



VORES FORSLUGNE GALAKSE

Rumteleskopet Gaia har kortlagt Mælkevejen og gjort astronomerne meget klogere på galaksens form og fortid. Nu ved vi, at Mælkevejen har opslugt adskillige mindre galakser i tidens løb, for Gaia har fundet stjerner, der ikke blev dannet på vores galaktiske hjemmebane.

Den 15. januar 2025 tog det europæiske rumteleskop Gaia de sidste billeder af stjernehimlen over os. Teleskopet havde til formål at kortlægge Mælkevejen, og man må sige, at missionen lykkedes.

Nu ved vi meget mere om den galakse, vi selv bor i. Astronomerne har fået et bedre kendskab til Mælkevejens form og struktur, og de kan spore, hvornår og hvordan galaksen har vokset sig større gennem kollisioner med andre galakser igennem milliarder af år.

»Gaia er en helt igennem fanta-

stisk mission, som vi har lært en masse af. Nu ved vi for eksempel, at Mælkevejens skive er bøjet, at spiralarmene ikke helt er, som vi regnede med,« fortæller Mia Sloth Lundkvist, der er adjunkt på Institut for Fysik og Astronomi på Aarhus Universitet.

»Vi har også fundet ud af, at Mælkevejen ikke bare er en galakse, der engang er blevet dannet og så har udviklet sig isoleret. Den er lidt af en kannibal, der vokser sig større ved at spise mindre galakser.« fortsætter hun.

I det daglige beskæftiger hun sig mest med asteroseismologi, hvor

astronomerne undersøger stjernernes struktur ved at måle deres svingninger. Metoden kan bruges til at aldersbestemme stjerner, og det er uhyre nyttigt, når Mælkevejens historie skal skrives.

Gaia blev sendt op fra den europæiske rumhavn i Fransk Guyana 19. december 2013. Tre uger senere nåede rumteleskopet frem til sin destination godt halvanden million kilometer fra Jorden i retning væk fra Solen.

Efter nogle måneders test af udstyret startede den videnskabelige mission for alvor 24. juli 2014, og i mere end ti år har teleskopet kred-

Rumteleskopet Gaia har fundet positionen for en procent af Mælkevejens stjerner, så nu har astronomerne en god idé om, hvordan vores spiralgalakse må se ud fra oven.

Illustration: ESA/Gaia/DPAC, Stefan Payne-Wardenaar/ CC BY-SA 3.0 IGO

Forfatteren
Henrik Bendix er
videnskabsjournalist.
bendix@vidmere.dk

Artiklen har udgangspunkt i foredraget På tur i Mælkevejen igennem rum og tid, som Mia Sloth Lundkvist holdt sammen med professor Hans Kjeldsen i serien Offentlige Foredrag i Naturvidenskab i april måned 25. Se mere på ofn.au.dk

set om Solen, mens det samtidig har roteret om sig selv og taget billeder af rummet.

Gaia har ikke bare filmet stjernerne på forskellige tidspunkter, men også fra lidt forskellige vinkler på sin vej rundt om Solen. På den måde kan afstanden til stjernerne nemlig beregnes, på samme måde som vi mennesker er i stand til at bedømme afstande, fordi vi ser genstande fra lidt forskellige vinkler med vores to øjne.

»Gaia har målt positioner på himlen helt ekstremt præcist. For stjerner, der er op til 4000 gange svagere end dem, man kan se med det blotte øje, måler Gaia så præcist som 24 mikrobuesekunder. Det svarer til at se bredden på et menneskehår på 1000 kilometers afstand,« siger Mia Sloth Lundkvist.

Et mikrobuesekund er en milliontedel af et buesekund, og der går 3600 buesekunder på en grad, så Gaia kan måle med en præcision på syv milliardtedele af en grad. Hvis teleskopet stod på Jorden og blev rettet mod Månen, kunne det registrere størrelsen af en astronauts tommelfingernegl.

Rumteleskopet nåede at foretage 3,2 billioner astronomiske målinger, og nu kender astronomerne den præcise position i tre dimensioner for halvanden milliard af Mælkevejens stjerner.

De informationer kan bruges til at skabe et 3D-kort over vores galakse. Den fjerde dimension kommer også i spil, fordi Gaia har affotograferet himlen igen og igen igennem 10 år, så astronomerne kan følge stjernernes bevægelser hen over himlen.

Målinger fra Gaia er indtil videre blevet brugt i 13.000 videnskabelige artikler, og der kommer mange flere. Teleskopet har produceret så enorme mængder data, at det tager adskillige år at bearbejde dem og gøre dem klar til brug for astronomerne. Det endelige katalog med

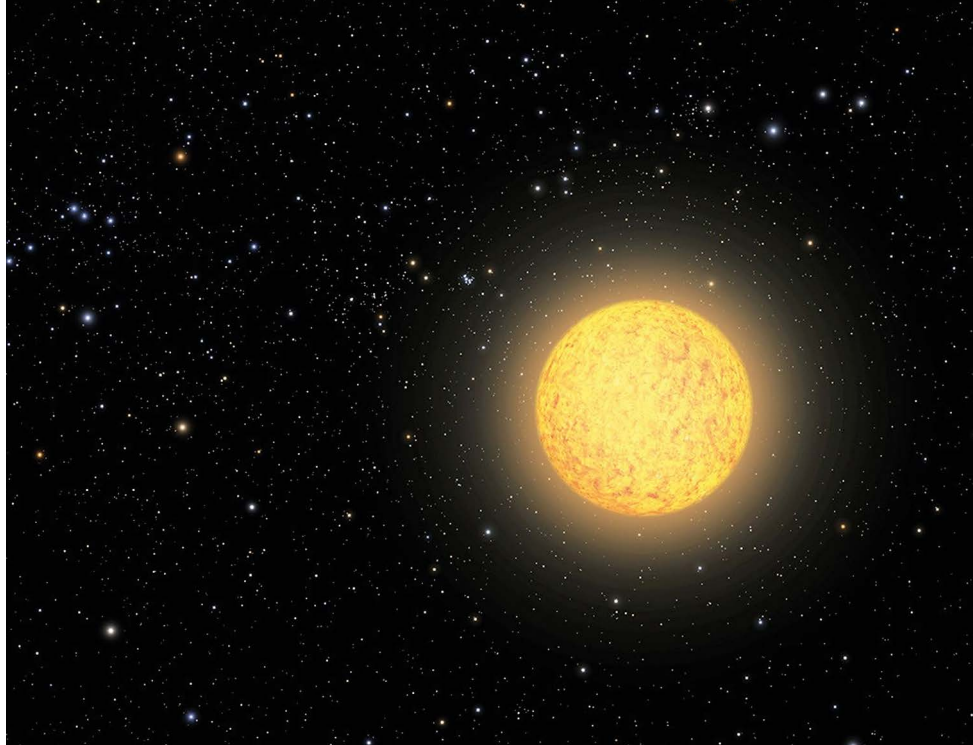


Illustration af Metusalem en af Mælkevejens ældste stjerner. Den er blot 200 lysår væk og lyser så klart, at den kan ses i en almindelig håndkikkert. Baggrundsfoto: DSS/STScI/AURA/Palomar/Caltech/UKSTU/AAO

Mia Sloth Lundkvist

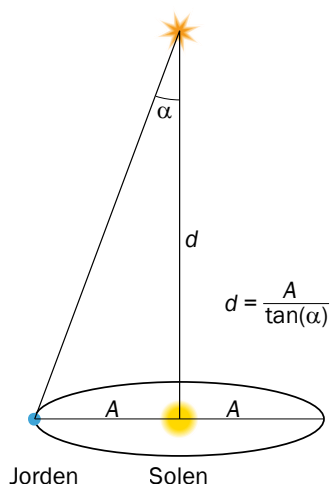
Mia Sloth Lundkvist er adjunkt i astrofysik ved Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet. Hun forsker og underviser i stjerner og exoplaneter. Især er hun interesseret i exoplaneter, som er lidt større, men meget varmere end vores egen Jord, da de bliver formet af processer, som vi ikke ser i vores eget Solsystem samt exoplaneter, som kredser om små stjerner. I sin forskning arbejder Mia med data fra både teleskoper på Jorden og rumteleskoper så som NASAs Kepler- og TESS-missioner. Hun er medlem af Instrumentcenter for Dansk Astrofysiks bestyrelse og er en af de to danske repræsentanter i Nordisk Optisk Teleskops Council. lundkvist@phys.au.dk



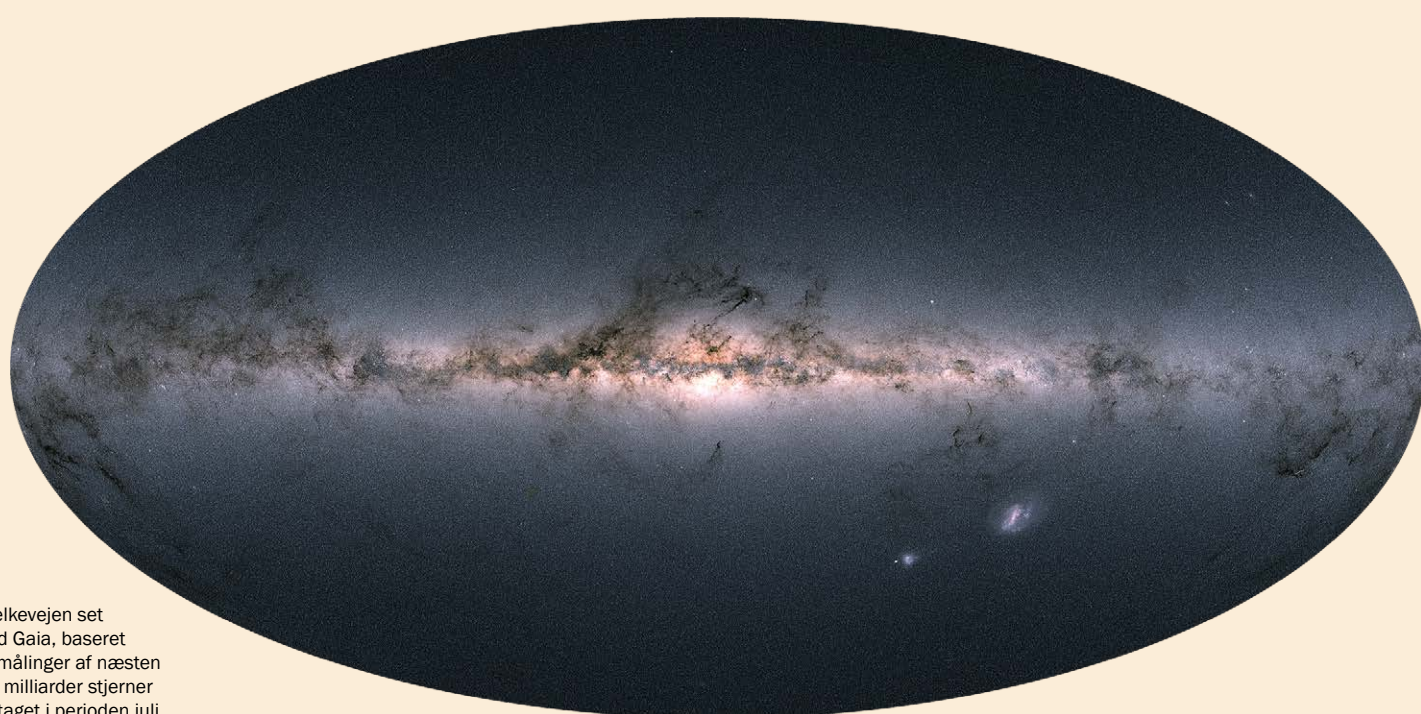
samtlige data bliver først frigivet i slutningen af 2030.

Metusalem er måske ældre end Mælkevejen

Når vi kigger ud på andre galakser, er det nemt at få øje på deres form og struktur. Det er straks sværere at kortlægge Mælkevejen, idet vi selv befinder os i den. Vi kan ikke bare sende en rumsonde ud og se det hele lidt fra oven. Men helt umuligt er det ikke, og siden 1950'erne har astronomerne observeret galaksen i mange forskellige bølgelængder, så vi efterhånden har en ret god idé om vores galaktiske hjem.



Ved at måle vinklen α til stjernen med et $\frac{1}{2}$ års mellemrum kan man bestemme afstanden d til stjernen. A er afstanden til Solen fra Jorden.



Mælkevejen set med Gaia, baseret på målinger af næsten 1,7 milliarder stjerner (optaget i perioden juli 2014 til maj 2016). Nederst i højre side ses de to Magellanske skyer.

Foto: ESA/Gaia/DPAC/
CC BY-SA 3.0 IGO

Stjerner sparkes ud af galaksen

Nogle få af de mange stjerner, som Gaia har målt på, skiller sig ud ved at have fuld fart på. De såkaldte hyperhastighedsstjerner farer afsted med hastigheder på mange hundrede kilometer i sekundet.

En del af dem har større hastigheder end de 500 km/s, der er undvigelseshastigheden for Mælkevejen. Det betyder, at de er på vej til at forlade galaksen for evigt.

Rekorden indehaves af den hvide dværg J027, som Gaia har målt til at have en hastighed på 2285 km/s eller godt otte millioner km/t. Den har sandsynligvis kredset rundt om en anden hvid dværg, der er eksploderet som en supernova og har givet sin makker et solidt spark. Mange andre hyperhastighedsstjerner menes at være blevet slynget ud fra galaksens centrum af

det supertunge sorte hul, der lurer derinde. Som del af dobbeltstjernesystemer er de kommet lidt for tæt på det sorte hul, der har en masse på 4,2 millioner solmasser.

Netop fordi Gaia-målingerne tillader astronomerne at skruer tiden tilbage, kan de se, hvor hurtige stjerner kommer fra. Nogle ser ud til at stamme fra andre galakser. I starten af 2025 blev der fundet ni, der lader til at komme fra dværggalaksen Den Store Magellanske Sky 163.000 lysår herfra.

Det må betyde, at Den Store Magellanske Sky også rummer et stort, sort hul, som ud fra de hurtige stjerners hastigheder kan beregnes til at have en masse svarende til 600.000 sole. Om cirka 2,4 milliarder år vil Mælkevejen i øvrigt opsluge dværggalaksen og dens sorte hul.

Indtil videre har data fra Gaia bekræftet, at vi bor i en mellemstor bjælke-spiralgalakse, altså en skiveformet galakse med spiralarme, der udgår fra en central "bjælke" af stjerner.

En langvarig debat om, hvorvidt Mælkevejen har to eller fire spiralarme, kan så småt lægges i graven, for Gaia giver et mere kompliceret og nuanceret billede af en galakse, hvor der kan tælles flere end fire tydelige arme. Der er også små arme, der stikker ud fra de store.

Vi bor i øvrigt i en af Mælkevejens fredelige forstæder, cirka 27.000 lysår fra centrum i en spiralarm kaldet Orion.

Mælkevejen rummer ikke bare de stjerner, som Gaia kan fange lyset fra, men også gas – primært hydrogen – som nye stjerner kan dannes af. Desuden er der en smule støv, der stammer fra udbrændte stjerner. Der er også mørkt stof, der ikke kan ses, men som står for størstedelen af Mælkevejens masse.

Vores galakse er ældgammel. Astronomerne mener, at den opstod få hundrede millioner år efter big bang for 13,8 milliarder år siden. De ældste stjerner i Mælkevejen er nemlig så gamle. Men helt så enkelt er det alligevel ikke, for det er svært at datere stjernerne, og nogle af dem har ikke været en del

af Mælkevejen fra starten, men er blevet adopteret senere.

Det kan Mia Sloth Lundkvist tale med om, for hun arbejder på en videnskabelig artikel om alderen på den gamle stjerne HD 140283, der har fået kælenavnet Metusalem.

Den befinder sig cirka 200 lysår fra Solsystemet i den del af Mælkevejen, der kaldes haloen – den sfære, der omgiver galaksens skive og centrale udbulning, og hvor der udover mørkt stof blot er lidt gas samt et beskedent antal stjerner og stjernehober.

Tilbage i 2013 vakte Metusalem en

del opsigt, fordi den dengang blev bedømt til at være 14,46 milliarder år gammel, altså en del ældre end universet – dog med stor usikkerhed. Astrofysikere som Mia Sloth Lundkvist forsøger at aldersbestemme stjernen med større præcision.

Grundstoffer og svingninger røber stjerners alder

Metusalem kom på astronomernes radar, fordi den har et meget lavt indhold af tunge grundstoffer. Det er et klart tegn på, at den er dannet tidligt i universets historie.

Ved big bang blev der kun dannet hydrogen, helium og en lille smule lithium, så alle tungere grundstoffer er kommet til siden. De er dannet af stjernerne og spredt ud i universet, når udbrændte stjerner eksploderer som supernovaer eller ved at neutronstjerner kolliderer.

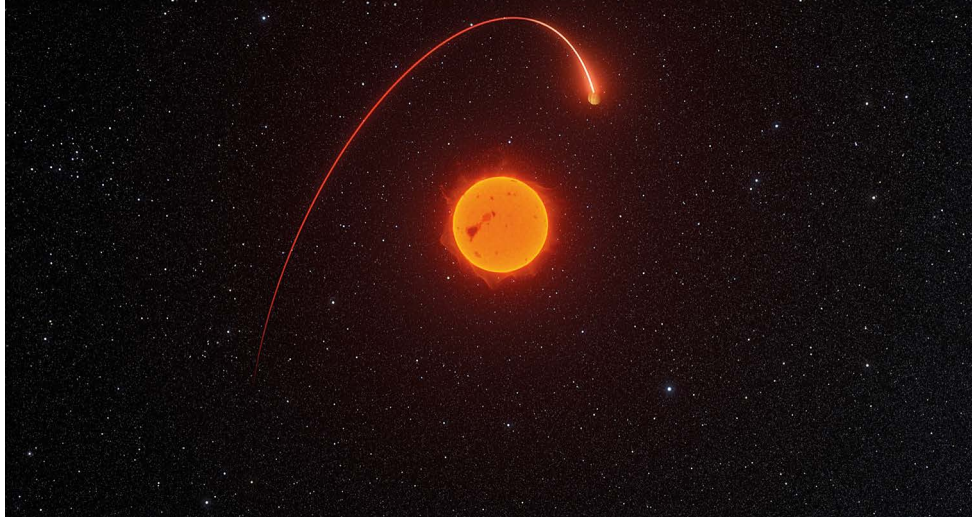
Stjernernes liv og død betyder, at universet stille og roligt bliver beriget med grundstoffer, der er tungere end helium – alle de grundstoffer, som astronomerne har fællesbetegnelsen metaller for.

Ved hjælp af spektroskopi, hvor stjernelyset deles op i de enkelte bølgelængder, kan mængden af forskellige grundstoffer måles. Hvert grundstof har nemlig sin egen unikke signatur i spektret, en slags kemisk fingeraftryk.

Hvis man finder en stjerne med meget lavt metalindhold, for eksempel ved at måle en meget lav mængde jern i forhold til hydrogen, så ved man, at den blev dannet tidligt i universets historie. Det er tilfældet for Metusalem, men den skiller sig også ud på en anden måde, fortæller Mia Sloth Lundkvist:

»Nogen har brugt Metusalems alder til at sige, at så må Mælkevejen også være så gammel. Men den har en usædvanlig grundstofsammensætning, der kunne tyde på, at den ikke er dannet i Mælkevejen.«

Når astronomerne nærstuderer spektret fra Metusalem, ligner den



Gaia har fundet sin første exoplanet

I dag ved vi, at de fleste af Mælkevejens stjerner omkredses af en eller flere exoplaneter. Det kan vi først og fremmest takke det amerikanske rumteleskop Kepler for, men det er også muligt at opdage exoplaneter ved hjælp af Gaia. De præcise målinger fra Gaia kan nemlig bruges til at finde stjerner, der rokker frem og tilbage på himlen, fordi de påvirkes af tyngdekraften fra en exoplanet – specielt hvis der er tale om store exoplaneter, der ikke kredser alt for hurtigt om forholdsvis små stjerner.

Indtil videre er der kun fundet en enkelt exoplanet på denne måde, nemlig Gaia-4b, der har 12 gange så stor masse som Jupiter og er 570 døgn om at komme en gang rundt om sin stjerne. Efterhånden som der frigives flere data fra rumteleskopet, vil astronomerne opdage mange flere.

Kunstnerisk illustration af Gaia-4b, der kredser om sin stjerne.
Illustration: ESA/Gaia/DPAC/M. Marcussen/
CC BY-SA 3.0 IGO

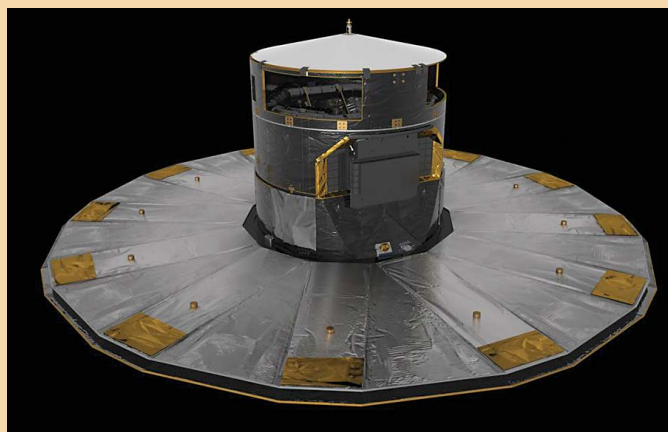


Illustration: ESA

Sådan kortlagde Gaia galaksen

I løbet af 3827 døgn roterede det europæiske rumteleskop Gaia 15.300 gange om sig selv, mens det kredsede om Solen og tog billeder af himmelrummet. I de godt 10 år er samme område af himlen blevet fotograferet 14 gange om året, så det er muligt at følge stjernernes bevægelser.

Gaia har egentlig to teleskoper, der opfanger lys fra hver sin retning, adskilt af en vinkel på 106,5 grader. Så kan astronomerne ikke bare se, hvordan en stjerne ændrer position i forhold til omkringliggende stjerner, men også i forhold til stjerner i et helt andet udsnit af himlen. Det øger præcisionen. Lyset ender i 106 CCD-chips, der tilsammen har 937.782.000 pixels. Sensorerne kan opfange lys, der er 400.000 svagere, end hvad det menneskelige øje kan opfatte.

Teleskopet har målt lysstyrke og position på himlen for 1,8 milliarder objekter, hvoraf langt de fleste er stjerner. Næsten halvanden milliard af dem har også fået målt parallakse (afstand) og bevægelse hen over himlen.



Hvis vi kunne se Mælkevejen fra siden, ville vi se en skive med en bule i midten. Skiven er bøjet i enderne, måske på grund af påvirkningen fra en dværggalakse.

Illustration: ESA/Gaia/DPAC, Stefan Payne-Wardenaar/CC BY-SA 3.0 IGO

ikke Mælkevejens stjerner. For eksempel har den et andet indhold af magnesium i forhold til mangan og af aluminium i forhold til jern. Det kan skyldes, at den er dannet i et andet miljø, forklarer Mia Sloth Lundkvist:

»Stjerner i andre galakser har andre kemiske sammensætninger, fordi de har en anden historie. Fordelingen af stjernernes masser vil være lidt forskellig, hvilket betyder, at berigelsen fra supernovaer også bliver forskellig fra galakse til galakse.«

Sammen med andre forskere forsøger hun at bruge asteroseismologi til at aldersbestemme Metusalem, men netop den usædvanlige grundstofsammensætning har besværliggjort arbejdet, siger hun:

»Vi har målt Metusalems svingninger ved hjælp af rumteleskopet TESS. Den har et meget fint spek-

trum med tydelige stjernessvingninger. Men vores model for stjernen kan ikke tage højde for den særlige grundstofsammensætning, så vi skal have fundet en anden model, der passer bedre til virkeligheden, så kan vi komme med et bud på stjernens alder og masse.«

Galaksens historie skrives af Gaia

Ældgamle Metusalem er langt fra den eneste stjerne, der lader til at stamme fra en anden galakse. Mange andre stjerner afviger i grundstofsammensætning, og en del bevæger sig også rundt i Mælkevejen på bemærkelsesværdige måder. Dem kan data fra Gaia afsløre, og de viser sig at være efterladenskaber fra sammenstød med andre galakser.

For eksempel har astronomerne fundet tusindvis af usædvanlige stjerner, der bevæger sig rundt om Mælkevejens centrum i aflange baner i den modsatte retning af de øvrige stjerner. Disse strømme af stjerner stammer fra en mindre galakse, Gaia-Enceladus, der engang for 9-10 milliarder år siden blev opslugt af Mælkevejen. En række stjernehober i haloen menes også at komme fra Gaia-Enceladus.

Forskere på Aarhus Universitet har brugt asteroseismologi til at datere nogle af stjernerne fra Gaia-Enceladus og på den måde afgøre, hvornår kollisionen senest har fundet sted. Metoden, der er beskrevet i *Aktuel Naturvidenskab* nr. 3-2023, kan også bruges til at datere stjerner, der er dannet i forbindelse med galaksesammenstød. Når galakser smelter sammen, mødes store gasskyer, og så kan nye stjerner opstå.

Det er endda muligt, at Solen er dannet som konsekvens af en kollision, der stadig er i gang. Mælkevejen er nemlig stille og roligt ved at opsluge dværggalaksen Sagittarius, der kredser rundt om Mælkevejens centrum og tre gange har banet sig vej gennem vores galakses skive af stjerner.

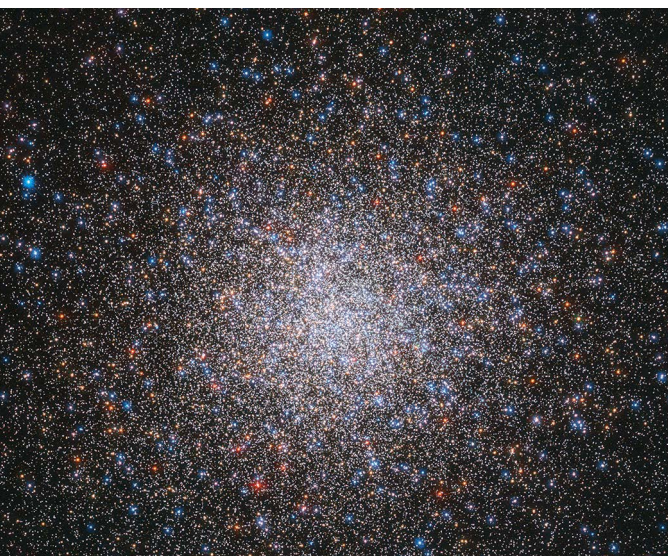
Denne pardans har stået på i seks milliarder år. Måske var det krusninger fra det første sammenstød, der fik den store gassky, som Solen og mange andre stjerner blev dannet af, til at kollapse.

Det kan også være Sagittarius, der er årsagen til, at Mælkevejens skive ikke er helt lige. Set fra siden bøjer den lidt opad i den ene side og nedad i den anden, som et langstrakt s.

Under indflydelse af tidevandskræfter fra Mælkevejen bliver Sagittarius strakt ud og efterlader sig strømme af stjerner, som Gaia kan identificere. I tidens løb har flere andre dværggalakser med navne som Kraken og Sequoia lidt samme skæbne, mens Mælkevejen har vokset sig større.

Med data fra Gaia og andre teleskoper vil astronomerne blive ved med at tilføje nye kapitler til Mælkevejens historie. De forsøger også at se frem i tiden, for vores galakse er slet ikke færdig med at vokse sig større.

Om et par milliarder år kommer turen til dværggalaksen Den Store Magellanske Sky, og nogle milliarder år senere vil Mælkevejen smelte sammen med vores store nabo Andromeda. Det bliver et smukt syn for de astronomer, der eksisterer til den tid. ■



Mange af de kuglehober, der omgiver Mælkevejens skive, er tilflyttere fra andre galakser. Det gælder for eksempel M2, der stammer fra galaksen Gaia-Enceladus. Foto: ESA/Hubble & NASA, G. Piotto et al.