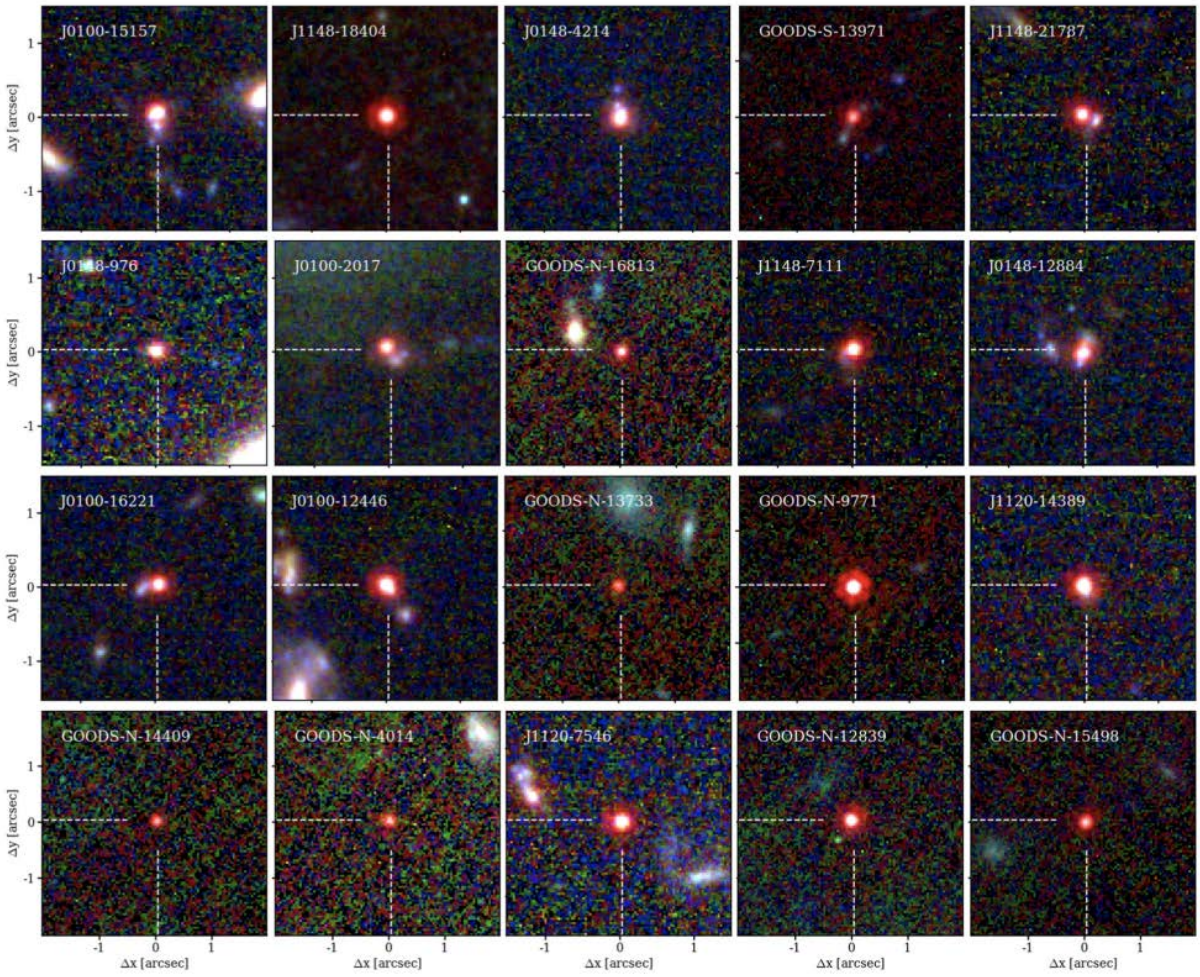
Webb finder en ny klasse af objekter: “Little Red Dots”

Kasper Elm Heintz og Laura Fuglsang, Niels Bohr Institutet

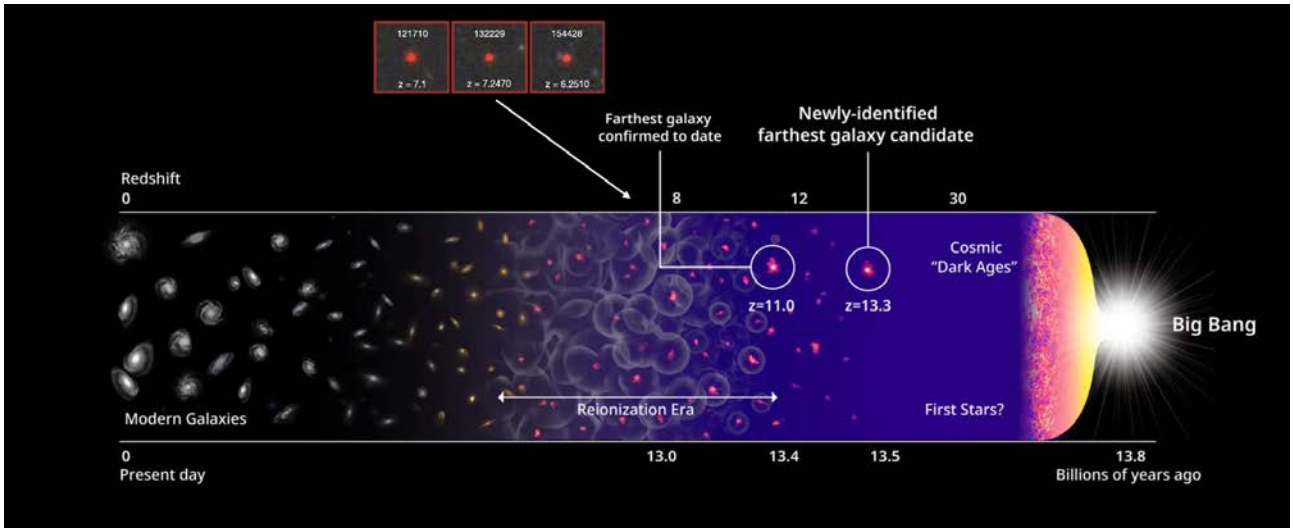
Det nye James Webb Rumteleskop har på mange måder revolutioneret vores forståelse af det tidlige univers. Blot få år efter, at Webb blev opsendt, har vi fundet de til dato fjerneste – og dermed også tidligste – objekter i universet. De dækker over alt fra kæmpe massive galakser med flere milliarder gange Solens masse til supermassive sorte huller. En bestemt klasse af de nye objekter fundet med Webb, kaldet “Little Red Dots” (små røde prikker), har vist sig at være en mystisk størrelse. De er små, lyser mest i det infrarøde (heraf navnet), og med besynderlige egenskaber, der muligvis bryder med vores nuværende kosmologiske model og forståelse af, hvor supermassive sorte huller kan dannes og vokse i det tidlige univers.

Siden opsendelsen af James Webb-rumteleskopet i 2021 har astronomer og rumentusiaster verden over med rette fokuseret deres opmærksomhed mod dette bemærkelsesværdige teleskop. Som et infrarødt rumobservatorium med markant forbedret følsomhed og længere bølgelængdedækning end set tidligere (fx med Hubble-rumteleskopet), sætter det os i stand til at se længere ind i fortiden end nogensinde før. Mange bemærkelsesværdige fund er allerede gjort med James Webbrumteleskopet, såsom: Ekstremt fjerne galakser, der umiddelbart ser ud til at have en masse, der bryder med vores forståelse af strukturdannelse i det tidlige univers; ubegribelige supermassive sorte huller, der måske har haft en mere eksotisk oprindelse end først antaget; detaljerede billeder af de molekylære skyer, hvor stjerner og planeter dannes, samt omhyggelige analyser af exoplanetatmosfærer. Med ny instrumentering kommer oftest nye, uventede opdagelser.

Måske mest besynderligt, fandt forskere i løbet af det første års tid efter Webbs opsendelse en stor mængde af usædvanlige røde prikker – uopløste klare lyskilder kaldet “Little Red Dots” [1]. Vi kendte ikke umiddelbart til andre lignende objekter før Webb, og deres antal tyder på, at vi er begyndt at se en helt ny population af hidtil ukendte, astronomiske objekter. De repræsenterer en



Figur 1. Billeder af nogle af de første Little Red Dots fundet med Webb [1].



Figur 2. Øverst: billeder af 3 "Little Red Dots". Nederst: Illustration af universets historie (Grafik: Harikane m.fl., NASA, ESA og P. Oesch (Yale University)).

særlig type lyskilde, der udsender det meste af dens lys ved infrarøde bølgelængder. Deres talrige tilstedeværelse og tilsyneladende høje masse har vakt astronomernes interesse verden over. De små røde prikker er gådefulde fænomener, og det diskuteres stadig aktivt blandt forskere verden over, hvilken type objekter de er. De mest lovende bud er aktive supermassive sorte huller [2] eller meget kompakte galakser med voldsomt aktiv stjernedannelse (eller noget helt tredje). Hvis deres lys hovedsageligt kommer fra det centrale område omkring supermassive sorte huller, udfordrer de vores eksisterende kosmologiske modeller. Deres masse vil i så fald være langt større end det, vi umiddelbart kan regne ud kan nå at blive samlet indenfor den første milliard år efter Big Bang, hvor de fleste af de små røde prikker er observeret. Disse objekter tyder altså på, at vi mangler en vigtig brik i puslespillet om at forstå, hvornår og hvordan de første stjerner, galakser, og supermassive sorte huller kan være blevet dannet.

JWST ser rødt

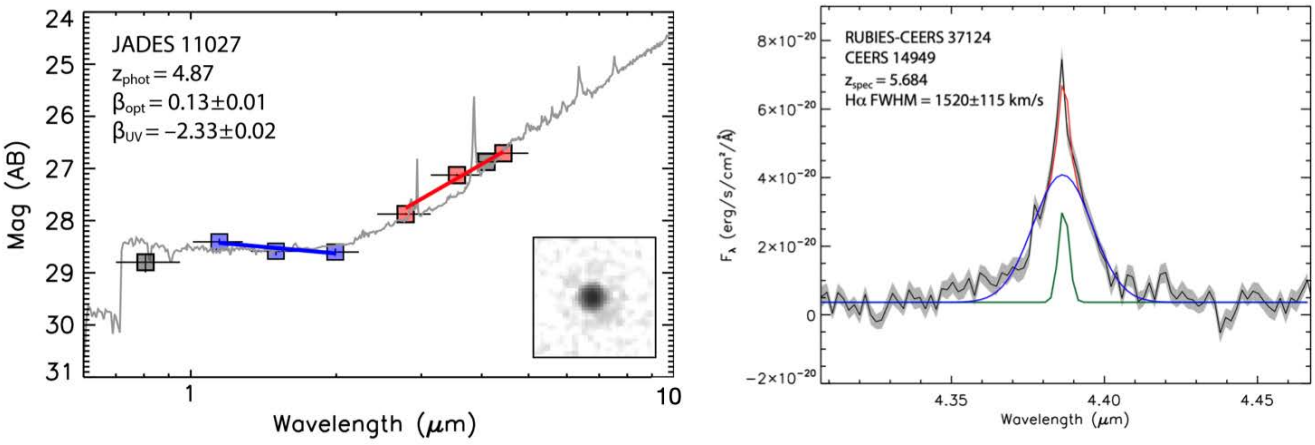
Det, der hovedsageligt adskiller Webb fra fx det tidligere Hubble-rumteleskop, er evnen til at kunne måle infrarødt lys. Instrumenterne ombord på Webb og teleskopet selv er designet netop til at kunne måle de infrarøde bølgelængder, som vi ved hovedsageligt kommer fra to astronomiske fænomener: termisk lys fra molekyleskyer og stjernedannende områder med store mængder kosmisk støv, og fjerne galakser. Når vi kigger ud i universet på stor nok skala, ser vi noget besynderligt. Alle galakser ser ud til at bevæge sig væk fra os. Jo længere væk de er, jo hurtigere bevæger de sig. Det må betyde, at universet som helhed udvider sig. Vi kan da se at bølgelængden af det lys der bliver udsendt bliver "strukket" med universets udvidelse. Dette kalder vi kosmologisk rødforskydning. Jo længere væk de lysende objekter er, jo hurtigere bevæger de sig væk fra os, og jo mere bliver lyset "strukket". Det betyder altså, at ultraviolet lys udsendt fra de første stjerner og galakser ser ud til at være infrarødt, når lyset når ned til os på Jorden. Netop derfor er Webb designet til at se (infra-) rødt.

Egenskaber af de små røde prikker – det vi ved

Som navnet antyder er de Små Røde Prikker, små kompakte punktkilder set i de billeder, vi har taget med Webb. Eftersom de ses som punktkilder, må deres egentlige størrelse være mindre end billedopløsningen af Webb (efter at have taget højde for afstanden til dem). Ved at tage spektroskopiske målinger af en delmængde af disse objekter, kan vi bestemme deres afstand utroligt præcist ud fra de målte *emissionslinjer*. Disse kommer fra specifikke overgange fra forskellige atomer, som vi har målt bølgelængden af i laboratoriet, og derved kan sammenligne med vores observationer for at få et bud på hvor meget, de er blevet "rødforskudt". Det viser sig at langt de fleste Små Røde Prikker har udsendt deres lys for mere end 12–13 mia. år siden, altså inden for de første få mia. år efter Big Bang. Figur 2 illustrerer nogle af de Små Røde Prikker, vi kender, i kontekst af universets historie.

De første spektroskopiske målinger af de Små Røde Prikker, viste også to andre besynderlige egenskaber: Deres spektre er typisk karakteriseret ved en bemærkelsesværdig "V-form", bestående af emission i den blå UV-del af spektret og af et stejlt rødt optisk kontinuum samt utroligt bredde Balmerlinjer. Et sådant spektrum er usædvanligt og ses typisk omkring nære, supermassive sorte huller.

Et stejlt rødt optisk kontinuum er ofte forbundet med en stor mængde støv. Interstellart støv har den egenskab, at det særdeles nemt absorberer UV-stråling. Det vil sige, at objekter med et stejlt rødt optisk kontinuum sjældent har noget signifikant UV-bidrag i spektret. På den anden side er UV-stråling ofte forbundet med stjernedannende områder, og indikerer umiddelbart en mindre mængde støv. Men noget støv må der altså være i disse meget røde objekter, måske specifikt lokaliseret i centret omkring det supermassive sorte hul. Og som man siger: hellere lidt støv i krogene end et rent helvede!



Figur 3. Eksempler på to spektre af Little Red Dots [3]. Til venstre ses den brede energifordeling og "V-formen". Til højre ses H-alfa-emissionslinjen, som både har en bred (blå; AGN) og smal (grøn; galakse) komponent. Lysstyrken er vist på y-aksen, målt i størrelsesklasser på venstre figur og i fluxtæthed på højre figur.

Forekomsten af brede emissionslinjer fra Balmerserien af brint er lige så besynderlig [3]. Brede emissionslinjer er især forbundet med tæt gas omkring aktive sorte huller, såkaldte aktive galaksekerner (AGN). De enorme rotationshastigheder omkring aktive sorte huller forårsager Dopplerforskydning af specifikke emissionslinjer, der vidner om hastigheder på over 2000 km/s.

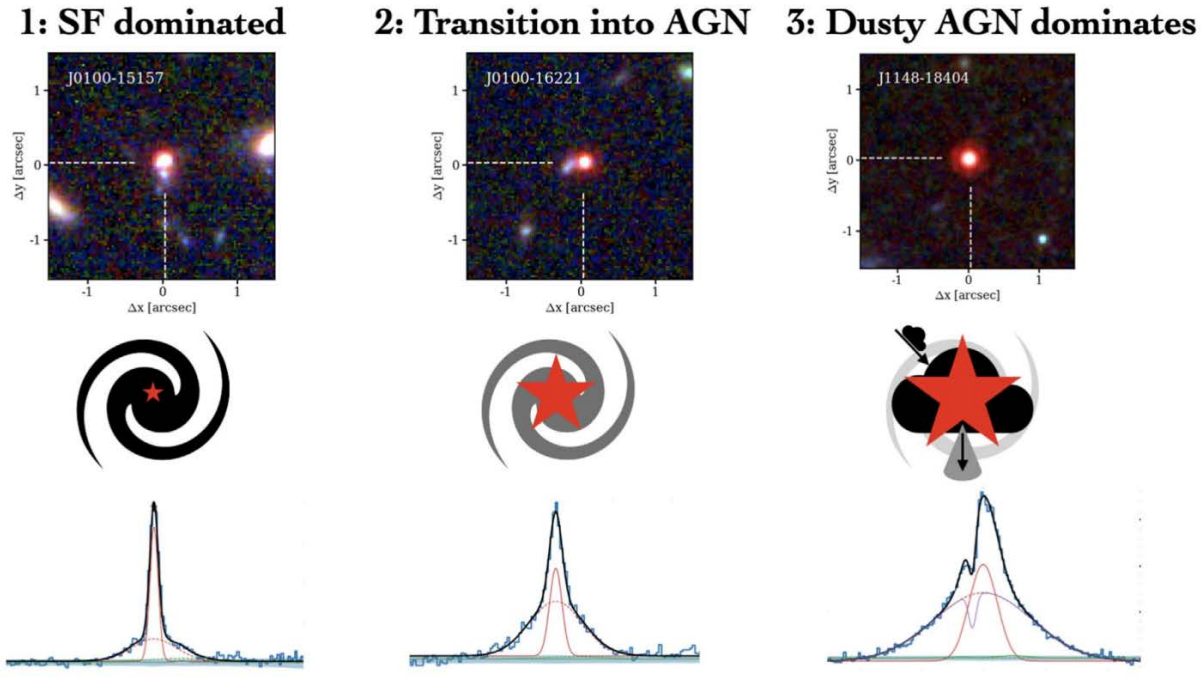
Figur 3 viser spektre af fra to forskellige objekter klassificeret som Små Røde Prikker.

Supermassive (!) sorte huller

Vi kan beregne ud fra simpel Newtonsk dynamik, at for at opnå hastigheder på flere tusinde km/s, må massen af det centrale supermassive være ekstremt. Alt fra én til 100 mio. gange Solens masse er blevet udregnet for de mest ekstreme objekter, men bundet i det sorte hul som kun er ca. 10 gange Solens størrelse. Vores nuværende forståelse af strukturdannelse har utroligt svært ved at kunne få så unge, supermassive sorte huller til at vokse til den størrelse så kort tid efter Big Bang. Der er tre mulige løsninger: Enten bliver supermassive huller dannet langt tidligere end vi først troede muligt (såkaldte primordiale sorte huller, lavet af urstoffet inden der kom stjerner og galakser), eller også er vores nuværende kosmologiske model forkert, eller måske er det slet ikke supermassive sorte huller vi ser.

Fænomenet bag de små røde prikker – unge aktive sorte huller eller kompakte stjernedannende galakser?

Forskere diskuterer stadig, hvad der fysisk kendetegner de Små Røde Prikker. Der er en bred koncensus om, at de må have en høj masse og en del kosmisk støv. Den dominerende teori er, at de Små Røde Prikker repræsen-



Figur 4. Eksempler på mulige fysiske fænomener, der ses i Little Red Dots [1]. Ventre: De stjernedannende områder i værtsgalaksen dominerer lysprofilen (stor, smal emissionskomponent). Midten: Vi ser et større biddrag fra det centrale supermassive sorte hul. Højre: Lyset fra det supermassive sorte hul dominerer nu lysprofilen, og ser ud til at være indlejret i en stor mængde kosmisk støv.

terer et specifikt udviklingsstadie af aktive galaksekerner, der stadig er indhyllet i støv, inden kernen bliver aktiv og kraftig nok til at blæse det omkringliggende materiale væk. Til sidst vil denne centrale, lysende kilde være kraftigere end alle de mia af stjerner i dens værtsgalakse tilsammen, og derved lyse som en lille "blå" prik, som vi har observeret 100 tusinder af på tværs af universet – kvasarer.

Der er dog et problem med denne teori, udover deres umådelige masser. Ingen på nær en enkelt eller to af disse objekter ser ud til at have kraftig røntgenstråling – et andet kendetegn ved aktive galaksekerner. Der er derfor flere forskere [4], blandt andet fra Niels Bohr Institutet, der peger på, at de Små Røde Prikker kan være kompakte stjernedannende galakser med unge stjerner og støv, der opvarmes af intens stjernedannelse. Ligeledes er det heller ikke helt klart, om de brede emissionslinjer nødvendigvis skal komme fra det gas omkring et supermassivt sort hul. En alternativ løsning kan være at det kommer fra gas i det stjernedannende område eller meget unge stjernehobe, som vil have en interessant implikation: vores observationer kan tyde på at vi i virkeligheden ser dannelsen af de første stjernehobe (såsom Omega Centauri i Mælkevejen) for mere end 12 mia. år siden. I realiteten er der sandsynligvis tale om en blanding af flere fænomener. Interessant bliver det at følge afdækningen af dette nye, hidtil ukendte kosmiske fænomen.

Litteratur

[1] J. Matthee m.fl. (2024) "Little Red Dots: An Abundant Population of Faint Active Galactic Nuclei at $z \sim 5$ Revealed by the EIGER and FRESCO JWST Surveys", *The Astrophysical Journal*, bind **963**, side 129.

[2] M. Killi m.fl. (2024) "Deciphering the JWST spectrum of a 'little red dot' at $z \sim 4.53$: An obscured AGN and its star-forming host", *Astronomy & Astrophysics*, bind **691**, side A52.

[3] D.D. Kocevski m.fl. (2024) "The Rise of Faint, Red AGN at $z > 4$: A Sample of Little Red Dots in the JWST Extragalactic Legacy Fields", arXiv:2404.03576 [astro-ph.GA].

[4] J.F.W. Baggen m.fl. (2024) "The Small Sizes and High Implied Densities of "Little Red Dots"with Balmer Breaks Could Explain Their Broad Emission Lines without an Active Galactic Nucleus", *The Astrophysical Journal Letters*, bind **977**, side L13.



Kasper Elm Heintz er astrofysiker fra Niels Bohr Institutet (2016), og ph.d. fra Islands Universitet (2019). Efter et par år some postdoc vendte han tilbage til Danmark i 2022 som adjunkt ved Niels Bohr Institutet. Kasper arbejder som observational astrofysiker, og forsker i dannelsen af de første stjerner og galakser og grundstoffernes kosmiske oprindelse i stjerne-eksplosioner.



Laura Fuglsang er astrofysiker fra Niels Bohr Institutet (2024). Hun er udlært snedker og arbejdede i faget i flere år, hvorefter hendes kreative side førte hende til Kunstakademiet i Wien. I 2018 skiftede hun spor og fordybede sig i astrofysik. Fra juni 2025 vil Laura arbejde ved det Nordiske Optiske Teleskop på La Palma, hvor hun vil beskæftige sig med observationel astrofysik og instrumentering.