

Hvordan opstår stjerner og deres tilhørende planeter, og hvordan ender planeterne i deres baner om stjernen? Det er spørgsmål, som astrofysikeren Simon Albrecht forsøger at besvare ud fra observationer af stjerner og planeter i vores galaktiske nabolag.

Dobbeltstjerner – det vil sige, hvor to stjerner kredser om hinanden – er formentlig et meget almindeligt fænomen i Universet, og måske en del af forklaringen på, hvorfor mange af exoplaneternes baner umiddelbart opfører sig meget anderledes, end vi kender det fra vores eget Solsystem. Her er det en kunstnerisk gengivelse af exoplaneten Kepler-35, en planet på størrelse med Saturn, der netop kredser om et par af stjerner.

Illustration: Lynette Cook / extrasolar.spaceart.org

Om forfatteren

Af Henrik Bendix, videnskabsjournalist. bendix@vidmere.dk



DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH FUND DENMARK

Artiklen er sponsoreret af Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers.

Danmarks Frie Forskningsfond dækker alle videnskabelige hovedområder og uddeler hvert år godt 1 mia. kr. til forskningsprojekter baseret på forskernes egne ideer. Danmarks Frie Forskningsfond består af 84 anerkendte forskere udpeget på baggrund af deres høje faglige kompetence. Formand for Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers er professor ved Københavns Universitet, Henrik Grum Kjærgaard. Læs mere på www.dff.dk

UVENTEDE PLANETBANER KAN AFSLØRE STJERNESYSTEMERS HISTORIE

Exoplaneter, altså planeter om andre stjerner end Solen, kredser ikke altid pænt rundt om deres stjerne. De kan være langt fra at have næsten cirkulære baner parallelt med stjernens ækvator. I stedet kan planeternes baner være orienteret på alle mulige måder og være mere aflange, end vi kender det fra Solsystemet.

Det er lidt af et mysterium, som lektor Simon Albrecht fra Stellar

Astrophysics Centre på Aarhus Universitet gerne vil være med til at løse. Han er sikker på, at en del af forklaringen på de underlige planetbaner skal findes hos dobbeltstjerner. I 2015 fik han en Sapere Aude-bevillingen på 5,4 millioner kroner fra Danmarks Frie Forskningsfond, og de penge er gået til at forske i dannelsen og udviklingen af stjernesystemer med særligt fokus på forholdet mellem rotationsakser og kredsløbsretninger.

»Solen er den eneste stjerne i Solsystemet, men cirka halvdelen af alle stjerner på himlen tilhører dobbelt-systemer, hvor to stjerner kredser om hinanden. Vi vil gerne vide mere om, hvordan disse systemer blev dannet,« fortæller Simon Albrecht og fortsætter:

»Desuden forsker jeg i exoplaneter – hvordan systemer med planeter dannes og udvikler sig.«

I 1995 blev den første exoplanet,

51 Pegasi b, fundet, og den viste sig at være en gaskæmpe som Solsystemets største planet Jupiter, som kredser rundt ganske tæt på sin stjerne. 51 Pegasi b er blot fire dage om at kredse en omgang rundt om sin stjerne, som den er mindre end otte millioner km væk fra.

Sådan en "hot Jupiter" burde ikke kunne eksistere, for i en så kompakt bane tæt på stjernen har der simpelthen ikke været nok materiale til at danne en kæmpeplanet. Desuden burde strålingen fra stjernen have forhindret dannelsen af så stor en planet, idet varmen ikke tillader ispartikler af vand, metan eller ammoniak at eksistere og bidrage til væksten.

De varme gaskæmper må derfor være dannet længere væk fra stjernen og bagefter have migreret indad i en proces, som astrofysikere som Simon Albrecht kæmper med at forstå. Sammen med en lille gruppe studerende har han brugt de forløbne år på at undersøge og beskrive en række systemer for bedre at kunne forklare, hvordan stjernerne og planeterne kan ende i de baner, de har om hinanden.

I dag, hvor der er fundet langt over 4.000 exoplaneter, står det helt klart, at exoplaneter kan kredse rundt om stjerner på en mangfoldighed af uventede måder. Nogle af dem kredser endda modsat stjernens rotation. Den protoplanetari-ske skive af gas og støv, som planeterne blev dannet af, kredsedes sandsynligvis pænt rundt parallelt med den unge stjernes ækvator ved systemets fødsel, så spørgsmålet er, hvad det er for nogle mekanismer, der i dén grad kan ommøblere systemerne.

Banehældning kan skyldes nabostjernen

Når omløbstiden om en planet kendes, er det ligetil også at udregne dens gennemsnitlige afstand til stjernen (den halve storakse) ud fra Keplers 3. lov, givet at man kan estimere stjernens masse.

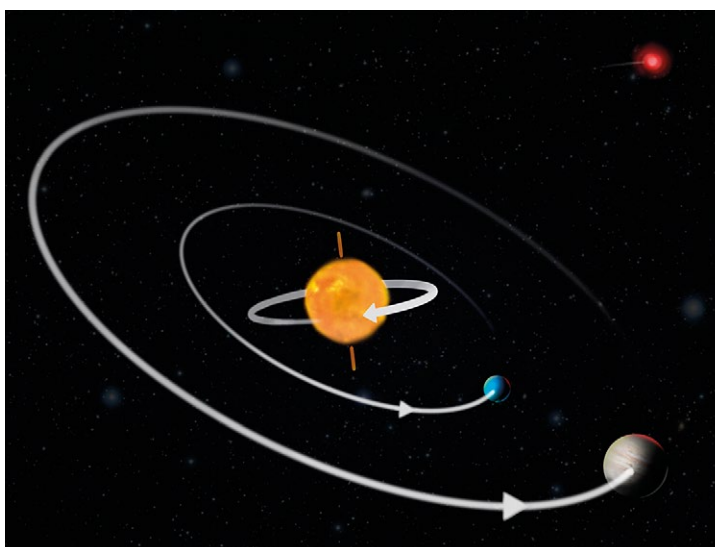
Solsystemet er lidt skævt

I næsten 300 år har vi vidst, at Solsystemet blev dannet ved, at en stor sky af gas og støv kollapsede og begyndte at rotere om sig selv. I 1734 beskrev den svenske naturfilosof Emanuel Swedenborg, hvordan Solen og planeterne opstod af skyen, og senere i 1700-tallet blev modellen udbygget af den tyske filosof Immanuel Kant og særligt den franske matematiker Pierre-Simon Laplace.

Men Solsystemet er ikke så pænt og velordnet, som det burde være ifølge Laplaces beregninger. Det er ikke svært at forestille sig, at kollapset af skyen resulterede i en roterende sol omgivet af en skive af gas og støv, hvor planeterne blev dannet, og nu kredser rundt i cirkler i samme baneplan, som er vinkelret på Solens rotationsakse. Men sådan er det ikke helt. Solens rotationsakse er cirka syv grader fra at være vinkelret på Jordens baneplan, og de andre planeter kredser heller ikke rundt lige ud for Solens ækvator.

Det kræver en forklaring. Har voldsomme begivenheder i den protoplanetari-ske skive tidligt i Solsystemets historie skubbet det skævt, eller skyldes skævvridningen påvirkninger fra en anden stjerne eller måske en endnu ikke opdaget niende planet ude i Solsystemets fjerneste egne?

De fortsatte studier af andre planetsystemer i vores galakse kan gøre astronomerne klogere på, hvordan planetbaner kan skævvrides, og så kan de måske også finde ud af, hvad der sket i Solsystemet.



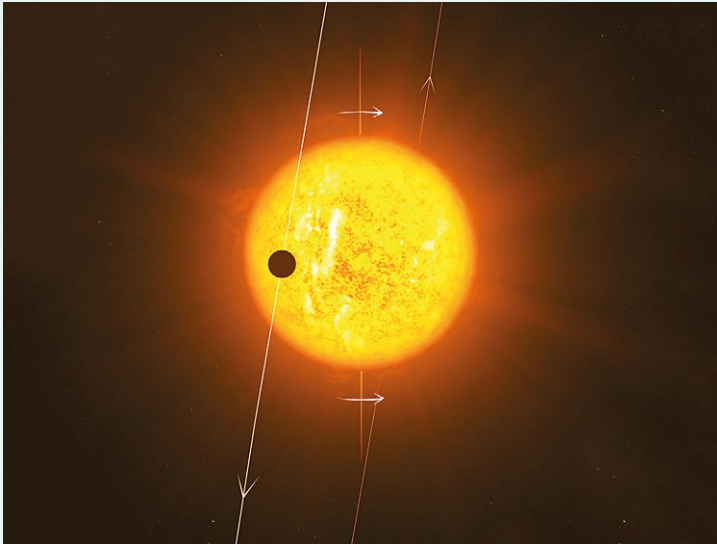
I systemet K2-290 kredser to planeter rundt i den modsatte retning af stjernens rotation. Det skyldes sandsynligvis påvirkningen fra nabostjernen i triplet-systemet.

Men der er andre parametre, der er noget sværere at bedømme, og som også hører med til historien om planetsystemerne. Det er sådan noget som banernes excentricitet, altså hvor langt de elliptiske baner er fra at være perfekte cirkler – jo højere excentricitet, desto mere aflange eller fladtrykte er banerne. Og Simon Albrecht vil også gerne vide mere om den måde, himmellegemernes rotationsakser hælder i forhold til hinanden og det baneplan, de kredser om hinanden

i. Banehældningen kan nemlig fortælle en hel del om, hvordan systemerne opstod, og hvordan de siden har udviklet sig.

Et godt eksempel er systemet K2-290, der blev opdaget ved hjælp af det amerikanske rumteleskop Kepler. I 2019 kunne et internationalt hold astronomer, heriblandt Simon Albrecht og hans to ph.d.-studerende Maria Hjorth og Anders Justesen, rapportere om fundet af to planeter i kredsløb om den største stjerne i

Illustration:
ESO/B. Addison



Sære exoplaneter foretrækker polære baner

De fleste exoplaneter kredser pænt rundt om deres stjerne i samme plan som stjernens ækvator, men nogle af dem har mærkelige baner. De kan for eksempel kredse modsat deres stjerne eller vinkelret på stjernens rotation.

I et af de mange projekter, som Simon Albrechts gruppe var involveret i, undersøgte forskerne netop, hvordan planeter kredser rundt om deres stjerner i forhold til stjernens rotation. Det overraskende resultat var, at der blandt exoplaneter i uventede baner tilsyneladende er en forkærlighed for at kredse rundt i polære baner, altså omtrent vinkelret på stjernens ækvator. Blandt forfatterne til den videnskabelige artikel, der netop er offentliggjort i *Astrophysical Journal Letters*, finder man også Marcus L. Marcussen, som studerede astrofysik, mens han arbejdede på projektet. Han fik et 12-tal for sit speciale i emnet.

Retningen af en planets bane kan afsløres af radialhastigheden – rødforskydning eller blåforskydning – af lyset fra planetens moderstjerne, når planeten passerer ind foran stjernen (dette kaldes Rossiter-McLaughlin-effekten). Det er straks sværere at afgøre vinklen ψ mellem stjernens rotationsakse og kredsløbsakse. Med Rossiter-McLaughlin-effekten kan astronomerne måle den vinkel λ , der set her fra Jorden er mellem stjernens rotationsakse og kredsløbsaksen, men denne projicerede vinkel adskiller sig fra den virkelige vinkel ψ , som er den interessante. Her har astronomerne også brug for at estimere stjernens inklinationsvinkel i og kredsløbets inklination i_0 . Sidstnævnte vil altid være tæt på 90 grader for en planet, der formørker sin stjerne, mens det kræver ekstra målinger af stjernens rotation at komme frem til en værdi for i .

Det lykkedes for 57 systemer, hvor 38 af planeterne kredsedes pænt rundt i nogenlunde samme plan som stjernens ækvator ($\psi < 35^\circ$). Af de resterende systemer havde hele 18 vinkler mellem 80° og 125° , hvilket betyder, at planeten kredser rundt om stjernen i en næsten polær bane.

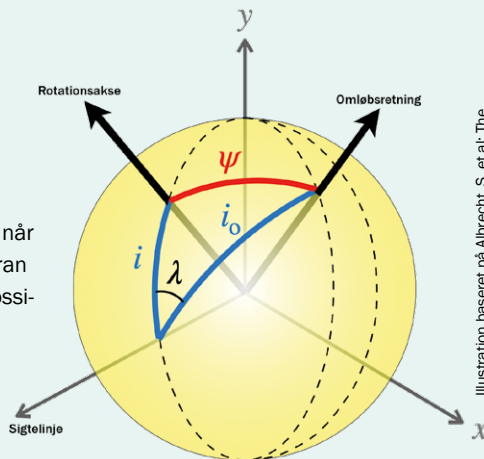


Illustration baseret på Albrecht, S. et al.: The Astrophysical Jour. Letters, Vol. 916, Iss. 1, id.L1

systemet, der består af tre stjerner.

De to planeter – en “mini-Nep-tun” med en radius på tre gange Jordens og en planet på størrelse med Jupiter – blev opdaget, fordi de undervejs i deres kredsløb kommer ind foran stjernen K2-290 A og formørker den en smule. Under stjerneformørkelserne registrerede Kepler en lille nedgang i lysstyrken fra stjernen.

Ved hjælp af følsomme spektrografer på jordbaserede teleskoper kunne forskerne bekræfte planeternes eksistens og estimere deres masse. Med spektrografer er det nemlig muligt at måle stjernens radialhastighed (hastighed imod os eller væk fra os), og så kan astronomerne følge stjernens “rokken” i sin bane om systemets fælles massemidt-punkt – en rokken forårsaget af tyngden fra planeterne.

Med det store teleskop Subaru og målinger fra det europæiske rumteleskop Gaia, der er i fuld gang med at kortlægge Mælkevejen ved at måle position og hastighed for mere end en milliard af Mælkevejens stjerner, kunne astronomerne konstatere, at K2-290 A er en del af et triple-system. Det tæller to røde dværgstjerner henholdsvis 113 og 2467 astronomiske enheder fra hovedstjernen, der er noget større end Solen (en astronomisk enhed er middelfstanden mellem Solen og Jorden).

Sådan et system er spændende nok i sig selv, men ved de opfølgende studier, som Maria Hjorth stod i spidsen for, var der for alvor bonus. I 2021 viste det sig nemlig, at planeterne kredser rundt modsat stjernens rotation.

»Her har vi to planeter, der kredser rundt i samme plan, men i den modsatte retning af deres stjernes rotation. Simuleringer viser, at det må skyldes påvirkninger fra den lille ledsagestjerne K2-290 B, der er cirka 113 astronomiske enheder fra hovedstjernen. Tidligt i systemets historie har ledsagestjernen drejet

den protoplanetariske skive om Kepler K2-290 A, så vinklen mellem stjernens ækvator og planeternes baneplan nu er cirka 124 grader,« fortæller Simon Albrecht og fortsætter:

»Det er første gang, vi med stor sikkerhed kan sige, at en ledsagestjerne har vippet den protoplanetariske skive. En så stor banehældning kan ikke skyldes turbulens eller protoplaneters påvirkning af hinanden i skiven.«

»Det kunne være sket i vores eget solsystem, hvis Solen havde haft en ledsagestjerne i den rette afstand. Så havde vi måske undret os over, at Solen drejede den forkerte vej, og vores teorier for dannelsen af Solsystemet havde været helt anderledes.«

Tidevandskræfter påvirker planetbaner

Exoplaneterne kredser rundt ganske tæt på deres stjerne, så i dette tilfælde er de sandsynligvis dannet længere ude i den protoplanetariske skive og så vandret ind gennem skiven i en proces, hvor de har overført impulsmoment (et mål for bevægelsesmængden om omdrejningsaksen) til skivens gas og støv.

Men der findes også andre måder, som kan få exoplaneter til at komme tættere på stjernen, som man ser det med "hot Jupiters". Det kan være tidevandskræfter, der har været på spil.

»Tidevandskræfter kan gøre mange ting: De kan gøre en bane mere cirkelformet og altså mindre aflang, de kan rette banen ind, så den er vinkelret på stjernens rotation, og de kan føre til bunden rotation, hvor det ene himmellegeme hele tiden vender samme side mod det andet, som vi ser det med Månen, der altid vender samme side mod Jorden,« siger Simon Albrecht.

På grund af tidevandskræfter bevæger Månen sig stille og roligt længere og længere væk fra Jorden med en hastighed af 3,8 cm om året. Tide-

Om forskeren

Simon Albrecht er lektor ved Institut for Fysik og Astronomi på Aarhus Universitet. Her er han tilknyttet Stellar Astrophysics Centre, der er et såkaldt Center of Excellence – et grundforskningscenter, primært finansieret af Danmarks Grundforskningsfond. Centeret ledes af professor Jørgen Christensen-Dalsgaard.

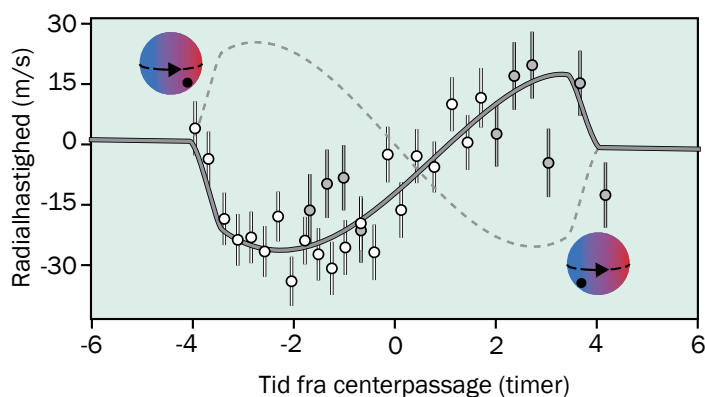
Simon Albrecht kommer fra Tyskland, hvor han har studeret fysik i Hamburg med astronomi og oceanografi som sidefag. Han fik sin master indenfor fasstoffysik, og drog herefter til Leiden i Holland, hvor han lavede sin ph.d., hvori han skiftede sit fokus til astrofysik. Herefter arbejdede han et par år som postdoc ved MIT i USA, før han kom til Aarhus Universitet i 2014.



Foto: AU

Sideløbende med sine studier har Simon Albrecht også uddannet sig til forskningsdykker og har også arbejdet som en sådan for et tysk forskningsinstitut. Privat er han gift og har to børn, der begge er født i Aarhus.

En del af forskningen beskrevet i artiklen er finansieret via en Sapere Aude-bevilling fra Danmarks Frie Forskningsfond, som gives til yngre forskere, der kan sikre dansk forskning i verdensklasse. De latinske ord sapere aude kan oversættes til "vov at vide".



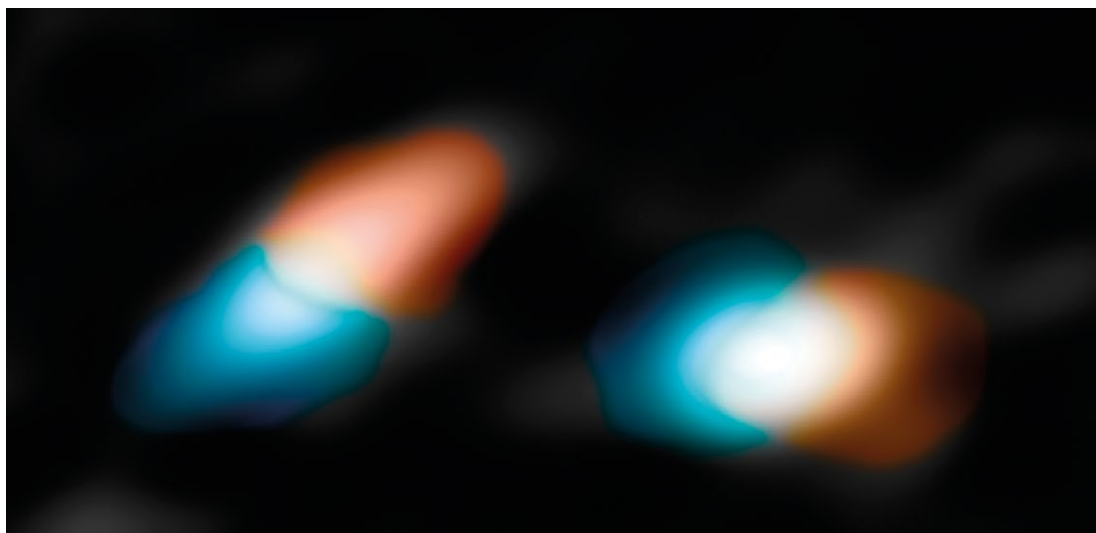
Figur tilpasset fra Hjorth, M., Albrecht, S et al (2021).

Figuren viser spektrografiske data optaget med teleskoper placeret på henholdsvis La Palma og Hawaii (henholdsvis hvide og mørke cirkler), som begge viser den største exoplanet i systemet K2-290 passere ind foran sin moderstjerne.

Planetens bane er modsat stjernens omdrejningsretning, hvilket afsløres af, at man set fra Jorden observerer først en blåforskydning af lyset efterfulgt af rødforskydning, når planeten passerer ind foran stjernen. Det skyldes, at først blokeres det rødforskudte lys og dernæst det blåforskudte. Den fuldt optrukne kurve er bedste fit af data, mens den stiplede kurve viser, hvad man ville have observeret, hvis retningen på planetens bane og stjernens omdrejning var ens.



Med radioteleskopet ALMA har astronomerne fundet ganske unge dobbeltstjerner med protoplanetariske skiver, der ikke flugter med hinanden. Illustrationen viser hastighedsdata for systemet HK Tau optaget med ALMA, hvor røde områder repræsenterer materiale, der bevæger sig væk fra Jorden, mens blå indikerer materiale, der nærmer sig. Illustration: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (IPAC)



Videre læsning

Læs mere om exoplanet-gruppens arbejde på Aarhus Universitet www.phys.au.dk/exoplanets

Hjorth, M., Albrecht, S. et al (2021): A backward-spinning star with two coplanar planets. PNAS Vol. 118 No. 8 e2017418118

vandskræfterne skaber en udbulning på Jorden, og da Jorden roterer hurtigere rundt om sig selv, end Månen bevæger sig rundt om Jorden, kommer bulen "foran" i forhold til Månen. Det fører til, at Jordens rotation bliver bremsset, mens Månen til gengæld fjerner sig en smule fra Jorden, så det samlede impulsmoment for systemet bevares.

Men for de Jupiter-lignende exoplaneter kan tidevandskræfterne i stedet trække planeten tættere på stjernen, idet planeten kredser hurtigere om stjernen, end stjernen roterer om sig selv. Så overføres impulsmoment fra planet til stjerne, og planeten rykker tættere på. Det kan være en del af forklaring på, at astronomerne finder ganske mange "hot Jupiters".

Men hvis tidevandskræfter skal spille en afgørende rolle for en planets bane, skal planeten komme ganske tæt på sin stjerne tidligt i systemets historie. Det kan den gøre, hvis den kredser rundt i en meget aflang bane (dvs. med høj excentricitet), og så er spørgsmålet, hvordan en stor planet skabt i en protoplanetarisk skive kan opnå sådan en bane.

Gaia-teleskopet vil gøre os klogere

Igen er der brug for en ekstra spiller i form af en ledsagestjerne, som kan forstyrre planeters baner. Det

viser sig nemlig, at en skæv planetbane, som kan være resultatet af påvirkninger fra en ledsagestjerne, kan forvandles til en bane med høj excentricitet via en effekt kaldet Kozai-Lidov-mekanismen efter de to astronomer, der beskrev den i starten af 1960'erne.

Kozai-Lidov-mekanismen kan veksle en stor banehældning til en høj excentricitet, og så kan tidevandskræfter gøre arbejdet færdigt og føre til "hot Jupiters". Men det kræver dobbeltstjernesystemer, hvor den ene stjerne omkredses af planeter, og den anden stjerne kredser rundt i en "skæv" bane, der ikke er parallel med planeternes baneplan.

»Som led i Sapere Aude-projektet ville jeg måle, om dobbeltstjerner bane om hinanden er vinkelret på deres rotationsakser eller ej. Jeg ville teste, om forudsætningerne for sådan en påvirkning af planetbanerne generelt er til stede,« siger Simon Albrecht, som kastede sig over en flok dobbeltstjerner sammen den ph.d.-studerende Anders Justesen.

Et tidligere studie havde vist, at tætte dobbeltstjerner adskilt af mindre end 30 astronomiske enheder typisk kredser rundt om hinanden i samme plan som stjernernes ækvator, mens det ikke er tilfældet for dobbeltstjerner

længere fra hinanden. Men det resultat kunne Simon Albrecht og Anders Justesen ikke genfinde. Til gengæld kunne de konkludere, at de nuværende data fra observationer simpelthen ikke er gode nok til at kunne konkludere noget endegyldigt om dobbeltstjerner baneplan i forhold til deres rotationer.

»Vi kom frem til, at konklusionerne fra det tidligere studie ikke holder, og nu ved vi, hvad der skal til for at få mere overbevisende resultater. Vi skal bruge de nye, præcise data om dobbeltstjerner, som rumteleskopet Gaia måler, og som bliver frigivet i løbet af 2022,« siger Simon Albrecht.

Generelt sukker astrofysikerne fra Aarhus Universitet efter nøjagtigt det samme som alle andre astrofysikere verden over: Flere data. De kommer heldigvis, ikke kun fra Gaia, men også fra andre teleskoper som rumteleskopet TESS, som er i fuld gang med at lede efter exoplaneter.

I de kommende år bliver vi en del klogere på, hvorfor nogle exoplaneter ender i mærkelige baner, mens andre kredser rundt om deres stjerne i meget pænere og mere velordnede baner, end vi ser det i Solsystemet. Men den fulde sandhed får vi nok aldrig, for universet bliver ved med at overraske. ■