

# Att mäta en miljard stjärnor

av David Hobbs, Lennart Lindegren, Ulrike Heiter och Andreas Korn

Gaia, rymdteleskopet som ska kartlägga vår galax mer detaljerat än vad som någonsin tidigare varit möjligt, lyfter i höst.

Mer än tio år har astronomer planerat för Gaia, ett rymdteleskop för astrometri, studiet av himlakropparnas lägen på himlen. I alla dessa år har forskarna sett fram emot upptäckterna som kommer att bli möjliga med hjälp av dess mätningar, och i presentationer och artiklar beskriver man "en revolution i vår förståelse av vår galax". Nu i höst sänds Gaia upp från ESA:s rymdbas i Franska Guyana, Sydamerika.

Så vad är Gaia, hur kommer det att förbättra våra kunskaper om Vintergatan, och vilken roll har Sveriges astronomer i detta spännande uppdrag?

## Att mäta stjärnornas avstånd

Astrometri är en av de äldsta vetenskaperna. Dess historia brukar börja med greken Hipparchos, (190-120 f. Kr.), som fått äran för klassificeringen av stjärnornas ljusstyrkor i magnituder som fortfarande används idag. Hipparchos var en mycket produktiv forskare som gjorde bidrag inom områden som geometri, trigonometri, astronomiska instrument, samt teorin om månen och solen. Inom astronomi är han mest känd för sin katalog över positionerna för minst 850 stjärnor, som han mätte upp med hjälp av en armillärsfär. Detta blev början på en lång strävan efter att kartlägga himlen, något som pågår än idag. År 1729 försökte James Bradley mäta upp avstånd till stjärnorna med parallaxmetoden (se bild på sidan 14). Detta misslyckades visserligen, men istället upptäckte han ljusets aberration och jordaxelns nutation. Den första lyckade parallaxmätningen kom 1838 då Friedrich Wilhelm Bessel

mätte en parallax på 0,314 bågsekunder för dubbelstjärnan 61 Cygni. Det gav ett avstånd på 10,4 ljusår, imponerande nära dagens värde på 11,4 ljusår.

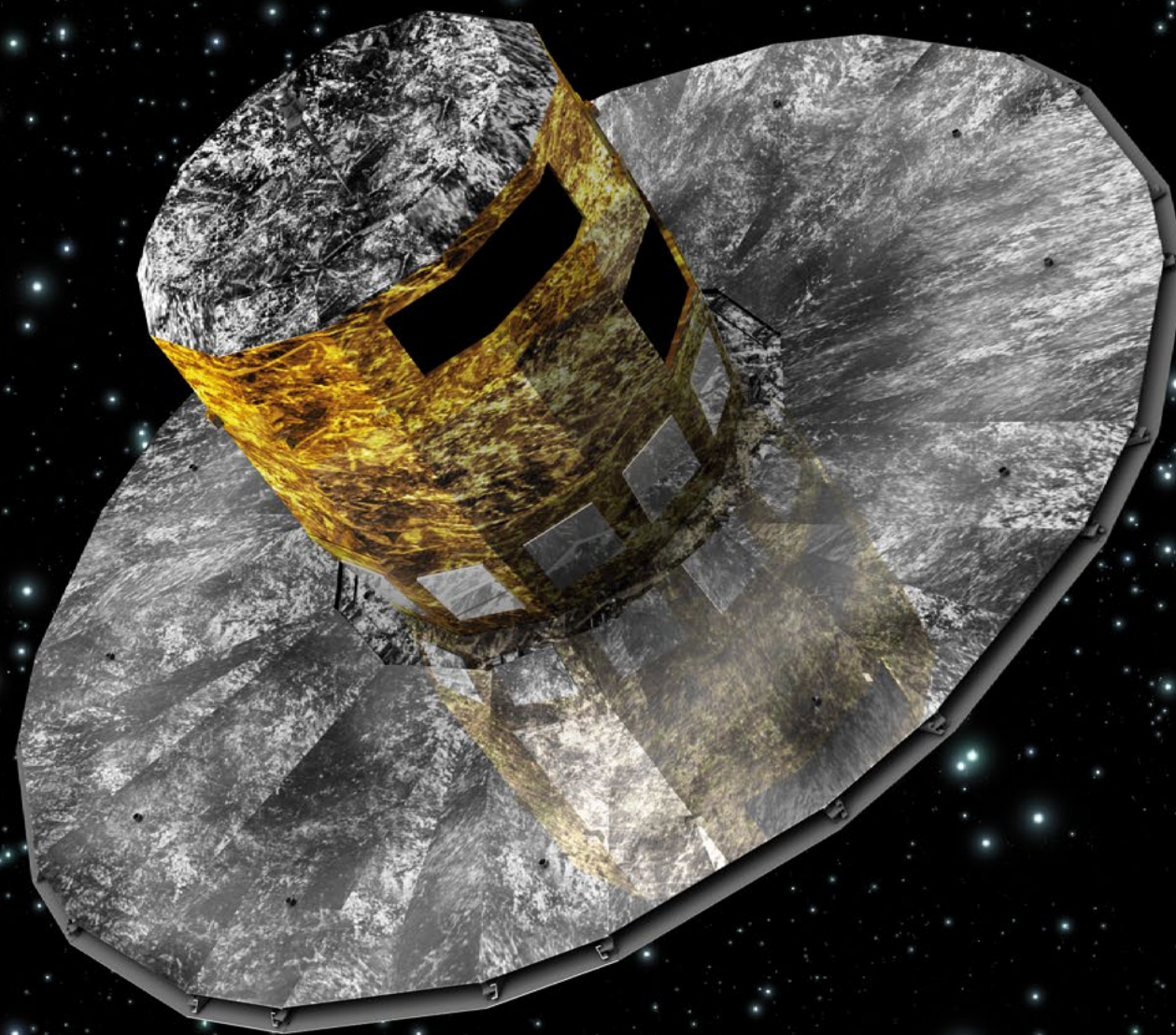
Vid slutet av 1800-talet var bara ett 60-tal stjärnparallaxer kända. Men med fotografiska plåtarnas intåg i början av 1900-talet ökade antalet objekt som kunde studeras och stjärnpositionerna kunde mätas med en precision på cirka en tiondels bågsekund, medan skillnader i position, som man behövde för parallaxmätningar, kunde mätas med 10 gånger bättre precision.

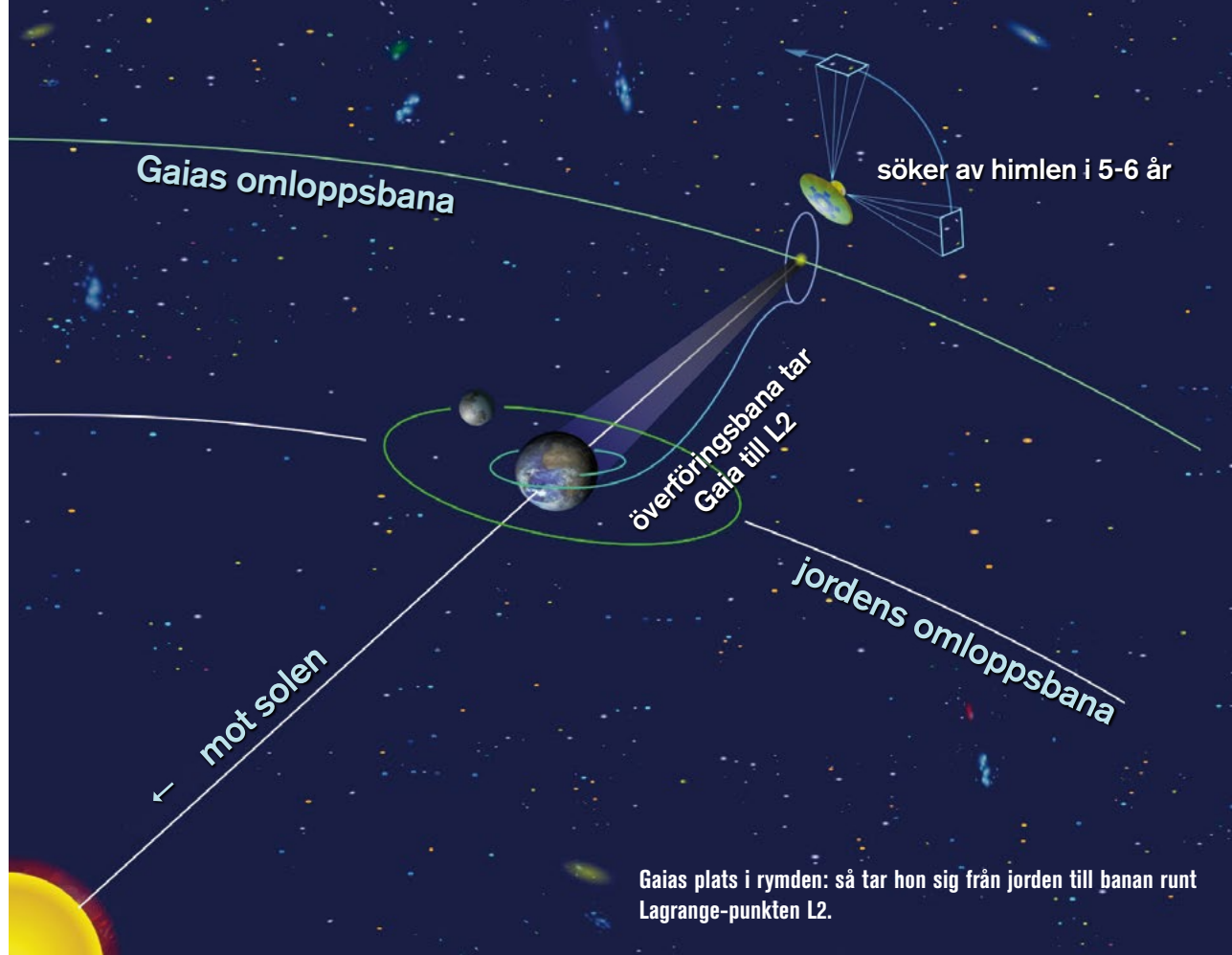
Astrometri tillhörde huvudfåran för astronomerna ett tag, men efter 1950-talet saktade förbättringstakten in. Andra områden inom astrofysiken och kosmologin blev viktigare för forskarna. För astrometrin var problemet turbulensen i jordens atmosfär som satte stopp för vidare förbättringar.

## Teleskop i rymden förändrar allt

Astrometri som forskningsfält fick nytt liv den 8 augusti 1989 då en ny europeisk satellit sändes upp, med det passande namnet HIPPARCOS. Projektet drabbades tidigt av problem med en boosterraket som inte avfyrades och som lämnade satelliten i fel bana. Detta gjorde projektet mer komplicerat och dataanalysen blev en rejäl utmaning. En av oss (Lennart), var med bland forskarna som lyckades lösa problemen. Tillsammans med den danske astronomen Erik Høg spelade han en nyckelroll i HIPPARCOS-teamet och ledde arbetet med det som blev ett av projektets två astrometriska lösningar – ett matematiskt sätt att översätta mätningar av lägen på himlen till koordi-

BILD: ESA





Gaias plats i rymden: så tar hon sig från jorden till banan runt Lagrange-punkten L2.

BILD: ESA/LEADS ASTRUM

nater på en himmelskarta.

Detta gav en katalog över 118 200 stjärnor med positioner som kunde mätas till en eller två millibågsekunders precision och som publicerades 1997. Sedan år 2000 kom en katalog med lägen för hela 2,5 miljoner stjärnor, dock till något lägre precision.

Redan 1993 föreslog Lennart och astronomen Michael Perryman vid ESA en uppföljare till HIPPARCOS: Gaia.

Det nya projektets mätteknik skulle likna HIPPARCOS men använda modern ccd-teknik istället för fotomultiplikatorrör. Gaia har också en helt annan ambitionsnivå. Noggrannheten som man siktar på är hundra gånger bättre än HIPPARCOS. Teleskopet kommer dessutom kunna detektera stjärnor som är så ljussvaga som 20:e magnituden, vilket innebär att det kan göra pålitliga mätningar av minst en miljard stjärnor. Då blir det möjligt att göra en kartlägg-

Parallax: så mäter Gaia hur långt det är till stjärnorna. Avståndet till den orangea stjärnan kan man räkna ut utifrån hur mycket den ser ut att flytta på sig under jordens årslånga resa runt solen.

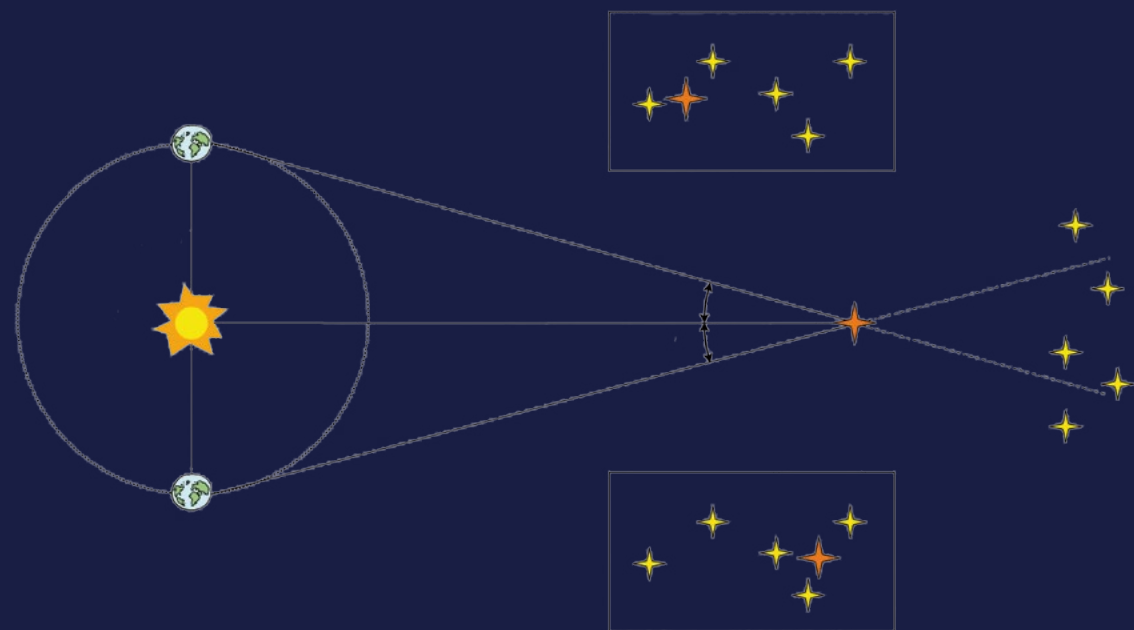


BILD: D. HOBBS

ning av vår galax som är både mycket känslig och omfattande. Tillsammans med mätningar av stjärnornas ljusstyrka och spektrum kan deras fysiska egenskaper också mätas upp.

**Uppsändning och tidiga mätningar**

Gaia sänds upp tidigast den 17 november 2013 från rymdcentret Kourou, Franska Guyana ombord på en rysk fyrstegsraket av typ Sojuz STB/Fregat. Det sista steget skickar in Gaia mot en övergångsbana som tar satelliten till ett ställe i rymden som kallas den andra Lagrange-punkten, eller L2. Det här är en punkt 1,5 miljoner kilometer från jorden i riktning bort ifrån solen (se bild på motsatt sida). Under den en månad långa övergångsperioden kommer man att börja testa instrumenten, och därefter intar satelliten en cirka 300 000 kilometer bred bana kring L2. Där kommer den att ligga kvar och observera himlen i minst 5 eller 6 år. Gaia roterar ett varv på sex timmar och kommer även att kretsa tillsammans med jorden kring solen under året. Därmed kan den både söka av hela himlen – och göra parallaxmätningar.

**Så gör Gaia sina mätningar**

Bilden på sidan 13 visar hur Gaia ska se ut när den är igång. Den stora platta skivan, med en diameter på omkring 10 meter, skyddar instrumenten från solstrålningen. På sidsidan har den solpaneler och en kommunikationsantenn som riktas bakåt mot solen och jorden. Överst i farkostens cylinderformade del finns huvuddelen av optiken, och i den nedre delen finns servicemodulen där bränslen och raketmotorer sitter. Optiken består av två mycket kompakta reflektorteleskop med brännvidd på 35 meter. De används för att koncentrera ljuset från två synfält till ett fokalplan där detektorerna sitter. Här i fokalplanet finns 106 ccd-detektorer som är tillräckligt känsliga för att fånga upp det svaga ljuset från stjärnor ner till 20:e magnituden. Det är de som ger Gaia sitt smeknamn "miljard-pixel-kameran". Medan bilden av en stjärna passerar över fokalplanet samlar ccd:erna laddning. Gaia registrerar inte bilder utan istället passagetider som noggrant definierar positioner längs en viss riktning av stjärnor på

himlen. Genom att för varje stjärna göra många passage-mätningar från olika vinklar kan man bygga upp en ännu mer noggrann mätning av stjärnans läge, dess parallax och hur snabbt den rör sig under projektets livstid. Gaias två synfält gör fyra varv per dygn och under varje varv tecknas en storcirkel på himlen. Satellitens rotationsaxel vrider sig långsamt vilket betyder att cirkelarna flyttar lite grann på sig. Över tid gör detta att hela himlen kan kartläggas på ett jämnt sätt. I bilden på sidan 14 ser man hur Gaia gör parallaxmätningar. Parallaxen är en synbar förflyttning av en stjärna längs en storcirkel mot solen, och ändrar sig under årets lopp eftersom Gaia följer med jorden runt solen.

**Den vetenskapliga utdelningen**

Gaia ska kartlägga stjärnor över hela himlen, med magnitud mellan 6 och 20, så jämnt som möjligt. Det ska komplettera mätningarna från HIPPARCOS, som var känslig för stjärnor ner till 11:e magnituden. För Gaia kommer stjärnor som är ljusstarkare än magnitud 6 att vara alltför ljusstarka för ccd-detektorerna. Fördelen med en design som är känslig för stjärnor så ljussvaga som 20:e magnituden är att man kommer att kunna mäta upp ljussvaga och mycket avlägsna himlakroppar. På det sättet kommer Gaia att utöka spannet av observationer då den noggrant kan mäta upp både mycket ljusstarka stjärnor i hela galaxen samt mindre ljusstarka objekt närmare solen. Men på grund av stoft och damm i galaxen kommer Gaia inte kunna tränga in i galaxens mittersta delar. Totalt väntas Gaia mäta upp mer än en miljard objekt men den slutgiltiga siffran får vi först när projektet är klart. De astrometriska mätningarna av dessa objekt – deras positioner, parallax och hur mycket de rör sig över himlen – kommer att ge oss detaljerad information om vår galax, Vintergatan. I sin tur kommer det att göra det möjligt att i detalj studera galaxens gravitationsfält. Kanske kan vi då också undersöka den mörka materians beskaffenhet, en av den moderna astronomins hetaste – eller kanske kallaste! – frågor. Gaia kommer också att hitta så kallade stjärnströmmar - återstoden av upplösta stjärnhopar och dvärggalaxer som tidigare gått samman med Vintergatan.

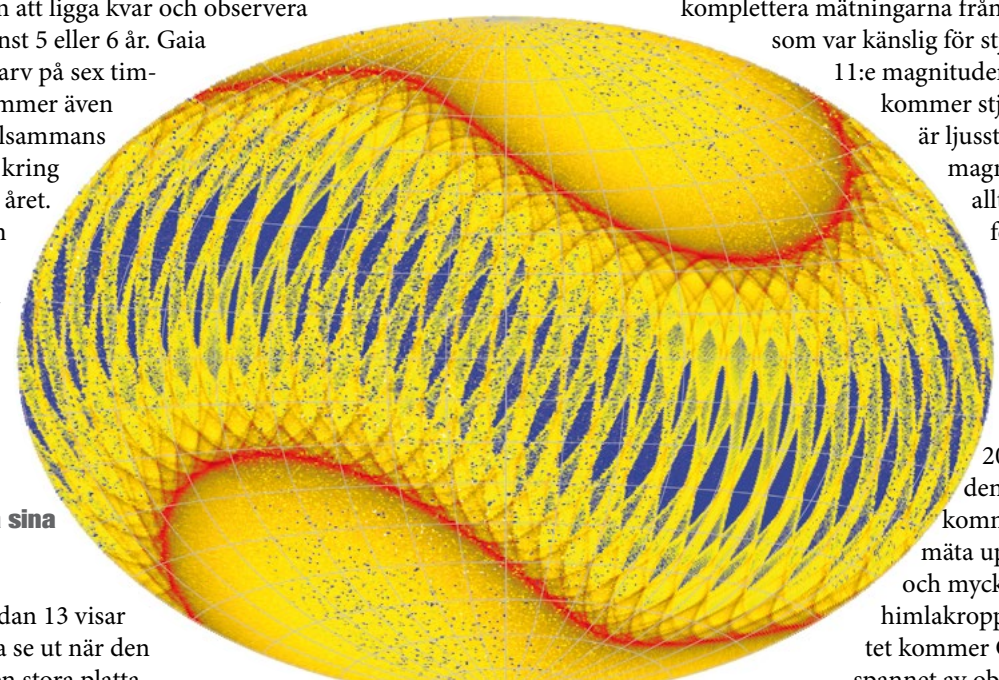


BILD: ESA



FOTO: © ASTRIUM

Med en miljard pixlar till förfogande: Gaia:s kamera i labbet.

Med föregångaren HIPPARCOS var sådana studier antingen omöjliga eller begränsade till solens omedelbara närhet i rymden, men nu kommer vi verkligen kunna se galaxens tredimensionella struktur för första gången.

#### Vintergatans innehåll

Utöver astrometrin kommer Gaia även att mäta stjärnornas ljusstyrkor och spektra.

Satellitens fotometriska instrument använder två prismer, ett för blått ljus och ett för rött ljus, som gör att den kan registrera spektra med låg upplösning. Det här kommer att göra det möjligt att korrigera de astrometriska observationerna för kromatiska effekter, och dessutom kan objekten artbestämmas och klassificeras. Bland annat vill man skilja mellan olika slags objekt (t. ex. stjärna, kvasar, himlakropp i solsystemet), uppskatta temperaturen hos stjärnor och rödförskjutning och därmed avstånd till kvasarer. Gaias spektroskopiska instrument kommer att kunna mäta radialhastigheter (hur snabbt stjärnan rör sig längs siktlinjen) för omkring hundra miljoner stjärnor, ner till 17:e magnituden med en precision på några kilometer i sekunden. Instrumentet är en spektrograf för kortvågigt infrarött ljus med medelhög upplösning. Det kommer dessutom att kunna uppskatta rödfärgning från stoft och damm, egenskaper hos stjärnornas atmosfärer, och rotationshastigheter för stjärnor så ljussvaga som 12:e magnituden. För stjärnor som är ljusare än så kommer den också kunna mäta halter av olika grundämnen. Med mätningar av både ljusstyrka och spektrum kommer man kunna uppskatta stjärnornas viktigaste egenskaper, vilket i sin tur hjälper astronomer nysta upp hur de olika kemiska ämnena i Vintergatan har skapats och blandats, och olika

populationer av stjärnor kan spåras. Till och med solens ursprung kan studeras. Kanske vi kan spåra solens syskon, det vill säga de stjärnor som föddes i samma gasmoln för 4,5 miljarder år sedan.

Gaia kommer även att samla upp stora mängder vetenskaplig information som vi inte kan förutse. Allt medan Gaia avsöker himlen kommer den att se mycket mer än bara stjärnorna som ligger utspridda i galaxen. Himlakroppar i solsystemet kommer att registreras och ge en känslig och jämn kartläggning där deras banor kan bestämmas genom upprepade observationer. Detta kommer att starkt förbättra banorna för redan kända objekt och för en del av dem kan vi mäta deras massor. Nya jordnära asteroider kommer att upptäckas. I solsystemets yttre delar blir det kanske möjligt att upptäcka nya planetstora objekt som hittills inte kunnat hittas. Detta kan man göra tack vare gravitationell lensning av bakgrundsstjärnor, vars skenbara lägen flyttas en aning av den osynliga himlakroppens gravitationsfält.

Gaia kommer också att detektera omkring en halv miljon kvasarer som, tack vare deras stora avstånd, kan användas som en ny och mer pålitlig referensram på himlen. Den allmänna relativitetsteorin förutsäger hur kroppar böjer ljus från objekt bakom dem beroende på deras massa och hur geometrin ser ut, som i mikrolinsningsfallet ovan. Böjningen av ljuset av solen och planeterna kan användas för att testa Einsteins allmänna relativitetsteori och Gaia väntas kunna göra detta cirka 20 gånger strängare än tidigare tester. För närliggande ljusa stjärnor är Gaias astrometri tillräckligt noggrann för att registrera stjärnornas vacklande lägen på himlen. Sådant vacklande kan orsakas av planeter i Jupiters eller Saturnus storleksklass och observationerna kan användas för att räkna fram planeternas banor. Längre bort kan plötsligt uppflymmande objekt i avlägsna galaxer uppmärksamma astronomer om möjliga

supernova-explosioner och meddelanden kommer att skickas ut till världens astronomer under projektets gång.

De mest spännande händelserna kan vara de som vi inte alls väntar oss. Vi hoppas naturligtvis att Gaia leder till många oväntade upptäckter!

#### Sveriges bidrag till Gaia

De mätningarna som överförs från Gaia till mottagarstationer på jorden – totalt sett blir det hela 20 000 gigabyte – måste genomgå en mycket komplex och omfattande bearbetning innan vi får de resultaten som vi så ivrigt väntar på. Uppdraget att sköta bearbetningen ligger hos ett konsortium i vilket ingår fler än 400 forskare från runt om i Europa. Med stöd av Rymdstyrelsen arbetar två forskargrupper i Sverige med Gaia, och båda kommer att ha viktiga roller för databearbetningen. I Lund har två av oss, Lennart Lindegren och David Hobbs, fokus på Gaias kärnlösning, medan Ulrike Heiter och Andreas Korn i Uppsala arbetar med stjärnanalys.

#### Kärnan sköts i Lund

I Lund leds forskargruppen av Lennart, som bär med sig erfarenhet av astrometri från rymden med HIPPARCOS, med stöd av David. Huvuduppgiften är det som kallas Gaias kärnlösning för astrometri. I uppdraget ingår att utveckla algoritmer och statistisk analys för de minst hundra miljoner stjärnor vars lägen tillsammans definierar hur Gaias karta över himlen kommer att se ut. Dessa stjärnor väljs ut för att de inte är dubbla eller har andra egenskaper som skulle kunna påverka kartan negativt. I kärnlösningen ingår också en mycket noggrann bestämning av hur satelliten vrider sig i rymden, samt kalibrering av ccd-detektorerna. Det är också i kärnlösningen som vi kan testa den allmänna relativitetsteorin. I Lund arbetar vi även med hur positionsmätningar påverkas av kosmiska partiklar under projektets fem år långa livstid och med verktyg för att hjälpa forskare att tolka mätfelet i Gaias slutgiltiga katalog.

#### Stjärnor behandlas i Uppsala

Med hjälp från stjärnforskare från hela Europa samlar Andreas data som ingår i ett stort bibliotek av spektra som ska täcka alla slags stjärnor som vi idag känner till, från unga stjärnor som knappt tänts till stjärnrester som vita dvärgar, från de hetaste och tyngsta stjärnorna till bruna dvärgar som knappt kvalar in som stjärnor. Den överväldigande majoriteten av de källor som kommer att observeras kallas solliknande stjärnor – de med spektraltypen F, G och K. Hetare stjärnor än dessa (typer O, B och A) är sällsynta och svalare stjärnor (M, L och T) är vanliga men ljussvaga. Det är för just de medelvarma stjärnor, med temperaturer på mellan 4000 och 7000 grader, som Uppsala har en datormodell för stjärnornas atmosfärer som är vältestad och som används av många forskare. Det är just detta bibliotek

som kommer att ligga till grund för all klassifikation av stjärnor som Gaia gör med sina blåa och röda fotometrar och med sin infraröda spektrograf.

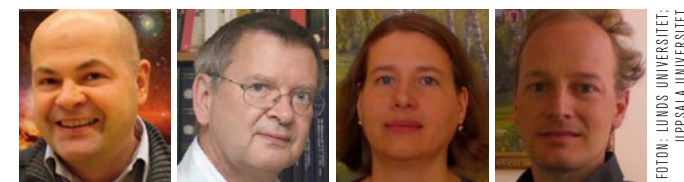
Ulrike arbetar med att kalibrera och validera hur man uppskattar stjärnornas astrofysikaliska parametrar, som till exempel temperatur, massa och radie. Här kan det krypa in systematiska fel. Dels därför att Gaias mätningar av spektra bara täcker en liten del av det ljus som man från stora teleskop på marken kan använda för att få information om en stjärnas atmosfär. Dessutom uppskattar man stjärnornas egenskaper utifrån teoretiska modeller som kanske inte funkar i alla lägen. Både dessa potentiella problem kommer man att kunna begränsa genom att kalibrera Gaias mätningar med en mindre mängd teststjärnor, mellan 1000 och 10000 stycken, för vilka bra mätningar även finns från teleskop på marken. Teststjärnorna analyseras med sofistikerade metoder, och befintliga spektra kompletterar vi med nya observationer.

#### De kommande åren

Nu när uppsändningen står för dörren förbereder vi i Lund och Uppsala ivrigt inför den spännande och utmanande tiden som nu kommer.

Gaias första mätningar kommer att släppas först cirka två år efter uppsändningen, och då kommer det bara handla om positioner och magnituder. Men för de ljusare stjärnor som också observerades av HIPPARCOS kommer kombinationen av de nya och gamla lägen på himlen ge mätningar av hur stjärnorna rör sig över på himlen till en precision på ungefär 0,05 millibågsekunder per år. Detta i sig kommer att vara ett viktigt tidigt resultat. Före 2016 kommer positioner, parallaxer och egenrörelser släppas för en stor del av den slutgiltiga katalogen, tillsammans med mätningar av stjärnornas ljusstyrkor, hur fort de rör sig längs siktlinjen, och andra egenskaper. Senast tidigt 2017 kommer ett tredje datasläpp, nu med ännu mer pålitliga mätningar och viss information om dubbelstjärnor. År 2019 kommer en fjärde upplaga med nästan slutgiltig precision, men där stannar inte arbetet. Förbättringar kommer att göras under ett antal år efter att observationerna avslutats och den slutgiltiga katalogen kanske inte släpps förrän 2023.

För oss kommer det mest spännande att vara att se hur katalogen används. Hur många nya viktiga upptäckter om vår galax kommer man att kunna göra? Idag kan vi bara gissa. Vårt och Sveriges bidrag till Gaia är litet men ändå avgörande för att det här inspirerande rymdprojektet ska lyckas. ★



DAVID HOBBS och LENNART LINDEGREN arbetar med Gaia vid Lunds universitet. ULRIKE HEITER och ANDREAS KORN är Gaia-forskare vid Uppsala universitet.

FOTON: LUNDS UNIVERSITET; UPPSALA UNIVERSITET