

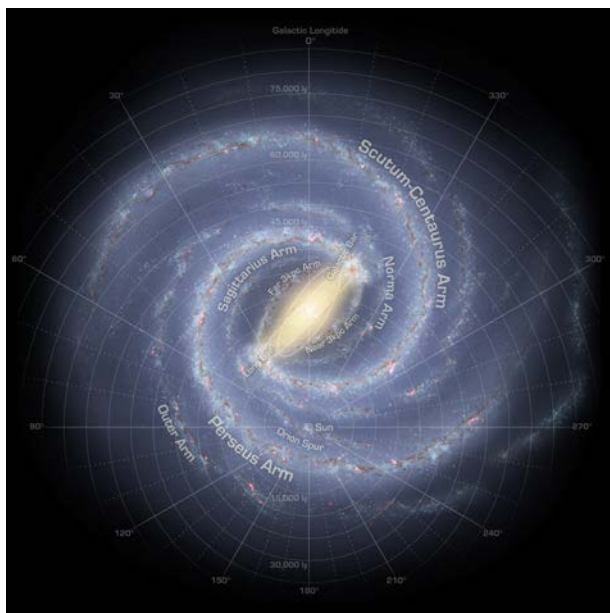
Mælkevejens galaktiske bjælke kan slå hul i stjernestrømme

Af Sarah Pearson, Columbia University, New York

Halvdelen af alle spiralgalakser, som vores egen Mælkevej, rummer en såkaldt galaktisk bjælke, som er en samling af milliarder af stjerner, der sammen bevæger sig rundt i galaksernes relativt tynde stjerneskiver. Forunderligt nok ved vi ikke særligt meget om galaksebjælken i Mælkevejen, da vi selv befinder os i selve skiven af galaksen og skal se gennem lag af støv, gas og stjerner for at studere den. I denne artikel beskrives en ny måde hvorpå vi kan studere den galaktiske bjælke i vores egen galakse og samtidigt komme tættere på at forstå mørkt stof i Mælkevejen.

Galakser

Galakser er enorme samlinger af stjerner og gas forbundet i en spindelvævsagtig struktur af mørkt stof, der strækker sig over hele vores Univers. Ifølge vores nuværende forståelse, har galakser opbygget deres masse ved at kolliderer med og opsluge mindre galakser i løbet af Universets levetid. Heldigvis efterlader disse kollisioner stjernestrukturer og stjernestrømme (stellar streams), der overlever i flere milliarder år. Ud fra vores forståelse af tyngdekraften tillader fordelingen og bevægelsen af disse stjernestrukturer, at astrofysikere kan arbejde baglæns i tiden og studere, hvor stjernerne engang var placeret, hvordan galakser har opbygget deres masse og undersøge, hvad der har påvirket stjernerne undervejs [1].



Figur 1. Illustration af hvordan vi tror Mælkevejen ser ud fra oven. Spiralarmene ses i stjerneskiven, og den galaktiske bjælke er illustreret som den gule klump i centrum af vores galakse. Stjerneskiven er ca. 100.000 lysår fra den ene ende til den anden [NASA].

Vores egen galakse Mælkevejen (se figur 1) lader til at være en typisk spiralgalakse i Universet, og den indeholder nogle hundrede milliarder stjerner, der bevæger sig rundt i en relativt tynd skive med en højere koncentration af stjerner samlet i spiralarme. Denne skive af stjerner er ca. 100.000 lysår i diameter, altså tager

det et lyssignal ca. 100.000 år at nå fra den ene ende af stjerneskiven til den anden. Stjerneskiven er omsvøbt af en kugleformet halo af mørkt stof, hvoraf noget af dette mørke stof er låst fast i kugleformede klumper af forskellige størrelser. Astrofysikere ved endnu ikke hvad mørkt stof er, men vi kan indirekte måle dets indflydelse via tyngdekraften, når vi studerer hvor hurtigt gas bevæger sig rundt i galakser, hvor hurtigt galakser bevæger sig rundt i galaksegrupper og hvor hurtigt galaksegrupper bevæger sig rundt i galaksehobe. Udover mørkt stof og stjerner består galakser også blandt andet af gas, støv, planeter, sorte huller og neutronstjerner.

Galaktiske bjælker

I modsætning til hvad man måske kunne tro, er der nogle astrofysiske fænomener, der er lettere at studere i andre galakser end i vores egen, selvom de andre galakser typisk er flere millioner eller milliarder lysår væk. Et eksempel på sådan et fænomen er de såkaldte galaktiske bjælker (se centrum i figur 1). Galaktiske bjælker adskiller sig fra resten af galaksen idet stjernerne i de galaktiske bjælker bevæger sig i andre baner end stjernerne i spiralarmene. Stjernerne i de galaktiske bjælker bevæger sig også med en anden hastighed end stjernerne i spiralarmene [2]. Med teleskoper kan vi observere galaktiske bjælker i andre galakser og ved at undersøge stjernetætheden kan vi relativt let adskille de galaktiske bjælker fra resten af stjernerne i de eksterne galakser. Vi kan også undersøge, hvor hurtigt stjernerne eller gassen i andre galakser bevæger sig. Dog er det endnu ikke kendt, hvordan disse bjælker af stjerner præcis blev dannet, eller hvordan de udvikler sig.

Astrofysikere har ved at tælle stjerner og måle lystætheden i forskellige retninger i vores egen galakse konkluderet, at Mælkevejen også har en såkaldt galaktisk bjælke. På grund af vores placering i planet af vores egen galakse, hvor bjælken også befinder sig, har vi svært ved at adskille stjernerne i bjælken fra de omkringliggende stjerner, og vi ved derfor ikke præcist hvor lang bjælken er, hvor meget den vejer eller hvor hurtigt den bevæger sig. Det er ikke muligt at tage et billede af vores egen galakse oppe fra, fordi vi ville skulle rejse flere tusind lysår for at gøre dette. Den rumsonde der indtil videre er kommet længst væk fra Jorden nogensinde er Voyager 1, og den er ikke en gang

kommet 1% af et lysår væk endnu!



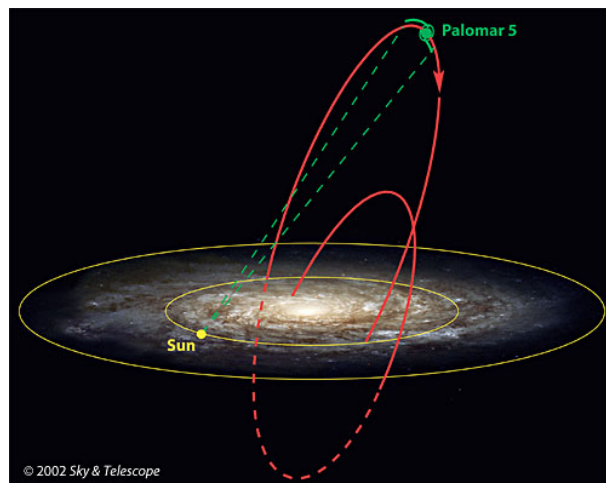
Figur 2. Illustration af en strøm af stjerner der omslutter en hel spiralgalakse. Disse stjerner undslipper de kuglehobe, som de befinder sig i, fordi tidevandskræfter fra galaksens samlede massefordeling “hiver” i stjernerne. Disse strømme af stjerner er som regel lige lange i både deres ledende (fremadrettede) og bagudrettede strømme (se længdesymmetrien i længden af strømmene som set fra den orange kuglehob) [Jon Lomberg].

I vores egen galakse kan vi dog få en ide om hvordan massen er fordelt i hele galaksen ved at studere, hvordan stjerner bliver hevet ud af kuglehobe (klumper af stjerner) mens de bevæger sig rundt om Mælkevejen [1]. Når disse stjerner bevæger sig rundt i baner om vores galakse, vil nogle af stjernerne slippe ud af kuglehobene på grund af tidevandskræfter fra hele Mælkevejens massefordeling (se et eksempel i figur 2). Som når Månens tidevandskræfter påvirker havene på Jorden vil det punkt der er tættest på Månen føle en lidt større tyngdekraft end det punkt på Jorden der er længst fra Månen, og der er derfor højvande på begge sider samtidigt. Forestil dig så at denne kraft var så stor at oceanerne kunne blive hevet af Jorden. Dette ville ske fra begge sider. Dette er analogt til, hvad der sker for stjerner i kuglehobene. Nogle stjerner føler en kraftpåvirkning fra Mælkevejen, der er større end kraften fra deres egen hob af stjerner. De kan dermed undslippe deres hob. Dette vil skabe to lange symmetriske strømme af stjerner der danner en ledende og en bagudrettet strøm af stjerner (se figur 2). Stjernerne i strømmene har en lidt anden energi end stjernerne i selve kuglehoben. De stjerner der er i den ledende arm har en lavere energi, og de stjerner der er i den bagudrettede arm har en lidt højere energi, og disse stjerner vil komme længere foran og bagved selve hoben som tiden går.

Palomar 5-stjernestrømmen

Palomar 5 er et eksempel på sådan en kuglehob, der har både en ledende og bagudrettet strøm af stjerner omkring sig (se figur 3 og [3]). Lige nu befinder den sig ca. 52.000 lysår over Mælkevejens stjerneskiye, men klumpen af stjerner har bevæget sig i baner rundt om vores galakse i mange milliarder år og har tidligere flere gange pløjet igennem stjerneskiye. Indtil for nylig havde man ikke kigget med teleskoper i den retning hvor den ledende strøm fortsatte, men alle beregninger forudsagde, at den ledende og bagudrettede strøm af

stjerner skulle være symmetriske og lige lange [4]. I en ny artikel fandt forskere til stor forundring ud af, at den ledende strøm af stjerner var meget kortere end den bagudrettede strøm [5], og dette kunne ikke forklares. Undertegnede har været med til at foreslå en ny forklaring [6], der går ud på, at den asymmetriske længde af strømmene kan forklares ved en tidligere interaktion med den galaktiske bjælke.



Figur 3. Illustration af Palomar 5's kredsløb (rød) omkring vores egen galakse. Palomar 5 befinder sig lige nu ca. 52.000 lysår over galakseskiven, men den har tidligere bevæget sig igennem skiven og derfor været i tæt kontakt med den galaktiske bjælke (se figur 1).

Palomar 5-stjernestrømmen er sammenlagt cirka lige så lang som afstanden fra Solen til centrum af vores galakse. I takt med at Palomar 5-stjernestrømmen bevæger sig rundt om Mælkevejen, vil stjernerne i den ledende arm bevæge sig gennem Mælkevejens skive af stjerner (hvor bjælken befinder sig), før stjernerne i den bagudrettede strøm passerer skiven. Fordi bjælken bevæger sig rundt med en bestemt hastighed vil nogle af stjernerne føle et gravitationelt “slag” fra bjælken, når enden af bjælken svinger forbi stjernerne, men alle stjernerne i strømmen vil ikke nå at blive slået af bjælakens ende i en passage gennem stjerneskiye.

Selvom Palomar 5 stjernerne ikke direkte kolliderer med bjælken, så viste vi [6], at tyngdefeltet fra bjælken, der svinger forbi, har en påvirkning på stjernerne i strømmen. Når bjælken svinger forbi giver det de stjerner, der er foran bjælken, en smule mindre energi, da de bliver “hevet tilbage” af bjælken. Derimod vil de stjerner, der er bagved bjælken, når de bevæger sig gennem stjerneskiye, få lidt ekstra energi, fordi de bliver hevet frem af bjælken. Dette vil ændre på disse stjerners baner, og dette vil kun påvirke lige præcis de stjerner, der var i nærheden af det område, hvor bjælken svingede forbi, idet stjernerstrømmen passerede galakseskiven.

Der blev yderligere vist at dette er sket i Palomar 5's ledende strøm af stjerner for under en milliard år siden, hvilket kan forklare, hvorfor den ledende stjernerstrøm nu ser ud til at være kortere [5]. Der er simpelthen blevet slået et “hul” i stjernerstrømmen, som vil blive ved med at vokse på grund af det skift i energi, stjernerne mærker, når den galaktiske bjælke svinger forbi dem. Den præcise størrelse af dette hul

vil afhænge af, hvornår hullet dannedes, hvor meget bjælken vejer, hvor hurtigt bjælken bevæger sig, og hvor hurtigt Palomar 5-strømmen bevæger sig. Vi kan altså indirekte studere den galaktiske bjælke i vores egen galakse ved at studere, hvordan bjælken påvirker Palomar 5-stjernestrømmens udsende. Ud fra beregningerne i [6] lader det til, at Mælkevejen har en enormt hurtigt roterende bjælke (den lader til at bevæge sig en gang rundt om sig selv på kun 100 millioner år, hvorimod Solen bruger ca. 220 millioner år på at nå en gang rundt i galaksen). Dette er interessant, da andre forskere har forudsagt at bjælken vil sænke farten under sin levetid – måske har vi altså en relativt nyligt formet bjælke i vores galakse?



Figur 4. Udsnit af en computersimulering af hvordan mørkt stof fordeler sig rundt om en galakse, der vejer det samme som vores egen galakse. Man tror man kan finde disse klumper af mørkt stof, da de i princippet kan slå hul i stjernestrømme [10].

Opdagelsen af at bjælken kan slå huller i stjernestrømme, der vokser over tid, har vigtige konsekvenser for kosmologien. Fra vores nuværende forståelse af vores Univers, skal en galakse, som den vi bor i, være fyldt med klumper af mørkt stof med forskellige størrelser [7] (se figur 4). Disse klumper af mørkt stof er ekstremt vanskelige at finde, da de udelukkende består af det endnu udetekterede mørke stof. En foreslået metode til at detektere de mørke stofklumper er, at søge efter dem indirekte gennem deres interaktion med netop stjernestrømme. Man mener nemlig at klumperne af mørkt stof også vil skabe huller i stjernestrømme, hvis de passerer gennem eller tæt ved stjernestrømmene [8,9]. I denne artikel har vi nu hørt, at bjælken også kan lave disse huller. Man skal altså være forsigtig, før man drager konklusioner om mørkt stof ud fra huller i stjernestrømme. Hvis man finder et hul i en af disse stjernestrømme kan man derfor ikke længere gå ud fra, at dette var på grund af at en klump af mørkt stof bevægede sig igennem den.

Man kan altså bruge stjernestrømme til at finde ud af, hvordan den galaktiske bjælke i Mælkevejen

bevæger sig, hvor meget den vejer og måske hvordan den er dannet. Derudover er opdagelsen af, at bjælken kan slå huller i stjernestrømme vigtig at holde i mente, når vi vil teste teorier for mørkt stof. Det vil være svært at se forskel på huller dannet fra den galaktiske bjælke og dem, der kunne være dannet af klumper af mørkt stof, men nye teleskoper kan hjælpe med dette (fx Gaia rumteleskopet).

Litteratur

- [1] K. V. Johnston (1998) *A Prescription for Building the Milky Way's Halo from Disrupted Satellites*, *Astrophysical Journal*, bind **495**, side 297.
- [2] O. Gerhard (2011) *Pattern speeds in the Milky Way*, *Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplementi*, bind **18**, side 185.
- [3] M. Odenkirchen, E. K. Grebel, W. Dehnen, H.-W. Rix, og K. M. Cudworth (2002) *Kinematic Study of the Disrupting Globular Cluster Palomar 5 Using VLT Spectra*, *Astronomical Journal*, bind **124**, side 1497.
- [4] W. Dehnen, M. Odenkirchen, E. K. Grebel og H.-W. Rix (2004) *Modeling the Disruption of the Globular Cluster Palomar 5 by Galactic Tides*, *Astronomical Journal*, bind **127**, side 2753.
- [5] E. J. Bernard m.fl. (2016) *A Synoptic Map of Halo Substructures from the Pan-STARRS1 3 Survey*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, bind **463**, side 1759.
- [6] S. Pearson m.fl. (2017) *Gaps and length asymmetry in the stellar stream Palomar 5 as effects of Galactic bar rotation*, *Nature Astronomy*, bind **1**, side 633-639.
- [7] A. Klypin, A. V. Kravtsov, O. Valenzuela og F. Prada (1999) *Where Are the Missing Galactic Satellites?*, *Astrophysical Journal*, bind **522**, side 82.
- [8] J. Bovy, D. Erkal og J. L. Sanders (2017) *Linear perturbation theory for tidal streams and the small-scale CDM power spectrum*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, bind **466**, side 628.
- [9] J. H. Yoon, K. V. Johnston og D. W. Hogg (2011) *Clumpy Streams from Clumpy Halos: Detecting Missing Satellites with Cold Stellar Structures*, *Astrophysical Journal*, bind **731**, side 58.
- [10] J. Diemand m.fl. (2008) *Clumps and streams in the local dark matter distribution*, *Nature*, bind **454**, side 735-738.



Sarah Pearson er PhD-studerende i astrofysik ved Columbia University, New York. Sarah fik sin bachelorgrad i fysik fra Københavns Universitet i 2012, og hun er ekspert i galakser, galaksekollisioner og mørkt stof. Udover sin forskning har Sarah en passion for formidling af astrofysik til omverdenen, og hun startede derfor i 2017 en YouTube-kanal "Space with Sarah", hvor hun svarer på spørgsmål om rummet i korte videoer.