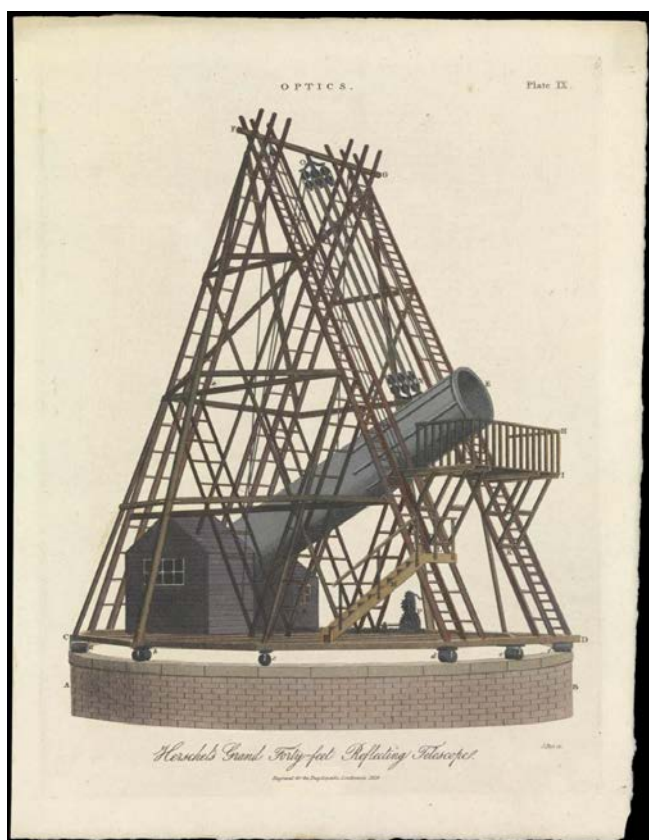
### Tågerne kortlægges

Alt imens filosoferne filosoferede, påbegyndte astronomerne det møjsommelige arbejde med at indsamle data om de mærkelige tåger. Arbejdet startede så småt i 1716, da Edmond Halley i *Philosophical Transactions* beskrev 6 tåger, og det blev i første omgang fortsat af især franske astronomer. Således udgav Nicholas-Louis de Lacaille i 1755 – samme år som Kants afhandling udkom – et katalog, hvor han skelnede mellem tre kategorier af tågede objekter.

Det var dog først med Charles Messiers mere systematiske *Catalogue des Nébuleuses et des Amas d'Étoiles* (Katalog over Tåger og Stjernehop) fra 1774, at tågerne blev undersøgt i detaljer og søgt klassificeret. Messier, der primært var kometjæger, fandt i sin søgen efter kometer en række nye tåger, herunder som den første Krabbetågen alias M1. Kataloget omfattede oprindeligt 45 tågelignende objekter og i en senere version fra 1781

var tallet vokset til 103 objekter, som Messier angav med de numre, der stadig hyppigt benyttes. Således betegnede han Andromedatågen som M31, Oriontågen som M42 og Malstrømtågen som M51.

De nævnte arbejder blegede dog i forhold til William Herschels langt mere omfattende og ambitiøse kortlægning med sine superbe spejlkikkerter (figur 3), der i 1786 resulterede i et *Catalogue of One Thousand Nebulae and Clusters of Stars*. I senere versioner af sit katalog udbyggede han det med yderligere ca. 1500 objekter og efter hans død fortsatte sønnen John Herschel det stort anlagte projekt. Den midlertidige kulmination kom i 1864, da John Herschel udgav et katalog med 5079 tågelignende objekter. Men hvad var de egentlig for noget? Var de samlinger af stjerner eller bestod de, eller i det mindste nogle af dem, af en tåget homogen substans der ikke lod sig opløse i enkeltstjerner?



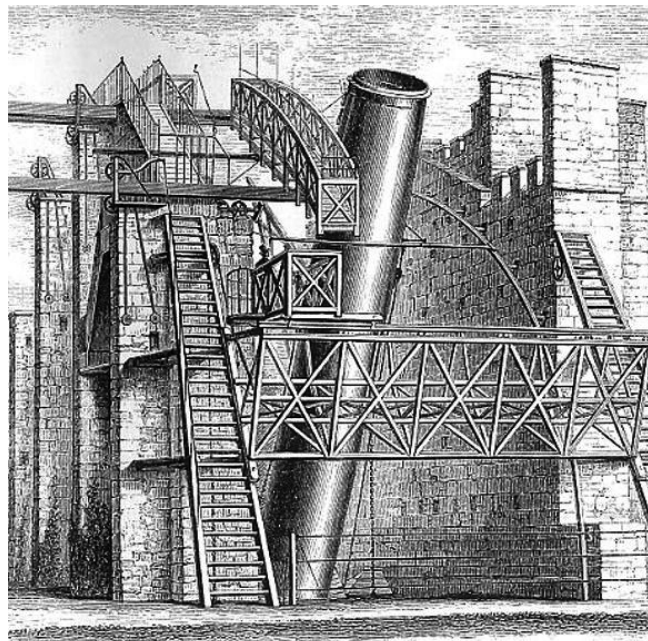
**Figur 3.** William Herschels store spejlteleskop fra ca. 1790 med spejlet monteret i et 12 m langt jernrør.

Med hensyn til dette fundamentale spørgsmål var William Herschel af to sind. Nogle af de undersøgte objekter fremstod som “en slags mælked tågethed, ligesom dette vidunderlige og uforklarlige fænomen omkring Q Orionis [M42]; mens andre skinner med et svagere, spraglet lys, som viser, at de kan opløses i stjerner” [5, s. 232]. Ikke desto mindre mente han, at med tilstrækkeligt gode kikkerter måtte alle tåger kunne opløses i enkeltstjerner. Senere ændrede han dog mening og konkluderede, at mange tåger bar deres navn med rette. Måske de var himmelske laboratorier, hvori stjernerne blev dannet ved kondensation af den tågede substans.

Herschel betegnede Mælkevejen som “vor tåge” og foreslog, omtrent som Kant tidligere havde gjort, at der var en nær analogi mellem tågerne og Mælkevejen. Desuden var han blandt de første til at indse, at når astronomer studerer tågerne, ser de tilbage i den umådeligt fjerne fortid: “Når vi ser ... en af disse meget fjerne tåger ... må lysstrålerne som overfører billedet til øjet have været der i ... næsten to millioner år [og for så lang tid siden] må dette objekt have eksisteret på stjernehimlen” [5, s. 235]. Med andre ord, han anslog eller rettere gættede på, at afstanden til tågerne var af størrelsesordenen en million lysår.

### Parsonstowns Leviatan

Herschels formodning om at bedre og større kikkerter ville afsløre mysteriet om tågernes struktur og natur viste sig berettiget. I 1844 kunne den engelsk-irske rigmand og amatørastonom William Parsons alias Lord Rosse indvie et enormt spejlteleskop, der gennem de næste 70 år forblev verdens største kikkert. Det finpolerede spejl havde en diameter på næsten 2 meter, og det var monteret i et ca. 18 m langt rør (figur 4). I folkemunde var kikkerten kendt som “Parsonstowns Leviatan” efter lokaliteten i Irland og det kolossale monster Leviatan, der omtales flere steder i Det Gamle Testamente.

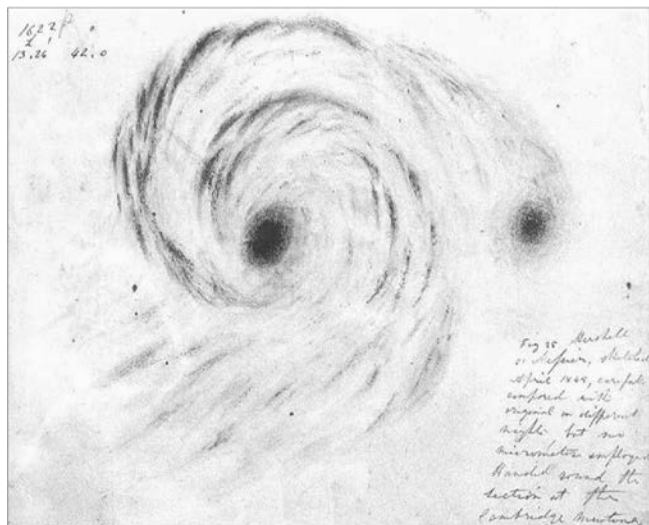


**Figur 4.** Leviatan-monstret fra Parsonstown.

Det højteknologiske monster gav straks vigtige resultater, hvoraf det vigtigste var opdagelsen af spiraltåger eller -galakser. Allerede i 1845 fastslog Parsons spiralstrukturen for M51 og senere viste han, at også M31, M99 og andre tåger havde den karakteristiske spiralform. De tegninger, som Parsons og hans assistenter lavede af spiraltåger, var forbløffende korrekte (figur 5). Den fotografiske teknik var endnu i sin spæde vorden, og først i 1880 lykkedes det den amerikanske amatørastonom Henry Draper at fotografere en tåge, nemlig Oriontågen. Det første fotografi af Andromeda stammer fra 1887.

Med Leviatan-kikkerten viste Parsons også, at der var stjerner i udkanten af Andromedatågen. Andre af hans

observationer antydede, at alle tåger i princippet kunne opløses i enkeltstjerner, sådan som Herschel først havde formodet. Selv om Parsons ikke selv hævdede denne påstand, vandt den i en tyveårig periode almindelig accept. Men med astrospektrografiens udvikling skulle det vise sig, at påstanden ikke holdt vand.



**Figur 5.** Parsons' tegning fra april 1845 af spiralgalaksen M51.

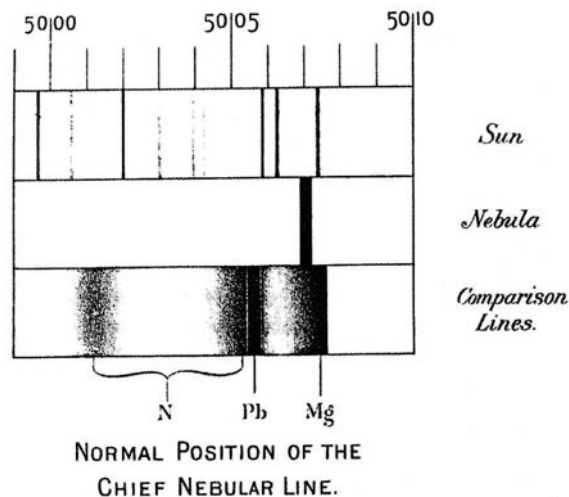
### Galaktisk astrospektrografi

Som allerede antydte skyldtes en stor del af astronomiens fremskridt i 1800-tallet amatører. Endnu en af slagsen, og endnu en englænder, var William Huggins, der sammen med sin kone Margaret var en pioner i spektroskopiske studier af det svage lys fra stjerner og tåger. Ved at sammenligne spektret fra en tåge med spektre optaget i laboratoriet af henholdsvis gasser og glødende faste stoffer håbede han at kunne afgøre den gamle strid om tågernes sande natur. Han berettede senere om, hvordan han en aften i 1864 studerede lyset fra en såkaldt planetarisk tåge i stjernebilledet Dragen og til sin forbavselse kun så en enkelt spektrallinje [6, s. 106]:

Tågens lys var monokromatisk og kunne derfor ikke, i modsætning til ethvert andet lys jeg havde undersøgt med prisme, udbredes til at danne et fuldstændigt spektrum. ... Tågernes gåde var løst. Svaret, som var kommet med lyset selv, lød: Ikke en samling af stjerner, men en lysende gas.

Huggins skelnede som den første mellem ægte tåger (som Oriontågen) og stjerne-tåger (som Andromeda), eller hvad der kom til at hedde galakser. Førstnævnte var karakteriseret ved diskrete emissionsspektre og sidstnævnte ved kontinuerte spektre. I den "katteøj-tåge" (NGC 6543), han observerede i 1864, fandt han to diskrete linjer, han ikke kunne identificere med et kendt grundstof og som han derfor foreslog at stamme fra et nyt grundstof, der kun fandtes i tågerne (figur 6). Det hypotetiske grundstof nebulium vedblev med at spøge, selv om der ikke var plads til det i det periodiske system. Først i 1927 blev spektrallinjerne afsløret som

stammende fra almindelig oxygen omend i form af den usædvanlige  $O^{2+}$ -ion [7].



**Figur 6.** Den dominerende nebulium-spektrallinje som gengivet i en afhandling af den amerikanske astronom James Keeler fra 1894.

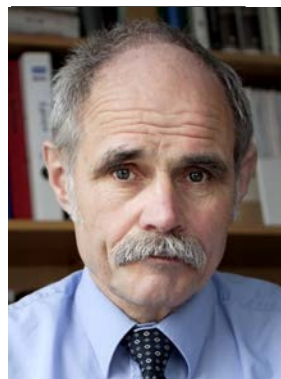
Selv om astrospektroskopien viste sig som et særdeles vigtigt redskab i astronomien, besvarede den ikke umiddelbart det afgørende spørgsmål om tågernes afstand og placering i forhold til Mælkevejen. Tanken om de egentlige stjerne-tåger som galakser i lighed med vor egen var nærliggende og blev diskuteret, men i slutningen af 1800-tallet var teorien om  $\emptyset$ -universet stadig kontroversiel. De fleste astronomer ville nok bifalde, hvad den anerkendte astronomiske forfatter Agnes Mary Clerke sagde i sin bog *The System of the Stars* fra 1890 [8, s. 368]: "Spørgsmålet om, hvorvidt tåger er eksterne galakser, behøver næppe diskuteres længere. ... Ingen kompetent tænker, der har kendskab til al den tilgængelige information, kan nu hævde, at nogen enkelt tåge er et stjernesystem af samme art som Mælkevejen."

Der skulle gå mere end 30 år, før det viste sig, at Clerke og hendes meningsfæller tog helt og aldeles fejl. Når det varede indtil midten af 1920'erne, før Hubble afgjorde spørgsmålet om  $\emptyset$ -universet, skyldtes det hovedsageligt, at man ikke kendte afstanden til Andromeda og andre galakser. Men denne mere succesrige del af historien, hvor usikkerhed og tvivl endelig blev til sikker viden, er uden for rammerne af nærværende artikel. Den er indgående beskrevet i videnskabshistoriske artikler og bøger [9; 10].

### Litteratur

- [1] E. Hubble (1936) "The Realm of the Nebulae", Yale University Press.
- [2] G. Galilei (1989) "Sidereus Nuncius", red. A. Van Helden, University of Chicago Press.
- [3] H. Kragh (2005) "Dansk Naturvidenskabs Historie", bind 1, Aarhus Universitetsforlag.
- [4] I. Kant (2012) "Universal Natural History and the Theory of the Heavens", red. E. Watkins, Cambridge University Press.
- [5] O. Pedersen og H. Kragh (2000) "Fra Kaos til Kosmos", Gyldendal.

- [6] W. Huggins og M. Huggins (1909) "The Scientific Papers of Sir William Huggins", Wesley and Son.
- [7] R.F. Hirsh (1979) "The riddle of the gaseous nebulae", *Isis*, bind 70, side 197–212.
- [8] A.M. Clerke (1890) "The System of the Stars", Longmans, Green and Co.
- [9] R. Berendzen, R. Hart og D. Seeley (1984) "Man Discovers the Galaxies", Columbia University Press.
- [10] R. Smith (1982) "The Expanding Universe: Astronomy's Great Debate 1900–1931", Cambridge University Press.



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

## Nobelprisen i fysik 2023

Christine Pepke Gunnarsson, *Kvant*

**ATTOSEKUNDFYSIK.** Som læserne nok har hørt, gik Nobelprisen i fysik i år til Pierre Agostini fra Ohio Universitet i USA, Ferenc Krausz fra Max Planck Institutet i Tyskland og Anne L'Huillier fra Lunds Universitet i Sverige.



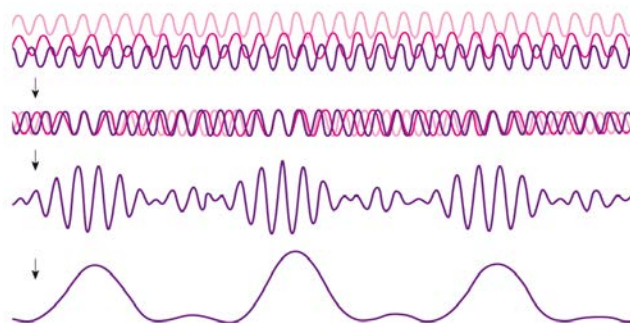
De fik sammen Nobelprisen for deres forskning i attosekundpulser, som er pulser, der er så korte, at man kan bruge dem til at se elektroners hurtige bevægelser. Atomers bevægelser foregår i løbet af femtosekunder, altså langsommere end elektronerne. Et attosekund er så lille en del af et sekund, at det svarer til antallet af sekunder, der har været i universet siden Big Bang! Til sammenligning slår et hjerte ca. 1 slag i sekundet. Nobelprismodtagernes forskning kan bruges til at generere attosekundpulser af lys til blandt andet at studere elektroners dynamik i stof.

Anne L'Huillier opdagede i 1987 dannelsen af attosekundpulser ved at studere vekselvirkningen af laserlys med atomer i en ædelgas. Pierre Agostini og Ferenc Krausz demonstrerede efterfølgende dannelsen af serier af lypulser, som var meget kortere end tidligere muligt. I lang tid var et femtosekund anset som den nedre grænse for varigheden af en lypuls, som man kunne producere i laboratoriet.

L'Huillier opdagede attosekundpulser, da hun sendte laserlys gennem en ædelgas og konstaterede, at der derved blev dannet lysbølger med højere frekvenser (højere-harmoniske bølger). De højfrekvente lysbølger dannes, når lyset fra laseren vekselvirker med atomerne i gassen og overfører ekstra energi til elektronerne, der er

tunneleret væk fra atomkernerne. Når elektronerne igen bliver bundet til atomkernerne, udsender de den ekstra energi som lysbølger ved højere frekvenser. L'Huillier viste, at når de højere harmoniske bølger er i fase, kan de overlappes og danne attosekundpulser.

Efterfølgende brugte Agostini og Krausz, L'Huilliers opdagelse til at danne attosekund-lyspulser. Agostini producerede en serie af lypulser og ved at sammensætte lypulserne med en forsinket del af den originale laserpuls, kunne de undersøge, hvordan de højere harmoniske bølger var i fase med hinanden. De kunne desuden bestemme pulslængden til 250 attosekunder.



**Figur 1.** Grafikken viser, hvordan ultraviolette højere harmoniske bølger er i fase (øverst), hvorefter de forstærkes eller udslukkes hinanden. Resultatet er attosekundpulser.

Samtidig lykkedes det Krausz at isolere en enkelt puls der varede 650 attosekunder fra lypulserien. Denne puls brugte de til at studere, hvordan elektroner bliver trukket væk fra deres atomkerner.

Nobelprismodtagernes bidrag har muliggjort at studere processer, der er så hurtige, at de tidligere var umulige at følge, og de har demonstreret, at de kan lave meget korte lypulser, der kan følge elektroner, når de bevæger sig eller ændrer energi. I dag er det muligt at producere lypulser ned til få attosekunder. Der er flere mulige anvendelser af forskningen. Indenfor elektronik er det vigtigt at forstå og kontrollere, hvordan elektroner opfører sig i et materiale. Desuden kan attosekundpulser bruges til at identificere forskellige molekyler, hvilket er vigtigt indenfor medicinsk diagnostik.

Kilde: nobelprize.org