

UNIVERSET HAR VOKSEVÆRK



Både universet og vores viden om det vokser hele tiden. Gennem astrofysiske observationer og teoretiske landvindinger har vi efterhånden fået en god forståelse af vores dynamiske univers og dets historie. Men der er stadig meget, vi ikke forstår.

Af Henrik Bendix,
videnskabsjournalist.
bendix@vidmere.dk



Om forskeren
Steen Hannestad er professor i teoretisk astrofysik ved Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet. Han forsker i Big Bang teorien, og specielt i sammenhængen mellem kosmologi og partikelfysik. steen@phys.au.dk

På et enkelt århundrede har et helt univers åbenbaret sig for os. I dag ved vi, at Mælkevejen blot er én galakse blandt utallige i et univers, der udvider sig stadig hurtigere. Vi kan med stor sikkerhed sige, at universet var uhyre varmt og tæt for cirka 13,8 milliarder år siden, og at det har udvidet sig og kølet af lige siden. Alt sammen noget, videnskaben ikke havde begreb om for bare 100 år siden.

Nu kan vi skrive universets historie ganske detaljeret. Fra at være en ufattelig varm suppe af elementarpartikler har universet udviklet sig til det, vi observerer i dag – komplet med myriader af stjerner, mange af dem omkredset af planeter, og endda med de strukturer af enorm kompleksitet, vi kalder liv.

På den største skala har universet også strukturer. Tyngdekraften binder galakser sammen i hobe, som igen tilhører superhobe, der trækker gigantiske tråde igennem universet. Som et kosmisk edderkoppespind i tre dimensioner, i bund og grund bygget af stoffets mindstedele og de naturkræfter, der virker imellem dem.

Netop samspillet mellem universets storstruktur og naturens mindste byggesten har sat kursen for professor Steen Hannestad fra Aarhus Universitet:

»Mit interesseområde har altid været det, man kalder astropartikelfysik. Det handler om at bruge observationer af astronomisk eller kosmologisk natur til at forstå elementarpartiklernes verden,«

fortæller han. »Jeg bruger de store skalaer til at forstå de små – og omvendt.«

Og der er nok at forske i, for selv om forståelsen af universet og dets udvikling har udviklet sig med stormskridt siden 1920'erne, hvor kosmologi som videnskab så sin begyndelse, er der stadig store huller i vores viden. Dengang som nu retter vi teleskoper mod himlen for at blive klogere, hjulpet på vej af teoretiske landvindinger.

Mælkevejen var hele universet

Før 1920'erne var astronomerne ret overbeviste om, at Mælkevejen var hele universet. Der var ingen observationer, der viste andet. De hældte også mest til et evigt og uforanderligt univers – det virker mest oplagt, at universet altid har

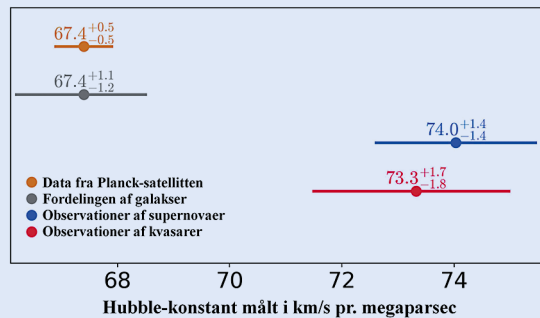
Hubble-konstanten driller

I et univers med vokseværk får galakserne hele tiden mere plads at boltre sig på. I takt med, at selve rummet imellem dem udvider sig, øges afstanden mellem galakserne. Men præcis hvor hurtigt, galakserne fjerner sig fra hinanden, er genstand for en videnskabelig diskussion. Forskellige målemetoder giver nemlig forskellige resultater.

Universets udvidelseshastighed kan måles med Hubble-konstanten, som har enheden km/s pr. megaparsec (Mpc). Har Hubble-konstanten en værdi på 70 (km/s)/Mpc, betyder det, at hvis der er en megaparsec (godt $3 \cdot 10^{19}$ km) mellem to galakser, vil de fjerne sig fra hinanden med en hastighed på 70 km/s på grund af universets udvidelse.

Når astronomerne måler afstanden til og hastigheden af supernovaer – ekstremt lysstærke eksploderende stjerner – får de en Hubble-konstant på cirka 74 (km/s)/Mpc. Tilsvarende målinger af andre fjerne himmellegemer giver nogenlunde samme resultat. Men når Hubble-konstanten findes ved at analysere den kosmiske baggrundsstråling eller de mønstre i fordelingen af galakser, der skyldes udbredelsen af lydbølger i det tidlige univers (baryoniske akustiske oscillationer), fås en noget lavere værdi på cirka 67,4 (km/s)/Mpc.

Målinger af den samme værdi bør ikke give forskellige resultater. Noget er galt, men hvad? Den mest sand-



synlige forklaring på afvigelsen, der i astronomikredse kaldes “The Hubble Tension”, er nok, at astronomerne måler forkert. Det er notorisk svært at bedømme kosmiske afstande, og der kan have indsneget sig fejl i afstandsmålingerne. En langt mere spændende forklaring er, at universet ikke opfører sig, som vi troede – at den kosmologiske standardmodel ikke er fyldestgørende. Måske er den mørke energi ikke konstant, og måske var der hidtil ukendte kræfter eller partikler på spil tidligt i universets historie.

Nye observationer vil forhåbentlig afgøre sagen. Data fra rumteleskopet Gaia vil give mere pålidelige afstandsmålinger, og specielt teleskoperne Euclid og Rubin Observatory vil gøre os meget klogere på det mørke univers. Så vil det vise sig, om der er brug for ny fysik for at forklare universets udvidelse.

været der, og at det altid har set ud, som det gør nu, præcis som Newton havde ment.

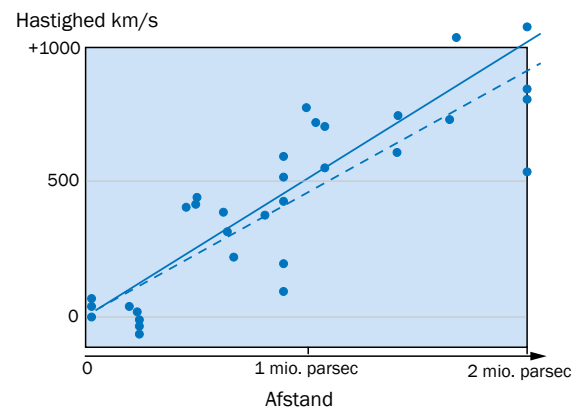
I 1917 brugte Albert Einstein sin generelle relativitetsteori på hele universet, men ligningerne passede dårligt med et statisk univers. Han måtte forsyne dem med en ekstra størrelse – den kosmologiske konstant – for at få teorien til at passe med et stabilt univers, der ikke kollapsede under sin egen masse.

Da den russiske fysiker og matematiker Alexander Friedmann regnede videre på Einsteins ligninger i 1922, fandt han kosmologiske løsninger, som pegede på et univers, der udvider sig. Og snart skulle den idé blive bakket op af astronomiske observationer.

Med nye, store teleskoper, der blev bygget i USA omkring århundredskiftet, lykkedes det ikke blot astronomerne at måle afstanden til “tåger”, som viste sig at være selvstændige galakser langt fra Mælkevejen, de kunne også bedømme galaksernes hastigheder mod os eller væk fra os.

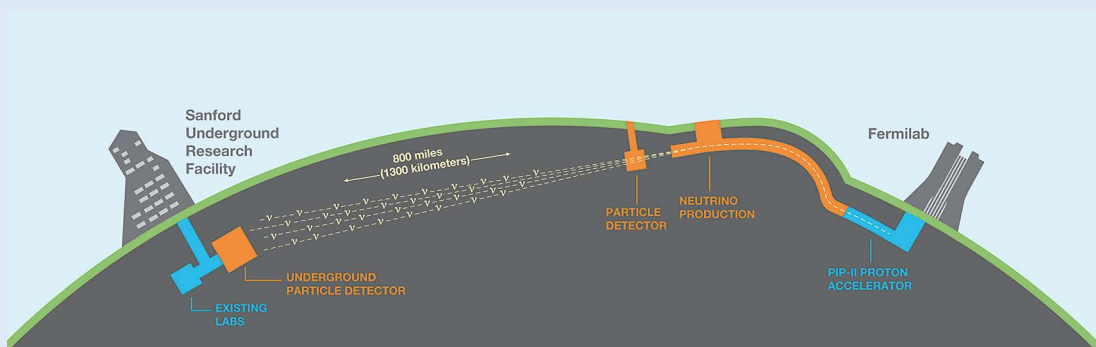
I 1929 kunne den amerikanske astronom Edwin Hubble dokumentere en sammenhæng mellem afstanden til galakserne og deres fart væk fra os – en sammenhæng, der bedst kendes som Hubbles lov. Det rette navn er nu Hubble-Lemaître lov, for den belgiske præst, fysiker og astronom George Lemaître var også på sporet af sammenhængen, endda et par år før Hubble.

Med sit kendskab til Einsteins



Den amerikanske astronom Edwin Hubble fandt i 1929, at alle galakser bevæger sig væk fra Jorden, og at der er en lineær sammenhæng mellem deres hastighed og afstand.

relativitetsteori indså Lemaître, at observationerne ikke skulle forstås sådan, at galakser fjerner sig fra andre galakser i et allerede eksisterende tomrum. I stedet viser de, at hele universet udvider sig. I 1931



Illustrationen viser, hvordan DUNE-eksperimentet skal producere neutrinoer ved Fermilabs acceleratore i nærheden af Chicago, hvorefter neutrinoerne rejser 1300 km gennem jorden til Sanford Underground Research Facility, som er placeret i den gamle Homestake guldmine i South Dakota. Illustration: Fermilab.

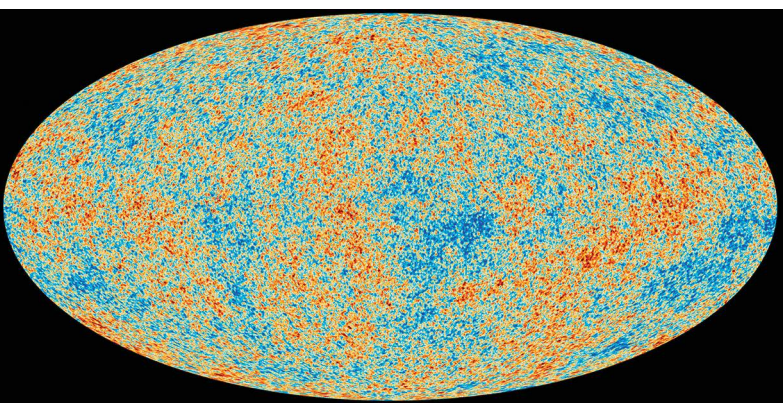
Hvorfor er der mere stof end antistof?

Universet rummer en mangfoldighed af stjerner og planeter, alt sammen bestående af stof, som vi kender det, bygget op af elementarpartikler som kvarker og elektroner. Og det er faktisk lidt af en gåde. Til enhver partikel hører nemlig en antipartikel med den samme masse, men modsat ladning. Ganske tidligt i universets historie må der være dannet lige meget stof og antistof, men nu lever vi i et univers, der er fyldt med stof og kun byder på uhyre lidt antistof fra visse former for radioaktive henfald.

Når en partikel møder en antipartikel, forsvinder begge dele, og resultatet er energi i form af stråling. Så egentlig burde alle partikler og antipartikler være forsvundet igen, når der nu var lige mange af dem fra starten. Overskuddet af stof frem for antistof kræver en forklaring, og den prøver teoretiske astropartikelfysikere som Steen Hannestad at finde frem til – godt hjulpet af resultater fra eksperimenter.

Fysikerne har en mistanke om, at stoffets sejr over antistoffet skal tilskrives henfaldet af nogle ekstremt tunge, neutrinolignende partikler i det meget tidlige univers. Disse henfald kan have resulteret i flere partikler end antipartikler. Teorien kan få opbakning fra eksperimenter, der er designet til at måle, om der er forskel på neutrinoer og antineutrinoer. Hvis det er tilfældet, er fysikerne på rette spor.

Neutrinoer er imidlertid svære at måle på, idet de kun vekselvirker svagt med andre partikler. Derfor skal der ekstremt store detektorer til. I Japan vil forskerne forsøge at fange neutrinoer og antineutrinoer i Hyper-Kamiokande, en 60 meter høj vandtank fyldt med 258.000 tons vand, mens amerikanerne er ved at bygge detektoren DUNE (Deep Underground Neutrino Experiment) med 70.000 tons flydende argon som mål for de spøgelsesagtige elementarpartikler. Først om 6-7 år vil eksperimenterne være klar til at levere data, så forskerne skal væbne sig med tålmodighed.



Illustrationen viser temperaturvariationer i den kosmiske baggrundsstråling målt af ESA's Planck-satellit. Disse små temperaturforskelle repræsenterer forskellige tætheder i Universets barndom, som er afgørende for at forstå den fordeling af stof, man finder i Universet i dag. Billedet er baseret på de sidste data fra missionen, publiceret i juli 2018. Illustration: ESA/Planck Collaboration

drog han den konklusion, at universet engang havde været ganske lille – et uratom eller et kosmisk æg, som han beskrev det. Lemaître blev overbevist om, at både tid og rum har en begyndelse.

Big bang-teorien får opbakning

Her var startskuddet for den teori, der senere blev kendt som big bang-teorien. Hvor Einstein i starten var tvivlende over for ideen om et univers med voksevækst, blev han hurtigt omvendt af observationerne og kaldte angiveligt indførslen af en kosmologisk konstant for sin største fejltagelse. Det tog dog årtier, før teorien om, at universet engang var uhyre varmt og tæt, blev alment accepteret, fortæller Steen Hannestad:

»Der var en lang mellemfase, hvor forskerne ikke rigtig vidste, hvor de skulle placere kosmologi. Det var ikke rigtig fysik og heller ikke rigtig astronomi – det var lidt esoterisk, og de var meget usikre på, om det i virkeligheden gav mening at anvende de gængse fysiske teorier på universet som helhed.«

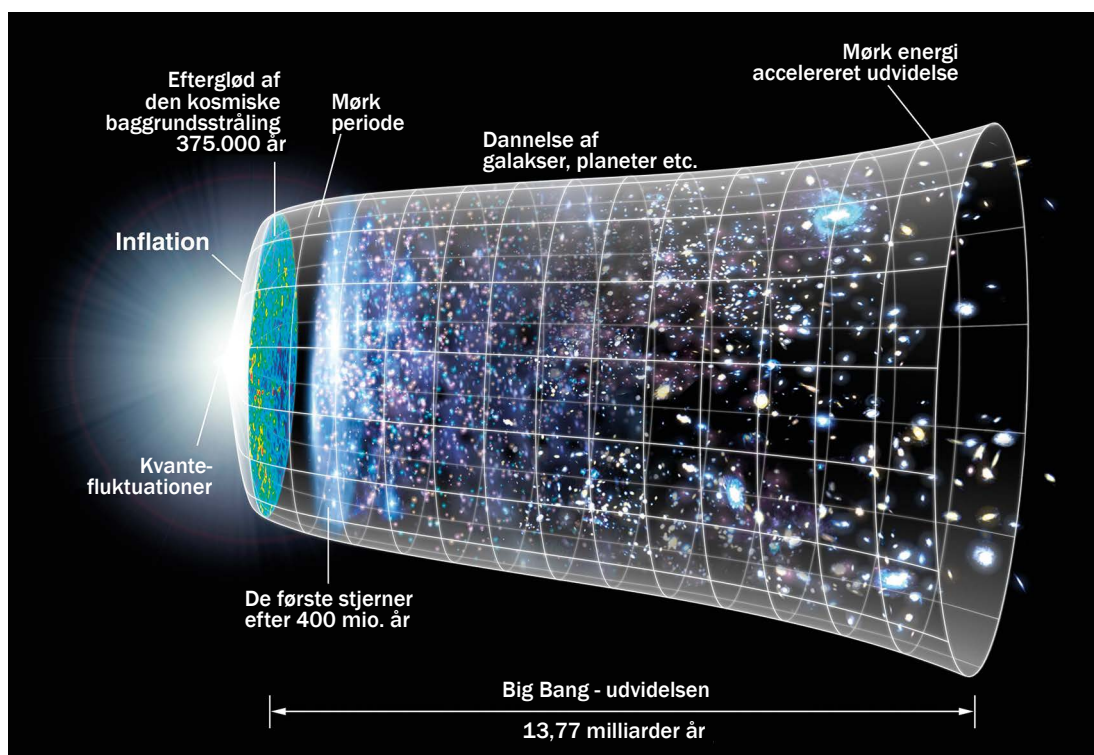


Illustration af Universets udvikling fra Big Bang yderst til venstre og til i dag. Diameteren på den tragtformede struktur angiver universets "størrelse" til forskellige tidspunkter. Illustration: NASA/WMAP Science Team.

»Udover Hubbles målinger var der ikke rigtig nogle observationer, der kunne understøtte kosmologiske teorier, og det var uklart, hvordan man skulle gribe problemet an. Men med den stadig bedre forståelse af kvantemekanik og kernefysik i 1940'erne kom også en gryende erkendelse af, at de lette grundstoffer formentlig var dannet i det tidlige, varme univers.«

Big bang-teorien kunne forklare fordelingen af grundstoffer i universet, men først i 1964 kom det bevis, der fik de sidste skeptikere med på big bang-vognen. Her blev den kosmiske baggrundsstråling – eftergløden fra det varme univers fra dengang, det kun var cirka 380.000 år gammelt – nemlig opdaget af fysikerne Arno Penzias og Robert Wilson.

Baggrundsstrålingen blev frigivet, da temperaturen i det voksende univers faldt til under 3000 kelvin. Så kunne brint- og heliumkerner pludselig danne neutrale atomer med elektroner, og universet gik fra at være et ugennemsigtigt plasma til at blive gennemsigtigt. Dengang

var strålingen fra det varme univers i det infrarøde område, men i takt med universets udvidelse er fotonernes bølgelængde blevet 1.100 gange længere, så de nu kan findes i mikrobølgeområdet af det elektromagnetiske spektrum. Man kan også forstå det på den måde, at universet er blevet stadig koldere i takt med, at det har udvidet sig. Fra at være ca. 3000 K efter 380.000 år, er det nu 2,725 K, altså knap tre grader over det absolutte nulpunkt.

Det meste stof er mørkt

Efter gennembruddet i 1960'erne har ingen seriøse fysikere været i tvivl om, at universet engang var meget varmt og tæt, og at det har udvidet sig lige siden. Men det er absolut ikke ensbetydende med, at vi nu har den fulde forståelse af universet og dets historie. Faktisk har vi ikke engang tjek på, hvilke former for stof universet rummer.

Vi ved nu, at langt størstedelen af stoffet i universet opfører sig anderledes end det, vi kender og kan se omkring os og ude i verdensrummet – det stof, som består af de kendte elementarpartikler, og som

vi efterhånden har ganske godt styr på. I mangel af bedre kalder vi det ukendte, usynlige stof for mørkt stof. Det kan ikke observeres direkte, men vi se, hvordan det påvirker det almindelige, synlige stof gennem tyngdekraften.

»Det er da overraskende, at der er meget mere stof i universet end det, vi kan se. Allerede tilbage i 1930'erne var der indikationer på mørkt stof, men i lang tid blev det blot betragtet som et observationelt kuriosum,« siger Steen Hannestad og fortsætter:

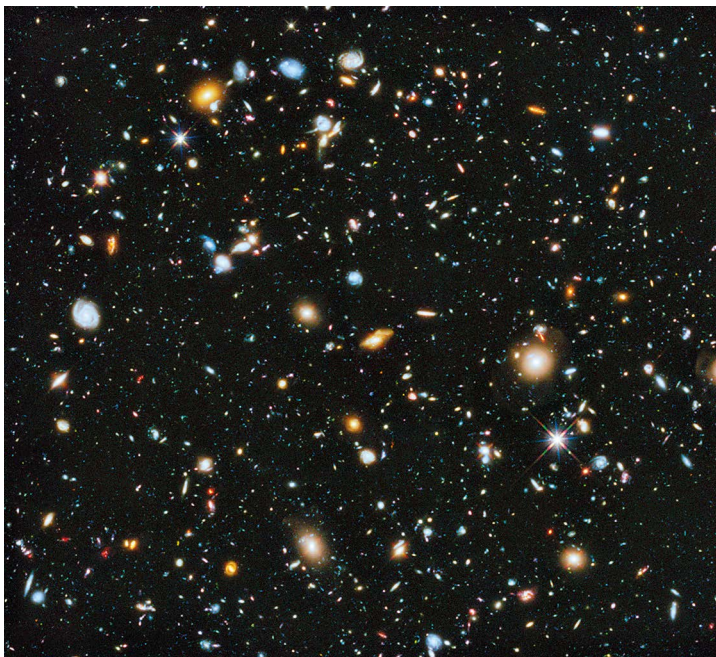
»Op gennem 1970'erne blev eksistensen af mørkt stof bekræftet gennem den amerikanske astronom Vera Rubins observationer af galakseres rotationskurver. Og i 1980'erne blev det klart, at mørkt stof faktisk er nødvendigt for at få dannet et univers som det, vi kan se i dag.«

Vera Rubin fandt ud af, at stjernerne i galaksernes yderste dele kredser meget hurtigere rundt, end de ville gøre, hvis galakserne kun rummer det stof, man kan få øje på.

Denne artikel bygger på foredraget Big Bang og det usynlige, som Steen Hannestad skulle have holdt i foredragsserien Offentlige foredrag i Naturvidenskab i foråret 2021, men som blev aflyst på grund af corona-restriktionerne. Foredraget vil blive afholdt på et senere tidspunkt. Hold øje med ofn.au.dk, når det igen er tilladt at holde foredragsarrangementer.

På Aktuel Naturvidenskabs hjemmeside vil der også komme undervisningsmateriale, der knytter an til emnet for foredraget og artiklen..

Artikel og undervisningsmateriale er lavet som led i projektet *Brobygning på første række*, finansieret af Novo Nordisk Fonden.



Et kig ud i det fjerne univers med Hubble Ultra-Deep Field. Billedet viser nogle af de fjerneste galakser, det er muligt at se med nutidens teknologi. Galakserne er så langt væk, at det svarer til, at vi ser næsten 14 milliarder år tilbage i tiden. Billedudsnittet har en størrelse svarende til, hvad 1/79 af en fuldmåne fylder.

Illustration: NASA, ESA, H. Teplitz and M. Rafelski (IPAC/Caltech), A. Koekemoer (STScI), R. Windhorst (Arizona State University), and Z. Levay (STScI)

Det kan forklares med, at galaksernes synlige stof befinder sig midt i store haloer af mørkt stof, som står for langt størstedelen af universets masse.

Siden er der kommet flere beviser for mørkt stof til, men det er endnu ikke lykkedes fysikerne at finde ud af, hvad det mørke stof egentlig består af. De ved bare, at det stort set kun påvirker synligt stof gennem sin masse. Det mørke stof kan være tunge elementarpartikler, der går under betegnelsen WIMPs (weakly interacting massive particles), men fysikerne udforsker også andre muligheder – både på det teoretiske plan og gennem eksperimenter, hvor mørkt stof forsøges indfanget.

Mørk energi er en joker

Kosmologien var ikke på plads med opdagelsen af mørkt stof. I 1990'erne blev det stadig mere klart, at universet har brug for endnu en komponent, hvis de astronomiske observationer skulle passe. Der manglede noget, der kan få

universet til at udvide sig stadig hurtigere – en form for energi, der er indbygget i selve tomrummet, og som får det til at puste sig op hurtigere, end det ellers ville gøre. Mørk energi.

»Uden mørk energi ville vi have meget mere struktur i universet i dag – flere galakser, større galakser og større galaksehobe. Desuden ville universet være yngre, måske omkring ni milliarder år, og det passede ikke med den estimerede alder af visse kuglehobe, for eksempel. Så der var meget, der skurrede,« fortæller Steen Hannestad.

I 1998 viste målinger af supernovae netop, at universet ikke bare udvider sig, men at udvidelsen accelererer. Med disse observationer, der i 2011 kastede en Nobelpris af sig, faldt brikkerne på plads, så vi i dag har en kosmologisk standardmodel med et univers, hvis udvikling først og fremmest har været dikteret af mørk energi og mørkt stof. Universet har hele tiden udvidet sig, men først blev udvidel-

sen bremset af mørkt stof, der med sin tyngde forsøgte at trække det sammen igen, og senere overtog den mørke energi og fik udvidelsen til at accelerere.

Selv om vi er blevet meget klogere på universet, er der stadig rigtig meget, vi ikke forstår. For eksempel ved vi ikke helt, hvor hurtigt universet udvider sig. Når man måler den såkaldte Hubble-konstant, der netop er et mål for universets udvidelseshastighed, får man forskellige resultater, alt efter hvordan målingen foretages. Så der skal flere observationer til, siger Steen Hannestad:

»Det mest interessante i denne sammenhæng er meget store surveys – astronomiske kortlægninger af universets strukturer over milliarder af lysår – der bliver foretaget i de kommende år. Det arbejder vi også rigtig meget med på Aarhus Universitet. Specifikt forventer vi os meget af det europæiske rumteleskop Euclid, der opsendes i sidste halvdel af 2022, og også af det jordbaserede modstykke Rubin Observatory, der er under opførelse i Chile.«

»Med data fra Euclid og Rubin Observatory får vi en meget bedre forståelse for, hvordan universet først decelererede, idet det var domineret af det mørke stof, og derefter accelererede i takt med, at den mørke energi overtager. Og den detaljerede udvidelseshistorik er rigtig vigtig, hvis vi vil forstå, om den mørke energi udvikler sig i tid.«

Flere nye superteleskoper er på vej, herunder rumteleskopet James Webb, der efter planen opsendes 31. oktober i år, og det enorme Extremely Large Telescope med et spejl på 39 meter, der vil stå færdig på en bjergtop i Chile i 2025. I takt med, at teleskoperne indsamler data, kan astrofysikere som Steen Hannestad udvikle nye teorier for universet, dets indhold og dets udvikling, så vi kommer tættere på at forstå, hvordan det hele hænger sammen. ■

Videre læsning:

Steen Hannestad: *Den kosmiske baggrundsstråling*. Aktuel Naturvidenskab nr. 6/2000

Michael Linden Vørnle: *Big bang set i nyt lys*. Aktuel Naturvidenskab nr. 2/2013.

Robert Feidenhans'l, Pavel Naselsky og Anne Mette Frejsel: *Universets skabelse set fra Indlandsisen*. Aktuel Naturvidenskab nr. 5/2015