

Mõnda James Webbi kosmoseteleskoobi senisest käekäigust

Kalju Annuk

Meie juubelikalendri trükkimineku ajaks oli James Webbi teleskoobiga (JWST) vaatlusi tehtud ligemale poolteist aastat. Meenutame, et JWST lahkus Maalt 2021. aasta 1. jõulupühäl ja ligemale kuuajalise lennu järel jõudis Lagrange'i teise (L2) punkti (täpsemalt selle ümbrusesse), kus ta paikneb ka praegu. Esimesed vaatlused tehti teleskoobiga 2022. aasta juuli algul. Järgnevas püüame anda väikse ülevaate sellest, kuidas JWST-ga vaatlused toimuvad, mida on senimaani huvitavat saadud ja mida lähiajal kavatakse vaadelda.

Vaatlemisest JWST-ga

Kõikide suuremate teleskoopide puhul tuleb vaatlusaja saamiseks esitada vastavad taotlusprogrammid. Sama kehtib ka JWST kohta. Taotlusprogrammides tuleb põhjalikult ära kirjeldada, mida tahetakse vaadelda, millise aparatuuriga ja millisel ajal. Tavaliselt vaadatakse esitatud taotlused läbi anonüümsed retsensendid või ka vastavad komisjonid ja annavad oma hinnangu programmi sobivuse kohta. Kui hinnang on positiivne, siis läheb programm vaatluste teostamise graafikusse. Maapealsete teleskoopide puhul võib sageli vaatlusilmastiku olude tõttu ka täitmata jääda. Kosmoseteleskoopide puhul õnneks sellist faktorit ei ole.

Juba James Webbi teleskoobi kavandamisel ja projekteerimisel võeti aluseks, et temaga saaks vaadelda võimalikult palju erinevaid astronoomilisi objekte. Üheks selliseks eelduseks on peale teleskoobi enda ka vastava vaatlusaparatuuri olemasolu. Naljaga pooleks, aga mõnikord on Webbi teleskoobi kohta öeldud, et ta on nagu šveitsi nuga – väga universaalne ja multifunktsionaalne. Ja tõepoolest, kuigi JWST on varustatud nelja vaatlusinstrumendiga (nendest on mõnevõrra lähemalt juttu meie eelmise aasta Tähetorni Kalendris), on iga vaatlusinstrument võimeline töötama mitmes erinevas režiimis. Kokku on nelja instrumendi peale 17 režiimi. Arvestades, et teleskoop pakub nii palju erinevaid võimalusi vaatlusteks, siis paljude taotluste puhul ongi soovitud kasutada ka mitut režiimi. JWST võimaldab teha ka nõ paralleelvaatlusi, s.t et samaaegselt saab ühte ja sama objekti vaadelda kahes erinevas režiimis. Paralleelvaatlusteks võib aega küsida kas ühe ja sama taotluse sees või ka kahe erineva taotlusega. Lisaks võimaldatakse esitada veel selliseid taotlusi, kus samaaegselt vaadeldakse JWST-ga ja näiteks Hubble'i kosmoseteleskoobiga või mõne suure maapealse teleskoobiga. Väga üldistavalt võib aga öelda, et Webbi teleskoop töötab kahes moodis: nii pildistamise kui spektroskoopia moodis.

Kõiki vaatlusi JWST-ga koordineerib ja viib läbi Kosmoseteleskoobi Teadusinstituut (STScI). JWST vaatlusprogrammid on jaotatud aastaste tsüklite peale. Kuna JWST alustas reaalseid vaatlusi 2022. aasta juuli algul, siis sellest ajahetkest algas ka esimene vaatlustsükkel, mis kestis 2023. aasta juuni lõpuni. Siit edasi lähevadki

tsükliid juulikuu algusest kuni järgmise aasta juunikuu lõpuni. Seega praegu on käsil teine vaatlustsükkel. Taotlused iga järgneva tsükli jaoks tuleb esitada varakult ja see esitamise tähtaeg määratakse kindlaks STScI poolt.

Vaatlusaja taotlused on jagatud mitmesse erinevasse kategooriasse.

- Üldised vaatlejaprogrammid – **GO** (*General Observers programs*).
- Garanteeritud aja vaatlusprogrammid – **GTO** (*Guaranteed Time Observations Programs*).
- Direktori kaalutlusaeg – **DDT** (*Director's Discretionary Time*).
- Kalibreerimisprogrammid.

Kõige üldisem ja ulatuslikum on **GO** kategooria. Selle kategooria alla kuuluvad tavaliselt kõik esmased taotlused ja edaspidi ka need, mis ei nõua vaatlusteks eritingimusi. GO taotlused vaatlusaja järgi on jagatud kolme gruppi:

- **väikesed:** ajaline kestvus väiksem kui 25 tundi,
- **keskmised:** ajaline kestvus 25 kuni 75 tundi,
- **suured:** ajaline kestvus rohkem kui 75 tundi.

GTO taotluste alla kuuluvad sellised vaatlusprogrammid, mida saavad esitada ainult teadlased, kes aitavad välja töötada vaatlusinstrumente ja tarkvaraprogramme. GTO taotlused hõlmavad ainult kolme esimest vaatlustsükli ja praeguseks ajaks on need ka juba kinnitatud ning uusi juurde esitada ei saa. Ajaliselt hõlmab see kategooria esimese kolme tsükli peale kokku umbes 16%.

DDT kategooria alla kuuluvad need vaatlusprogrammid, mis enamasti on seotud mingite uute avastustega ja nõuavad kiiret vaatlust mõnede JWST instrumentidega. Siin on sageli tegu äsja avastatud supernoovadega ja nende vaatlustega.

Kalibreerimisprogrammide eesmärk on süstemaatiliselt jälgida vaatlusinstrumentide ja teleskoobi gideerimissüsteemi seisundit ning nende ajalist muutumist. Kalibreerimisega tegeleb JWST juhtimiskeskuse meeskond ise ka pidevalt, kuid kõiki ei jõua nad nii palju teha kui vaja ja seepärast antakse võimalus kalibreerimisi läbi viia ka teistel asjast huvitatutel.

Vaadeldavate objektide ja uurimisvaldkondade järgi on programmid jagatud kaheksasse erinevasse gruppi. Nendeks on:

- Eksoplaneedid ja nende moodustumine
- Galaktikad
- Galaktikavaheline keskkond
- Universumi suuremastaabiline struktuur
- Päikesesüsteem
- Tähed ja tähtede füüsika
- Tähepopulatsioonid ja tähtedevaheline keskkond
- Supermassiivsed mustad augud ja aktiivsed galaktikad

Taotluste tegemisel ja vaatluste läbiviimisel tuleb arvestada mõningate JWST omapäradega. Nimelt on teleskoop võimeline korraga nägema ainult 39% taevast. Peamiselt on see tingitud sellest, et teleskoobi päikesevari peab alati olema orienteeritud Päikese, Maa ja Kuu poole. Umbes poole aasta jooksul on teleskoop võimeline nägema ikkagi peaaegu kogu taevafääri. Vaatlusplaani kokkupanekul tuleb arvestada ka asjaoluga, et väga andmemahukaid vaatlusi ei tohi järjestikku teha. Teleskoobi vaatlusandmete salvestusseadmed mahutavad korraga ainult kuni 65 gigabaiti ning andmete Maa peale allalaadimine toimub iga 12 tunni tagant. Allalaetud andmed salvestatakse nn Mikulski (MAST) andmebaasi, kust need on

tavapärast aastatavast jooksul kättesaadavad ainult vastava programmi omanikele. Pärast seda aega lastakse andmed vabaks ja need on kasutatavad kõigil asjast huvitatutel. Esimese tsükli puhul tehti siiski ka erand, kus osa andmeid anti kohe vabaks, et saaks põhjalikumalt kontrollida vaatlusaparatuuri töökindlust ja võimekust.

Kui maapealsete teleskoopidega vaatlemine toimub enamasti nõ reaalajas, kus vaatleja või teleskoobi operaator teostab nii telekoobi suunamist uuritavale objektile kui aparatuuri seadistamist vahetult, siis JWST puhul see nii ei ole. Siin toimub vaatlusgraafikute kokkupanek nädalate kaupa. Iga nädalane vaatlusgraafik sisaldab üksikasjalikku infot, milliseid objekte vaadelda, millise aparatuuriga ja milliste seadetega ning kõike muud vaatluseks vajalikku. Graafik pannakse kokku täpselt ajalises järjestuses, mida millalgi teha ja millega. Graafiku koostamisel püütakse arvestada, et vaadeldavad objektid paikneksid võimalikult lähedastikku, et teleskoobi ümberpositsioneerimisele kuluks võimalikult vähe energiat. Lisaks programmipõhiste objektide vaatlusele on igas graafikus ka mitmed vaatlusaparatuuri kalibreerimised ja testid. Alati jäetakse graafikusse ka reservaega, et kui kõik minutipealt ei toimi, siis saab üht-teist ümber „mängida“. Mõned päevad enne järgmise nädala vaatlusi tehakse graafikud avalikuks ja need on internetis vabalt kättesaadavad.

Kogu selline nädalane vaatlusgraafik pannakse detailselt kokku vastavas skripti ning saadetakse seejärel teleskoobile. Skript sisaldab konkreetseid käsked, mida teleskoop ja vaatlusaparatuur tegema peab. Kui mingi tegevus mingil ettearvamatul põhjusel ei toimi, siis võetakse ette järgmine tegevus. Juhul kui aga toimub põhjalikum tõrge käskude täitmisel, siis edasine tegevus juba katkestatakse ja teleskoop jäetakse ooterežiimi. Järgnevalt peab juhtimiskeskuses olev meeskond selgusele jõudma, mis tõrke põhjustas ja kuidas seda kõrvaldada. Siin võib meenutada, et kui Hubble'i kosmoseteleskoobi puhul oli võimalik kohale minna (seda tehti 5 korral) ja kas midagi remontida või asendada, siis JWST puhul seda võimalust ei ole (teleskoop paikneb ju ligikaudu 1,5 miljoni kilomeetri kaugusel). Seega tuleb tegutseda nõ kaugjuhtimise teel.

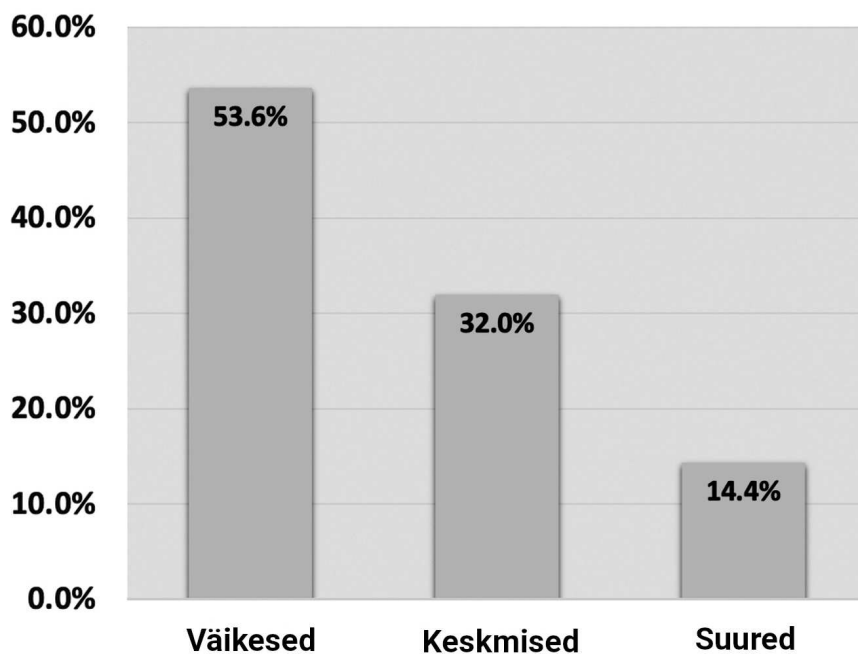
Kuna esimene vaatlustsükkel on lõppenud ja teise vaatlustsükli kõik vastuvõetud programmid on kinnitatud, siis saame siin anda mõningase ülevaate kahe esimese tsükli programmide kohta.

Statistikat esimese vaatlustsükli kohta

Taotluste esitamise tähtaeg esimese tsükli jaoks oli 20. november 2020. Õigeaegselt esitati **GO** kategooria all kokku 1173 taotlust. Summaarne soovitud vaatlusaeg nende kõigi taotluste peale kokku oli ligikaudu 24 500 tundi. Arvestades, et realselt oli vaatluste jaoks võimalik eraldada ainult kuni 6000 tundi, siis nõudlus oli üle 4 korra suurem.

Joonisel 1 on toodud esimese tsükli taotletud **GO** programmide vaatlusaja jaotus gruppide kaupa. Siin on näha, et väikeseid programme oli veidi üle poole ja keskmisi umbes kolmandik. Peaaegu 300 taotluse puhul sooviti vaatlusaega vähem kui 11 tundi, samas aga 18 taotluse puhul rohkem kui 100 tundi. 1173 taotlust oli esitatud 932 põhiuurija (Principal Investigator – PI) poolt, mis tähendab, et mõni oli esitanud ka mitu taotlust. Üldiselt on iga taotluse puhul kaasatud mitu astronoomi. Nii oli esimese tsükli taotluste puhul kokku kaasatud 4332 astronoomi 44 riigist.

Taotluste läbivaatamine ja hindamine toimus veebruaris-märtsis 2021. Selleks oli kokku pandud 18 paneeli. Väikeseid ja keskmisi taotlusi hindasid komiteed,



Joonis 1. Esimese tsükli taotletud GO programmide ajaline jaotus gruppide järgi.

suuri aga JWST täitevkomitee (Executive Committee). Vaatluskõlbulikeks tunnistasid 286 taotlust. Veidi üle poolte programmidest hõlmasid galaktikad ja eksoplaneedid: galaktikad 75 ja eksoplaneedid 70. Kõige vähem said aga Universumi suuremastaabiline struktuur ja galaktikatevaheline keskkond, vastavalt 9 ning 3. Siin tasub märkimist, et Euroopast esitatud taotlustest sai heakskiidu 33% taotlustest (89 taotlust) ja 30% eraldatud tundidest (1786 tundi). Euroopa riikidest olid kõige edukamad Inglismaa (22 taotlust) ja Saksamaa (14 taotlust). Paraku ei olnud siin ei Eestit ega ka Soomet.

Kui vaadata, millised vaatlusriistad kõige rohkem aega said, siis esikohal oli NIRSPEC (40,8%), järgnesid MIRI (28,1%), NIRCAM (24,4%) ja NIRISS (6,7%). Seega ligikaudu 70% vaatlusajast oli hõivatud spektroskoopiliste vaatlustega.

Statistikat teise ja kolmanda vaatlustsükli kohta

Teise tsükli GO taotlusi esitati seekord rohkem kui 1600 ja konkurents oli märksa suurem kui esimese tsükli puhul. Esitatud taotluste koostamisel osales enam kui 5450 astronoomi 52 erinevast riigist. Kõlbulikuks tunnistasid ainult 259 taotlust. Küsitud vaatlusaeg ületas seekord 35 000 tunni piiri, mida oli oma 7 korda rohkem kui realselt vaatlusteks võimaldati (vaatlusaega nende programmide jaoks kokku anti 5000 tundi). Ajaline jaotus kestvuse järgi oli järgmine: väikesed 2350 (47%), keskmised 1750 (35%) ja suured 900 (18%) tundi. Kui võrrelda seda jaotust esimese tsükliga (vt joonis 1), siis proportsioonid olid enamvähem samad. Mõnevõrra oli vähenenud väikeste programmide osakaal ja suurenenud suurte programmide osakaal. Nii nagu esimese tsükli puhul, nii oli ka teise tsükli puhul, et poole hõi-

vasid eksoplaneetide (67) ja galaktikate (61) programmid. Vaeslapse ossa jäid taas Universumi suuremastaabiline struktuur (6) ja galaktikatevaheline keskkond (6).

Kolmanda tsükli (1. juuli 2024 kuni 30. juuni 2025) taotluste esitamise tähtaeg oli 25. oktoober 2023. Meie kalendri trükkimineku ajaks ei olnud veel avalikustatud, kui palju taotlusi esitati ja millistes kategooriates. Kolmanda tsükli taotluste hindamine toimub ajavahemikul 29. jaanuar kuni 8. veebruar 2024.

Milline on hetkel JWST „tervislik“ seisund?

Nii nagu meil kõigil võib aeg-ajalt oma tervisega väiksemaid või suuremaid probleeme tekkida, nii on ka kõigi tehniliste seadmetega. Olgu nendeks kas arvutid, autod, igasugused kodumasinad jne ning olgu see tehnoloogia kuitahes kõrgetasemeline, siis 100% töökindlust ei suudeta kunagi tagada. Sama lugu on ka teleskoopidega. Kuigi tänapäeva teleskoobid on tipptehnoloogilised, siis mingil hetkel võib mõnes kohas ikkagi tõrkeid tekkida.

Kosmoseteleskoopide puhul võivad nende toimimist ja seisundit mõjutada kas välised tegurid või siis nõ sisemised. Välisest teguritest kujutavad kõige suuremat ohtu mikrometeoroidide tabamused teleskoobi ja eriti tema peegli pihta.

Kui sageli on meil ettekujutus, et kosmos on peale tähtede, planeetide ja muude suuremate taevakehade enamvähem tühi, siis tegelikult on seal väga palju ka üsnagi väikseid osakesi, mis võivad põhjustada kosmosesse saadetud satelliitidega või teleskoopidega kokkupõrkumisel päris tõsiseid kahjustusi. Ühed sellised osakesed on mikrometeoroidid. Termin mikrometeoroid võeti IAU poolt ametlikult kasutusele alles aastal 2017. Mida nad siis endast kujutavad? Mikrometeoroidid on üliväikesed kivi või metalli osakesed. Nende läbimõõdud on väiksemad kui meile hästi teadaolevad liivaterad ja massid väiksemad kui gramm. Kuidas siis saavad nii tillukesed osakesed tõsiseid kahjustusi tekitada? Vastus peitub mikrometeoroidide liikumiskiiruses. Keskmiselt liiguvad nad kiirusega suurusjärgus 10 km/s, kuid mõnikord võivad kiirused ka mitmeid kordi suuremad olla. Löögi tugevus on aga määratud osakese massiga ja kiirusega. Mida suurem on mass ja kiirus, seda suurem on ka löögi tugevus. Igapäevasest elust on meile ju väga hästi teada, et kui vaigse ilmaga lumehelbed langevad, siis maapinnale jõudes ei tee nad midagi kurja. Kui aga korraliku tuule ja tormiga raheterad tulevad, siis võivad nad juba üht-teist tõsiselt korda saata.

Mikrometeoroididega võimalikke kokkupõrkumisi oli ennustatud juba enne teleskoobi ülessaatmist. Senise teleskoobi kosmoses oleku aja jooksul on fikseeritud mõne mikrometeoroidi tabamus teleskoobi peegli pihta keskmiselt iga paari nädala tagant. Üldiselt on need üsnagi väikese mõjuga ja ei ole vaatlustulemusi eriti mõjutanud. Koostatud on ka mõned arvutiprogrammid, mis püüavad nende löökide mõjusid vähendada. Juhul kui peegli pihta tuleb tugevam löök, siis see juba tekitab sellist kahjustust, mida ei ole võimalik likvideerida. Nii juhtus juba enne, kui teleskoop oli vaatlustega alustanud. Nimelt tabas ajavahemikus 23. kuni 25. mai 2022 ühte peapeegli segmenti üks mikrometeoroid, mis jättis sinna juba päris märgatava jälje. Õnneks see löök aga teleskoobi üldisesse toimimisse midagi olulist ei põhjustanud. Kui võrrelda James Webbi teleskoopi ja Hubble'i teleskoopi, siis Hubble'i puhul on peegel toru sees ja selliste mikrometeoroidide löökide suhtes üsnagi kaitstud, kuid Webbi puhul on asi teisiti. Siin on kogu peegel avatud ja kergesti haavatav.

Üht-teist on siiski ka vaatlusaparatuuri töös juhtunud.

- 24. augustil 2022 tekkis ühes mehhanismis, mis on seotud töötamisega keskmise lahutusega moodis (MRS), liiga suur hõõrdumine. Seejärel katkestati MRS moodis plaanilised vaatlused ja hakati põhjuseid uurima. Selgus, et põhjuseks on teatud tingimustel ilmnenu liiga suur kontaktjõud filtreid pöörava ratta laagris. 12. novembril jätkati MRS moodis vaatlusi, kuid edaspidi jälgitakse hoolikalt selle mehhanismi toimist ja püütakse leida lahendusi, kuidas MRS moodis vaatlusi normaalkujul teostada.
- 21. aprillil 2023 teatati, et MIRI keskmise eraldusvõimega spektroskoopia (MRS) puhul on detektorite tundlikkus veidi vähenenud. Järgnevate kuude jooksul tehtud testid ja vaatlused on näidanud, et see kadu eksponentsiaalselt suureneb ja kõige rohkem ilmneb lainepikkustel, mis on pikemad kui 25 μm . Nüüdseks on kadu jõudnud juba 50%-ni. Lisaks MRS režiimis esinevale kaole, on analoogne tendents ka pildistamise režiimis, kuid oluliselt väiksemal määral. Põhimõtteliselt midagi fataalset ei ole kaasnenu, kuid edaspidi tuleb arvestada, et selliste vaatluste puhul peavad säriajad olema pikemad ja MIRI meeskond jälgib pidevalt olukorda ning püüab kindlaks teha põhjused.

Õnneks senini suuremaid ja tõsisemaid häireid nii teleskoobi kui vaatlusaparatuuri töös ei ole esinenud ja loodame, et nii läheb see ka edaspidi. Kui esialgu teleskoobi projekteerimist ja ehitamist alustati, siis oli eesmärk, et teleskoop peaks töötama vähemalt 5 aastat. Pärast edukat kosmosesse saatmist ja esimeste vaatluste tegemist pikendati seda aega juba 10 aasta peale. Nüüd kui teleskoop on peaaegu kaks aastat kosmoses olnud ja poolteist aastat vaatlusi teinud, siis ollakse veelgi optimistlikumad ja prognoositakse, et me võime JWST teenuseid veel kuni 20 aastat kasutada. Siinkohal tasuks ka märkida, et Hubble'i kosmoseteleskoop on oma kavandatud tööea praeguseks ajaks kõvasti ületanud, ta on töötanud juba rohkem kui 33 aastat!

JWST senistest vaatlustulemustest

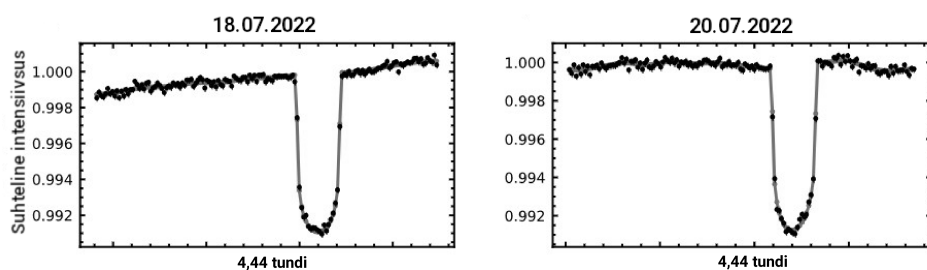
Nüüd vast oleme oma jutuga jõudnud nõ kõige põnevama osa juurde ning küsimegi, et mida uut ja huvitavat on Webb meile selle enam-vähem pooleteise aastase vaatlusperioodi jooksul andnud. Nagu juba algul märgitud, et JWST on ette nähtud väga erinevate taevaobjektide vaatlemiseks, siis ka senised vaatlustulemused on andnud uusi teadmisi erinevate astronoomiliste valdkondade kohta. Kui nüüd aus olla, siis väga raske ongi midagi kohe eriliselt esiplaanile tuua, sest peaaegu kõik vaatlused on meile midagi uut toonud.

Alustada võiks siiski ikkagi vaatlustest, mis on seotud eksoplaneetidega (eksoplaneetide kohta vaata meie käesolevas kalendris Laurits Leedjärve väga põhjalikku ülevaadet). Eksoplaneetide avastamine ja uurimine on tänapäeva astronoomia üks nõ popimaid ja aktuaalsemaid temaatikaid. JWST teleskoobi kavandamisel ja ehitamisel oli ka eksoplaneetide programm ühel olulisemal kohal. Siin võib veidi spekuloida, et miks just nii, kuid selle taga võib näha ka võibolla mõningast inimlikku kavalust. Inimkonda on ikkagi läbi aegade huvitanud küsimus, et kas Universumi mõnes teises nurgakeses võiks ka midagi elu taolist olla. Ja kui sellise suure projekti, nagu seda on Webbi teleskoop, külge siduda elu otsimise võimalus, siis vast olid ka rahastajad veidi heldemad (!?).

Eksoplaneedid

Viimase aja üks põnevamaid ja intrigeerivamaid eksoplaneetide süsteeme on nimetusega TRAPPIST-1. Nimi TRAPPIST („*Transiting Planets and Planetesimals Small Telescope*“) tähistab kahte maapealset teleskoopi, mille ülesanne on avastada eksoplaneete varjutuste meetodil. Üks teleskoop paikneb ESO La Silla lõunabaasis (TRAPPIST-South) ja teine Marokos (TRAPPIST-North). TRAPPIST-1 oli esimene eksoplaneetide süsteem, mille TRAPPIST avastas 2016. aastal. See süsteem on huvitav selle poolest, et ümber ematahe tiirleb 7 planeeti (vt joonis 2), mis on oma suuruste poolest võrreldavad meie Maaga. Kolm planeeti tähistustega e, f ja g asuvad nn elamiskõlblikus tsoonis, kus ei ole liiga kuum ega liiga külm, et vesi võiks olla vedelas olekus. TRAPPIST-1 emataheks on punane kääbus ja tema läbimõõt on umbes 12% Päikese läbimõõdust ning mass 9% Päikese massist. Asetseb meile ka üsnagi lähedal – ainult 40 valgusaasta kaugusel Veevalaja tähtkujus. TRAPPIST-1 uurimise olulisust näitab kasvõi seegi, et Webbi teleskoobi vaatluste esimeses tsükli oli heaks kiidetud tervelt kolm taotlust ja teises tsükli üks.

Üks astronoomide grupp, keda juhtis Olivia Lim Montreali Ülikoolist, oli oma uurimuses (programm GO-2589) keskendunud ematahele kõige lähemale planeedile – TRAPPIST-1 b. Eesmärk oli kindlaks teha, kas planeet omab mingisugust atmosfääri. Vaatlusteks kasutati JWST instrumenti NIRISS (lähedane infrapunane pildistaja ja piluvaba spektrograaf), mis ongi sobilik eksoplaneetide atmosfääride kindlakstegemiseks ja uurimiseks. Vaatlused toimusid kahel päeval (18. ja 20. juulil 2022) ning ajastatud olid nn sekundaarvarjutuste ajale, s.o ajamomendid, kui uuritav planeet läheb ematahe taha. Kummalgi päeval oli vaatlusaja kestvus 4,44 tundi ning varjutuse kestvus 36,06 minutit. Joonisel 3 on näitena toodud lairiba (0,6 – 2,8 μm) heleduskõverad, mis annavad mõningast aimu ka Webbi teleskoobi üliheast mõõtmistäpsusest. Saadud spektrite võrdlus mitmete atmosfäärimudelitega ei viidanud aga planeedil TRAPPIST-1 b laiaulatusliku atmosfääri olemasolule, kuigi mingi väga õhuke atmosfäär võib siiski olla. Uurimise tulemused avaldati 22. septembril 2023 ajakirjas *The Astrophysical Journal Letters*, Vol 955.



Joonis 3. TRAPPIST-1 b lairiba (0,6 – 2,8 μm) heleduskõverad kahel kuupäeval.

Teine uurimisrühm, keda juhtis Laura Kreidberg Heidelbergi Max-Plancki Astronoomiainstituudist, vaatles (programm GO-2304) järgmist planeeti – TRAPPIST-1 c. Kõigi eelduste järgi võiks see planeet olla üsna sarnane meie Päikesesüsteemi Veenusega. Vaatlusteks kasutati MIRI pildistamise režiimi lainepikkusel 15 μm ja vaatlusi tehti neljal erineval kuupäeval: 27. ja 30. oktoobril ning 6. ja 30. novembril 2022. Vaatlusajad olid valitud samuti sekundaarvarjutuste ajale. Iga vaatlusessioon kestis umbes 192 minutit, mille sees oli 42 minutiline varjutus.

Vaatluste analüüs paraku näitas, et TRAPPIST-1c on kas ilma atmosfäärita või tal esineb väga õhuke CO₂ atmosfäär. Uurimisrühma töö tulemused avaldati 24. augustil 2023 ajakirjas *Nature*, Vol 620.

Seega ematahele kaks lähimat planeeti tõenäoliselt ikkagi atmosfääre ei oma, kuid hoolimata sellest loodetakse lähiajal teha veel täiendavaid vaatlusi. Kuna TRAPPIST-1 on eksoplaneetide uurijate hulgas üks huvitavamaid, siis tema teised planeedid ootavad ka JWST vaatlusi.

Kui TRAPPIST-1 ümber tiirlevate planeetide puhul pole veel atmosfääre leitud, siis mitmete märksa massiivsemate ja kuumemate tähtede planeetide atmosfääre on õnnestunud kindlaks teha. Üks selliseid on näiteks WASP-96 b, umbes kaks korda väiksema massiga kui Jupiter, kuid 1,2 korda suurema läbimõõduga. Vaatlusi teostati mitme uurimisgrupi poolt 2022. aasta juunis ja juulis kasutades kolme teleskoobi instrumenti (NIRISS, NIRCам ja NIRSpec). Need vaatlused olid ka ühed esimesed Webbi teleskoobi eksoplaneetide vaatlused. Vaatlusandmete analüüs näitas, et WASP-96 b atmosfäär sisaldab mitmeid keemilisi elemente ja ühendeid – vääveldioksiidi (SO₂), süsinikdioksiidi (CO₂), kaaliumi (K), veeauru (H₂O). Valminud on terve rida teadusartikleid, millest suur osa on avaldatud ajakirjas *Nature*.

Süsinikdioksiidi ja metaani olemasolu on leitud näiteks eksoplaneedi K2-18 b atmosfääris (vt Laurits Leedjärve artiklit lk 98).

Eksoplaneetide kohta võib tuua mitmeid uusi avastusi ja neid tuleb iga päevaga üha juurde. Üheks näiteks on eksoplaneet VHS 1256 b, mis on Jupiterist rohkem kui 10 korda suurem (nn super-Jupiter). Webbi vaatlused instrumentidega MIRI ja NIRSpec tegid kindlaks, et planeedi atmosfääris on süsinikmonooksiidi (CO) ja metaani ning atmosfääris möllavad võimsad tolmutormid, mida varemalt ei ole veel ühegi eksoplaneedi puhul täheldatud.

Teiseks huvitavaks näiteks on eksoplaneet nimega WASP-18 b. See on samuti nn super-Jupiter (mass umbkaudu 10 Jupiteri massi) ja paikneb ligemale 400 valgusaasta kaugusel. Oma ematahest on ta aga ainult ~3,1 miljoni kilomeetri kaugusel (võrdluseks meie Päikesesüsteemi Päikesele lähima planeedi Merkuuri kaugus on 63,4 miljonit kilomeetrit) ja seetõttu on ta ka nõ lukustatud olekus (üks planeedi külg on alati ematahe poole pööratud). Oma asendi tõttu on planeedi tingimused üsnagi ekstremaalsed. Webbi vaatluste põhjal leiti, et ematahe poole pööratud küljel ulatub temperatuur 2700° C, teine külg on aga ~1100 kraadi jahedam. Hoolimata niivõrd ekstremaalsetest tingimustest, näitasid Webbi vaatlused, et WASP-18 b atmosfääris on veeauru.

Galaktikad

Niipea kui Webbi teleskoop vaatlusteks valmis oli, tehti üks esimesi süvavälja pilte galaktikaparvest SMACS 0723 (vt foto 1), kasutades selleks lähiinfrapunakaamerat NIRCам. Aega kulus pildi saamiseks kokku 12,5 tundi. Tulemus oli niivõrd muljetavaldav, et pilti demonstreeriti 11. juulil 2022 Valges Majas president Joe Bidenile ning järgmisel päeval (12. juulil) avalikustati pilt laiale üldsusele.

Kui Hubble'i kosmoseteleskoobi üks intrigeerivamaid pilte oli nn süvavälja ülesvõte, mida on tituleeritud ka kui ühte kõige kallimat pilti (Hubble'il kulus aega pildi saamiseks rohkem kui 11 päeva), siis Webb sai sama asjaga hakkama ainult 20 tunniga (vt foto 2). Vaatlus toimus 11. oktoobril 2022 ja kasutati lähiinfrapunakaamerat NIRCам 5 erineva filtriga lainepikkuste vahemikus umbes 2–5 μm.

Webbi teleskoobi üheks prioriteetseks ülesandeks on info saamine kaugete galaktikate ja varajase Universumi kohta. Paraku on vaatlustulemused astronoomidele juba päris palju peavalu tekitanud. Mõnede galaktikate puhul ilmnevad eriti suured punanihked, mis viitavad nende moodustumisele Universumi väga varajases nooruses. Aprillis 2023 ilmus ajakirjas *Nature* artikkel, kus kirjeldati, et avastatud on 6 galaktikat, mis on moodustunud ligikaudu 600 miljonit aastat pärast Suurt Pauku. Selles aja määranus pole midagi erilist, kuid asja teeb eriti huvitavaks väide, et nende galaktikate massid on kuni 100 korda suuremad, kui praegused kosmoloogilised teooriad ennustavad. Masside hinnanguks on pakutud kuni 10^{11} Päikese massi. Ja ega need massid iseenesest ka midagi erilist ei ole, aga küsimusi tekitab see, et kuidas nii noored galaktikad saavad olla nii massiivsed. Seniste arusaamade järgi peaks nii massiivsete galaktikate moodustumiseks kuluma palju rohkem aega. Kui nende 6 galaktika vanuse ja masside määranud on ikkagi õiged, siis sellise vastuolu kõrvaldamiseks on spekulieritud, et Universum võib olla märksa vanem, kui seni hinnatud (13,8 miljardit aastat) või mängu tulevad meile seni tundmatud tegurid galaktikate moodustamiseks.

Webbi teleskoop on suutnud kindlaks teha kaks kõige kaugemat galaktikat punanihetega 10,5 ja 12,5 (vt foto 3). Tegu on galaktikatega, mis moodustusid umbkaudu 350 kuni 450 miljonit aastat pärast Suurt Pauku.

Päikesesüsteem

Esmapilgul võib tunduda, et kas nii võimsa teleskoobiga on ikka mõtet aega kulutada meie Päikesesüsteemi planeetide vaatlemiseks ja uurimiseks. Tegelikult on mitmed esmased vaatlused juba andnud väga palju uut infot, mida me pole varemalt teadnud.

Näiteks Jupiteri puhul on avastatud tema atmosfääris kiire reaktiivjuga, mis paikneb pealmiste pilvekihtide kohal ja mille ulatus on kuni 4800 kilomeetrit. Vaatlus teostati 27. juulil 2022 lähifrapunakaamera NIRC*am* viit erinevat filtrit kasutades. Reaktiivjoa kiiruseks hinnati umbes 515 kilomeetrit tunnis ja ta paikneb ligikaudu 40 kilomeetri kõrgusel pilvekihi peal ekvaatori kohal. Vastav uurimus avaldati 19. oktoobril 2023 ajakirjas *Nature*.

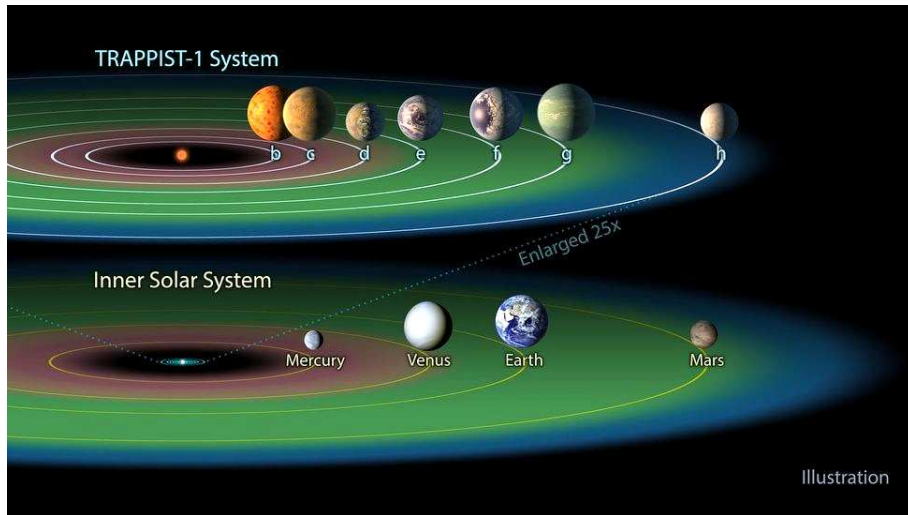
Jupiteri kuul Europa on teadaolevalt soolane globaalne ookean, mille peal on paks jääkiht. 2022. aasta novembris Webbi NIRC*am*-iga tehtud piltide põhjal leiti, et jäisel pinnal leidub süsinikdioksiidi (CO_2). Mõningaid märke CO_2 olemasolust oli ka varem täheldatud, kuid selle päritolu oli ebaselge. Võimalusi oli mitmeid, näiteks kas süsinikdioksiid oli Europale sattunud mõne meteoriidi tabamusest või tekkinud jääkihi all olevast ookeanist. Webbi vaatlustulemused näitasid, et CO_2 on ikka suure tõenäosusega tekkinud ookeanis ja kui nii, siis võib edaspidi Europa ookeanist otsida mõningaid elu jälgi. 21. septembril 2023 ilmus ajakirjas *Science* kaks teadusartiklit, mis kajastasid Europa vaatlusi JWST-ga.

Ka Päikesesüsteemi suuruselt teisest planeedist Saturnist tehtud Webbi pilt tekitab parajalt imestust. Vaatlus toimus GTO-1247 programmi osana 25. juunil 2023 ja kasutati kaamerat NIRC*am* filtriga F323N (3,23 μm). Kuna vaadeldi infrapunases piirkonnas, siis Saturn paistab ebatavaliselt tumedana (vt foto 4), sest atmosfääris olev metaan neelab enamuse atmosfääri langevast Päikese kiirgusest. Samas paistavad jäised rõngad suhteliselt heledatena. Teine vaatlusprogramm (GTO-1250) keskendus Saturni kuu Enceladuse vaatlusele. 9. novembril 2022 Webbi NIRS*pec* instrumendiga saadud spektrite põhjal õnnestus kindlaks teha, et Enceladuse jääkooriku all olevast ookeanist paiskuvad välja tugevad veeauru joad, mis ulatuvad

kuni 9650 km kaugusele. Geisrite olemasolu Enceladusel oli juba ka varemalt teada Cassini automaatjaama (tiirles ümber Saturni aastatel 2004 kuni 2017) vaatluste põhjal. Kuna Enceladus teeb tiiru ümber Saturni väga kiiresti (~33 tunniga), siis Webbi vaatlustest ilmnis, et veeauru joad tekitavad ümber Saturni sõõriku (vt foto 5).

Päikesesüsteemi planeetidest võib näitena tuua veel ülesvõtte Uraani rõngastest (vt foto 6). Pilt on saadud 6. veebruaril 2023 lähiinfrapunakaameraga NIRCам kahes filtris (F140M, F300M) ekspositsioonijaga 12 minutit. Varemalt pole nii selget rõngaste struktuuri kuidagi suudetud näha.

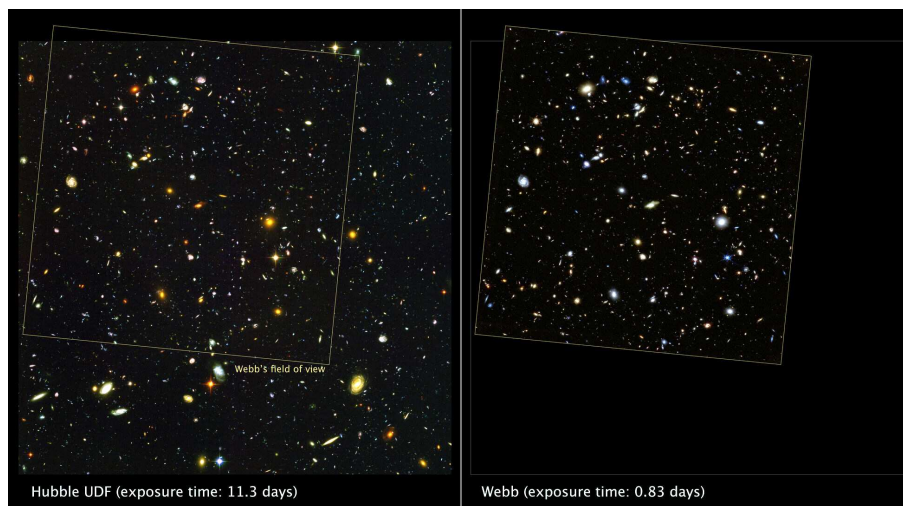
James Webbi teleskoobi võimekus ületab igati kõikide seniste nii maapealsete kui kosmoseteleskoopide võimekuse ning on viinud astronoomiateaduse uuele kõrgemale tasemele. JWST-ga tehtud uuringute teaduslikku väärtust iseloomustab väga ilmekalt kasvõi fakt, et väga suur osa teadusartikleid on avaldatud ühes maailma kõige prestiižikamas teadusajakirjas *Nature*. Kui nüüd lõpetuseks küsida, kas sellise teleskoobi ehitamiseks ja kosmosesse saatmiseks kulutatud tohutu hulk raha (umbkaudu 10 miljardit USD) ja kümnete tuhandete inseneride ning teadlaste paarikümne aasta pikkune tegevus on end õigustanud, siis vastus saab siin olla ainult ühene – **JAH**.



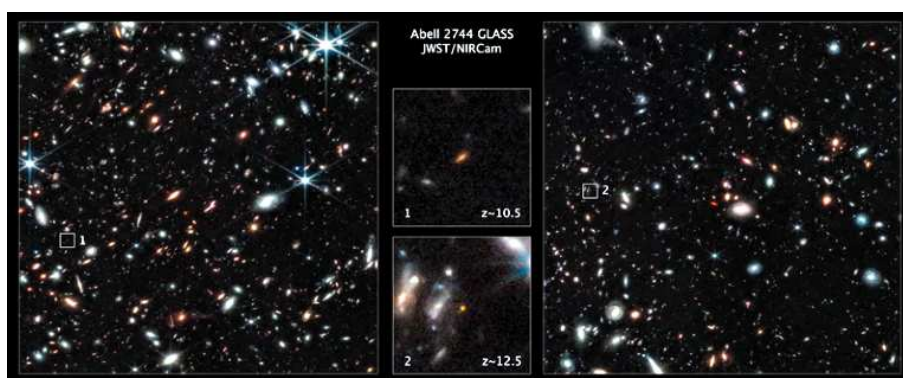
K. Annuk: Joonis 2. TRAPPIST-1 ja Päikesesüsteemi illustratiivne võrdlus. NASA/JPL-Caltech.



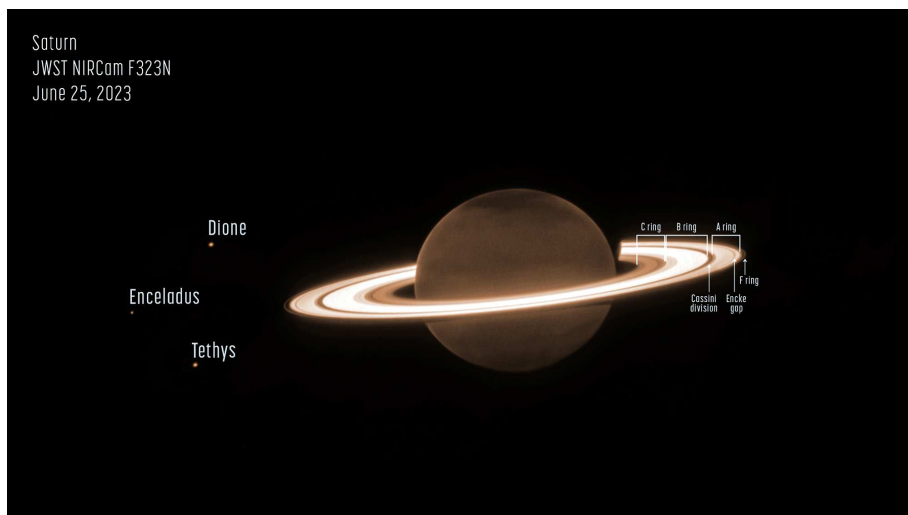
K. Annuk: Foto 1. Webbi kosmoseteleskoobi esimene süvataeva pilt galaktikaparvest SMACS 0723. NASA, ESA, CSA.



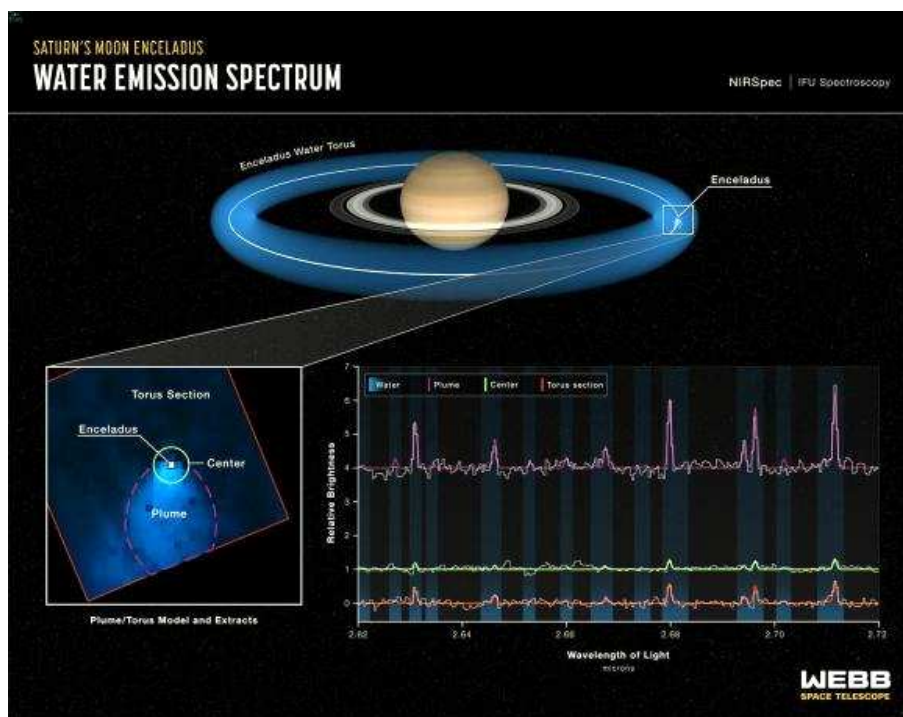
K. Annuk: Foto 2. Hubble'i kosmoseteleskoobiga (vasakul) ja Webbi kosmoseteleskoobiga (paremal) tehtud piltide võrdlus samast taevaalast. NASA, ESA, CSA, STScI.



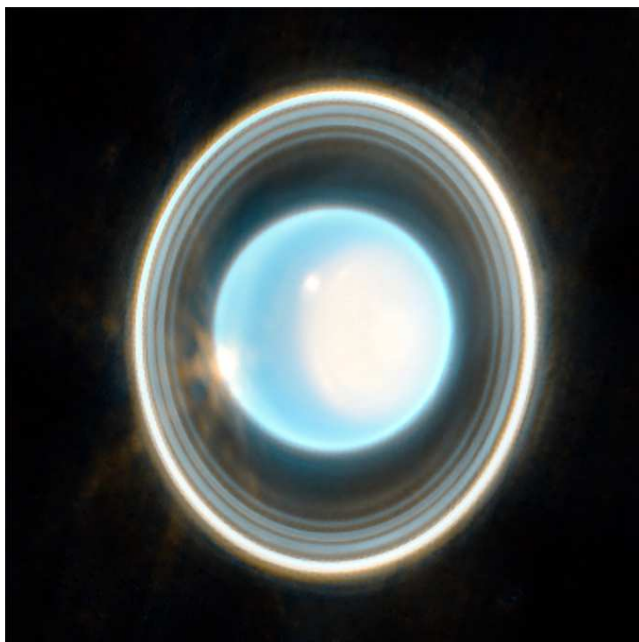
K. Annuk: Foto 3. Galaktikad Universumi varajasest noorusest. NASA, ESA, CSA.



K. Annuk: Foto 4. Webbi kosmoseteleskoobi infrapunakaamera (NIRCам) tehtud pilt Saturnist ja tema rõngastest. NASA, ESA, CSA, STScI.



K. Annuk: Foto 5. Saturni ümber veeauru jugadest tekitatud sõõrik. NASA, ESA, CSA, STScI.



K. Annuk: Foto 6. Webbi kosmoseteleskoobi infrapunakaameraga (NIRCam) tehtud pilt Uraani rõngastest ja atmosfääri ülemistest kihtidest. NASA, ESA, CSA, STScI.