

# GAIA GÖR REVOLUTION I VINTERGATAN

När rymdteleskopet Gaia kartlägger Vintergatan blir gigantiska mängder data tillgängliga för forskare – men också för alla andra. Det öppnar upp spännande möjligheter, upptäcker Johannes Reiter och Andreas Korn.

I Gaias första gigantiska himmelskarta syns redan Vintergatan, dess mörka dammoln och dess små grannar de Magellanska molnen. Mörka spår visar upp områden där Gaia ännu inte skannat klart.

**A**r 2013 publicerade *Populär Astronomi* en artikel om Gaia, ett av Europas allra viktigaste rymdprojekt (*Att mäta en miljard stjärnor* av David Hobbs, Lennart Lindegren, Ulrike Heiter och Andreas Korn, PA 2013/3). Då var Gaia på väg till Kourou, ESA:s rymdhamn i Franska Guyana, för uppsändning. Nu, fyra år senare, är flera hundra forskare runtom i Europa, bland dem forskare från Uppsala och Lunds universitet, mitt i den hetaste fasen av projektet. I början av 2014 in-tog Gaia sin arbetsplats utanför jordens omloppsbana och påbörjade, efter ett halvår av testmätningar, de rutinmäs-siga observationerna av hela himlen.

Målet är att mäta positioner, avstånd och fysikaliska egen-skaper hos alla stjärnor och andra punktformade objekt på himlen. Gaia kommer att kunna mäta uppemot 1,5 miljarder stjärnor – från de allra ljusaste ner till magnitud 20 (dvs. fyra-hundratusen gånger ljussvagare än blotta ögat kan nå).

Inte minst skapar Gaia ett nytt koordinatreferenssystem på himlen för de kommande decennierna. Utan det skulle t.ex. James Webb-rymdteleskopet inte kunna operera. När

den slutgiltiga katalogen presenteras kring 2023 blir det knappt någon gren av astronomin som inte påverkas.

Vad som är ännu mer spännande är att Gaias första mätningar börjar nu bli tillgängliga inte bara för forskare, utan också för alla andra.

Kan vem som helst göra ny och spännande forskning med Gaia? Vi – en rymdfrälst gymnast från Stockholm och en astronom från Uppsala – ville prova om det gick. På nästa uppslag berättar vi hur vi gjorde.

## En miljard ljuspunkter

I höstas presenterade Gaiakonsortiet det första datasläppet, som kallas Gaia Data Release 1, eller DR1. Det är en gigan-tisk tabell med positioner för hela 1 142 679 769 ljuspunk-ter. Så småningom kommer Gaia att mäta upp alla dessa stjärnors avstånd. Men med en fiffig kombination av data från Gaias föregångare, ESA:s HIPPARCOS-mission, slipper vi vänta.

## GAIA

ESA:s satellit för astrometri, med uppdrag att kartlägga en betydande del av Vintergatan.

19 december 2013: uppskjutning från Franska Guyana.

Sedan januari 2014: vid Lagrangepunkten L<sub>2</sub> utanför jordens omloppsbana, 1,5 miljoner kilometer bort.

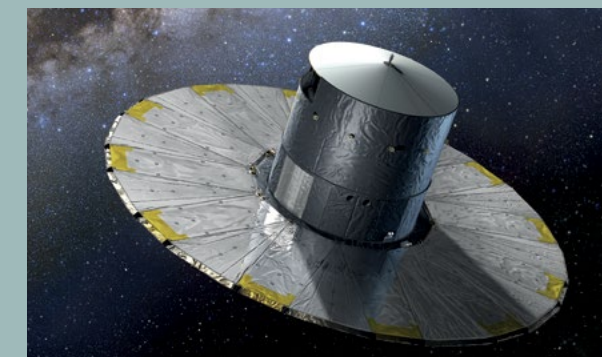
Har mänsklighetens största kamera i rymden, med totalt 937 miljoner bildpunkter (för astrometri, fotometri och spektrometri). Sedan mitten av 2014 skannar Gaia hela himlen dygnet runt. Det tar flera månader per gång. De flesta objekt observeras mellan 50 och 100 gånger under fem år.

Utöver astrometrin levererar Gaia också fotometri – mätningar av ljusstyrka – för alla objekt, och spektroskopi för de ljusstarkaste 100 miljonerna stjärnor. Efter analyserna blir det en databas på 700 terabyte!

Data från de första 14 månaderna publicerades i höstas som Gaias första datasläpp (Gaia Data Release 1). Det inkluderar positioner för alla punktformade källor ner till magnitud 20.

Dessutom avstånd till 2 miljoner objekt ner till magnitud 11 (den så kallade TGAS-katalogen, Tycho-Gaia Astrometric Solution). Nästa datasläpp (april 2018) kommer att inkludera avstånd till alla observerade objekt.

Utöver detaljerad information om ca en miljard stjärnor förväntas Gaia leverera mätningar av bland annat 300 000 asteroider i solsystemet, 20 000 exoplaneter, 10 000 supernovor, 500 000 kvasarer. Mer information finns på [sci.esa.int/gaia](http://sci.esa.int/gaia)





## SÅ MÄTTE VI BIKUPANS ÅLDER



Hur gammal är stjärnhopen Bikupan? Vårt mål är att med Gaias första mätningar göra en alldeles egen uppskattning.

Först bestämmer vi vilka stjärnor som tillhör stjärnhopen och vilka som bara råkar befinna sig i samma område på himlen. Genom att titta på stjärnornas positioner får vi en delmängd som utgångspunkt. Sedan jämför vi stjärnornas egenrörelser – hur de rör sig över himlen. I Gaia-katalogen letar vi efter stjärnor som har avvikande avståndsuppskattningar. Första analysen ger 123 stjärnor som vi tror ingår i Bikupan.

För att uppskatta hopens ålder behöver vi rita ett så kallat Hertzsprung–Russell-(HR-)diagram. Stjärnor i en stjärnhop som Bikupan föds ur samma materia, tillsammans i rymd och tid. Det enda som egentligen skiljer hopens många syskon från varandra är deras massor. Tunga stjärnor utvecklas snabbare, medan lätta stjärnor lever ett lugnare liv. Tunga stjärnor har också en större radie, följaktligen också en större luminositet. För stjärnor med mindre massa gäller motsatsen.

HR-diagrammet visar hur stjärnornas ljusstyrkor (den ena axeln) och yttemperaturer (den andra) är relaterade. Stiger den ena, stiger också den andra. Stjärnorna bildar en sekvens som kallas för huvudserien. De flesta stjärnor tillbringar största delen av sina liv med temperatur och ljusstyrka som håller dem kvar på huvudserien. När stjärnors vätebränsle närmar sig sitt slut leder utvecklingen bort från huvudserien. Stjärnorna ökar gradvis i storlek och ytan blir kallare; så småningom blir de röda jättar.

Utifrån Gaias mätningar av Bikupan är vi intresserade av ett särskilt ställe i Bikupans HR-diagram. Stället där stjärnorna lämnar huvudserien kallas för main-sequence turnoff och är unikt för varje stjärnhop. Turnoff-punkten berättar också om hur gammal stjärnhopen är. Genom att jämföra med datorbaserade stjärnutvecklingsmodeller kan vi bestämma vilka egenskaper stjärnor har som håller på att lämna huvudserien – till exempel hur gamla stjärnorna är. Stjärnorna i Bikupan letar vi fram i TGAS-katalogen, som är fritt tillgänglig på nätet ([gea.esac.esa.int/archive](http://gea.esac.esa.int/archive)). Här får vi hjälp av en öppen programvara med namn TOPCAT ([www.star.bris.ac.uk/~mbt/topcat](http://www.star.bris.ac.uk/~mbt/topcat)) för att kunna ladda, bearbeta och visualisera Gaias mätningar.

I framtiden ska Gaia kunna ge oss uppskattningar av stjärnornas ljusstyrka och färg, men nu använder vi istället en annan katalog, SIMBAD (<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>), som med sju miljarder objekt är en av astronomins största

kataloger. Genom att kombinera med Gaia-positionerna har vi allt vi behöver för åldersbestämningen. Först ska vi bara rensa bort några stjärnor som kan göra åldersbestämningen svårare. Med hjälp av SIMBAD hittar vi 15 dubbelstjärnor som har samma färg, men lyser starkare än hopens ensamma stjärnor, samt flera föränderliga stjärnor.

Temperaturen och luminositeten är inte direkt mätbara parametrar, utan måste bestämmas med hjälp av ljuset som når våra mätinstrument. I praktiken gör man detta genom att mäta upp ljuset som passerar genom olika färgfilter. Kombinerar man två filter genom att bestämma deras differens får man ett mått på temperaturen. Här använder vi en bland forskare populär metod (Infrared Flux Method) för att få fram temperaturen med hjälp av mätningarna i SIMBAD.

När vi sedan ritar Bikupans alla stjärnor i ett HR-diagram ser vi hopens unika fingeravtryck. Men precis som på en brottsplats behöver vi nu andra fingeravtryck att jämföra med.

Vi jämför med datorberäkningar av hur stjärnor i olika åldrar borde lysa. Från dessa modeller kan vi få fram så kallade isokroner, som är som höjdkurvor i diagrammet som pekar ut parameterkombinationer som ger samma ålder. På nätet hittar man flera tjänster för att generera stjärnisokroner. Vi väljer ut ett program som heter PARSEC (<http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd>). Hur isokronerna ser ut och just var stjärnorna lämnar huvudserien – turnoff-punkten – beror på stjärnornas åldrar, men också på deras sammansättning. Vi antog att en ung stjärnhop har typiskt sollik sammansättning, och jämför modellernas isokroner med stjärnornas

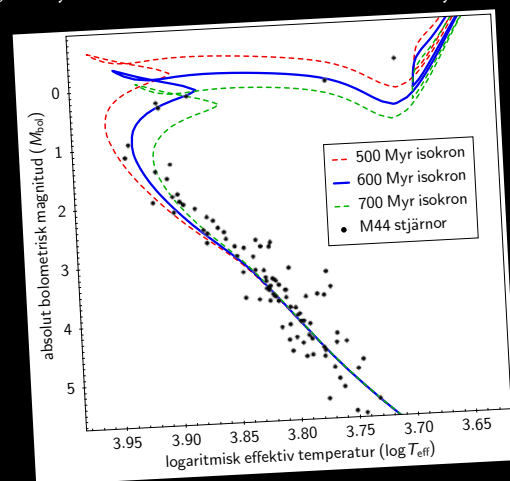


DIAGRAM: JOHANNES REITER

positioner i HR-diagrammet. De som passar mätningarna bäst ger oss stjärnhopens ålder.

Diagrammet visar resultatet av vårt arbete med Bikupan. Med fingeravtrycksmetoden bestämmer vi Bikupans ålder till ungefär 600 miljoner år – på den galaktiska utvecklingsskala är denna stjärnhop ett småbarn. Anpassningen är inte perfekt, men bekräftar den ålder som proffsastronomer anger för denna stjärnhop, trots många möjliga felkällor. Stjärnornas ljusstyrkor är inte perfekt uppmätta; fel kan också ha uppstått i kalibreringen. Våra modellföreställningar är också ganska förenklade. Att bygga modeller av unga stjärnor med ibland mycket aktiva magnetfält är något som astronomer – bland annat också vid Uppsala universitet – arbetar flitigt med.

Genom att kombinera Gaias och HIPPARCOS mätningar har nu 2057050 relativt ljusstarka stjärnor kunnat få nya avståndsbestämningar, med en noggrannhet som redan nu överstiger HIPPARCOS'. Denna smarta lösning – den kallas Tycho Gaia Astrometric Solution efter instrumentet Tycho ombord på HIPPARCOS – uppfanns i Lund för ett par år sedan. Med den kan vi nu smygstarta forskningen med Gaia.

### Bikupan och andra stjärnhopar

Öppna stjärnhopar är fantastiska laboratorier för astronomer som vill förstå hur stjärnor utvecklas och för att testa våra teorier och datormodeller för hur stjärnor föds, lever och dör. (Läs mer om stjärnhopar i artikeln *Galaxernas lysande danstrupper* av Angela Adamo i PA 2017/2.)

En av de allra första forskningsartiklarna med mätningar från Gaia handlar om några närliggande stjärnhopar, bland dem objekt som du kanske själv har sett på himlen: Bikupan (M 44) i Kräftan, samt Hyaderna och Plejaderna (M 45) i Oxen. Alla dessa innehåller många ljusa stjärnor som redan observerades med HIPPARCOS i början av 1990-talet. Just vad gäller Plejaderna har Gaia förresten löst ett problem som föregångaren ställde till med. Enligt HIPPARCOS' mätningar ligger Plejaderna bara 390 ljusår bort. Uppskattningar med andra metoder talade istället för ett avstånd kring 440 ljusår. Nu bekräftar Gaia att HIPPARCOS hade fel, och fastställer ett nytt värde på 434 ljusår (plus eller minus 2 ljusår). Just varför HIPPARCOS hade fel är en vetenskaplig gåta som återstår att lösa.

### Vad gör proffsastronomer med Gaia?

Många astronomer har kommit igång med egna projekt som använder de första Gaia-data. Men vad gör Gaiaforskarna i Uppsala med TGAS? En av astrofysikens tekniker som Uppsala-astronomer är särskilt bra på är detaljerade, spektroskopiska studier av stjärnor. Inte förvånadsvärt då att vi har engagerat oss i det som kallas för Gaia follow-up, dvs. storskaliga markbaserade följdobservationer av stjärnor ur Vintergatans olika stjärnpopulationer. Gaias astrometri – dess förmåga att mäta upp positioner på stjärnhimlen och, ännu viktigare, avstånd – är oslagbar. I bästa fall når Gaia en precision på 10 mikrobågsekunder; det är hundra gånger bättre än HIPPARCOS. Gaia kan också mäta stjärnors ljusstyrkor noggrant (till millimagnituden), men spektroskopin är tyvärr rätt begränsad, både i våglängd och i signalstyrka. Här kan mellanstora och stora teleskop på jorden göra viktiga kompletterande insatser.

Forskare vid Uppsala och Lunds universitet spelar till exempel en viktig roll inom kartläggningsprojektet Gaia-ESO Survey som sedan 2012 har observerat etthundratusen noggrant utvalda stjärnor med ESO:s Very Large Telescope (VLT) i Chile. Totalt 360 nätter har tilldelats projektet, den största tilldelningen på VLT någonsin. Vi har redan lärt oss en massa nya saker, inte minst om noggrannheten som går att uppnå i spektroskopiska projekt av nästan industriell skala. Data vi samlar in inom projektet kan också användas för att finkalibrera Gaia:s instrument.

Vi driver dessutom egna, mindre storslagna projekt, till exempel med hjälp av NOT-teleskopet på La Palma. De har dock inte levererat nya rön än. Fortsättning följer!

### Gaias framtid

Nästa datasläpp är planerat för april 2018. Då får vi avstånd för alla objekt i katalogen, uppemot 1,5 miljarder stjärnor! Så småningom får vi också bättre och bättre ljusstyrkor och spektra. Dessa data är viktiga för den astrofysikaliska delen av missionen. Som i vårt experiment med Bikupan skulle det vara omöjligt att bestämma stjärnornas ålder utan kännedomen om stjärnornas egenskaper så som grundämnessammansättning och yttemperatur.

Gaia:s slutgiltiga katalog ska presenteras kring 2023, men ESA skulle kunna godkänna en förlängning av missionen med upp till fyra år efter det. Vi håller såklart tummarna att detta sker. Det skulle ger helt nya vetenskapliga möjligheter, till ett rimligt pristillägg.

Utöver Gaia-ESO Survey finns det flera andra projekt som kompletterar och följer upp Gaias mätningar. Det sker en brant utveckling av s.k. multiobjektspektrometrin som vi knappast kunde ana för tio år sedan. GALAH vid Siding Spring-observatoriet i Australien (se artikel *Stjärnornas nya hemligheter* i PA 2014/3) har redan kommit igång och ska ge spektroskopiska observationer för uppemot en miljon stjärnor. Projektet WEAVE på William Herschel-teleskopet på La Palma ska fr.o.m. 2018 samla in spektroskopiskt material för flera miljoner stjärnor. Och 4MOST, ett projekt där Uppsala och Lunds universitet båda ingår, ska fr.o.m. 2022 observera uppemot 20 miljoner stjärnor från ESO:s VISTA-teleskop i Chile.

Hur mycket data får vi? Viss databehandling äger rum ombord på Gaia, eftersom kameran helt enkelt samlar in för mycket data för att kunna skicka ner alla till jorden. Men totalt förväntas ca 30 terabyte av data kunna tankas ner under fem år. Det uppskattas att Gaiateamet, efter dataanalysen över hela Europa, genererar ca 700 terabyte av vetenskapliga mätningar, och tillkommer gör alla spektroskopiska data från ovannämnda markbaserade projekt.

Sådana datamängder är såklart för stora för att tanka ner till din dator hemma. Men med hjälp av Gaiaarkivet kommer mätningarna ändå att bli tillgängliga, för både forskarna och allmänheten. Allmänheten, det kan t.ex. vara du! Vår åldersbestämning av Bikupan visar att det går redan nu. Framöver kommer det att finnas mycket mer att utforska i Gaia-databasen. Det är bara att välja och vraka! ★

JOHANNES REITER tog studenten vid Tyska Skolan i Stockholm i fjol och påbörjar sina fysikstudier vid Heidelbergs universitet i Tyskland senare i år. ANDREAS KORN är Gaiaforskare och universitetslektor vid Uppsala universitet. Han är medlem i Gaia DPAC, konsortiet som processar och analyserar alla data vi får från Gaia. För det var han Rymdstyrelsenfinansierad rådsforskare 2010–2016.

