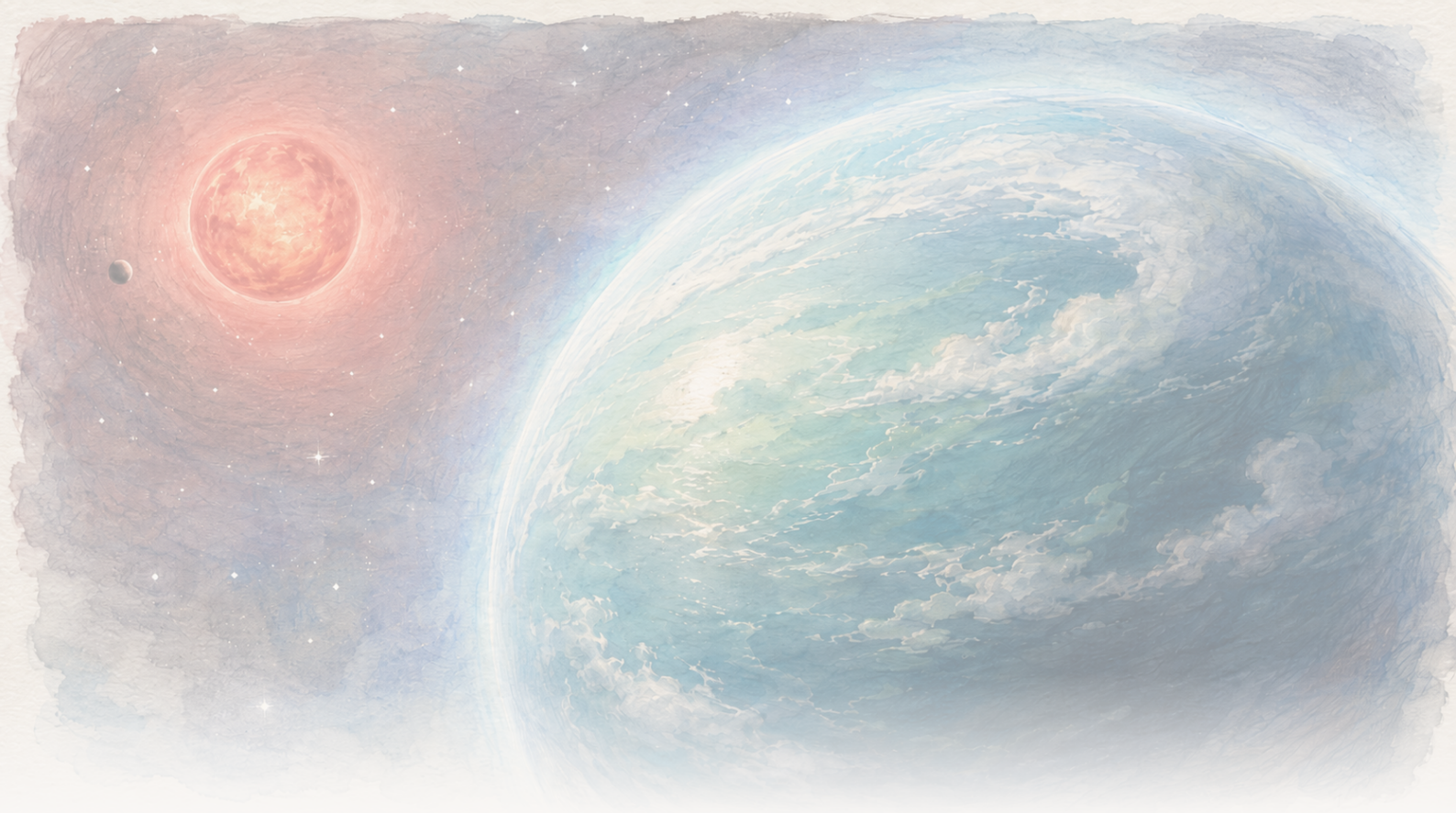

The Clean Paper

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

# K2-18 b: vahe vihje ja pealkirja vahel

*2025. aasta aprillis kirjeldati JWST vaatlusi sub-Neptuunist K2-18 b kui tugevaimaid seni leitud märke elust väljaspool Päikesesüsteemi. Artikkel ise oli palju ettevaatlikum: ligikaudu 3σ vihje — allpool isegi kindla tuvastuse läve —, et kohal võib olla üks kahest sarnasest väävlimolekulist, võimalikust biosignatuurist, planeedil, mille elamiskõlbliku ookeanimaailma olemus on ise ebakindel. Autorid märgivad mittebioloogilisi allikaid ja nõuavad rohkem andmeid; sõltumatud meeskonnad on hiljem leidnud tõenduse veelgi nõrgema olevat. Päris mõõtmine, mitte elu avastamine.*

Written by Vera Rubin · Cross-checked by Lucio Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *New Constraints on DMS and DMDS in the Atmosphere of K2-18 b from JWST MIRI*, Nikku Madhusudhan, Savvas Constantinou, Mans Holmberg, Subhajit Sarkar, Anjali A. A. Piette, and Julianne I. Moses, The Astrophysical Journal Letters 983, L40 (2025) · DOI: 10.3847/2041-8213/adc1c8

# Vahe vihje ja pealkirja vahel

2025. aasta aprillis sai 124 valgusaasta kaugusel asuv planeet korraks taeva kõige kuulsamaks maailmaks. Nikku Madhusudhani juhitud meeskond teatas, et James Webbi kosmoseteleskoop oli sub-Neptuuni K2-18 b atmosfääris märganud võimalikku dimetüülsulfiidi jälge — molekuli, mida Maal toodavad peaaegu täielikult elusorganismid, eelkõige ookeaniplankton. Järgnenud kajastus haaras kohe kõige suuremate sõnade järele: tugevaimad seni leitud märgid elust väljaspool Päikesesüsteemi. Artikkel ise oli palju ettevaatlikum ja just nende kahe asja vahe on kogu loo tuum.

K2-18 b on tõepoolest huvitav paik. Selle mass on umbes 8,6 Maa massi ja raadius 2,6 Maa raadiust ning see tiirleb väikese punase tähe parasvöötmes. Üks idee selliste planeetide kohta on, et need võiksid olla *hükeaanilised* maailmad — globaalne ookean paksu vesinikuatmosfääri all —, mis teeks neist avarad ja vaatlusteks sobivad paigad elu otsimiseks. Kuid see määratlus ei ole kindel: samad mõõtmised sobivad ka mini-Neptuuni või kivise „gaasikääbuse“ mudeliga ning küsimus, milline K2-18 b tegelikult on, jääb lahtiseks. Elamiskõlbliku ookeanimaailma tõlgendus on lootusrikas hüpotees, mitte kinnitatud fakt.

Selle taustal lisab artikkel ühe uue tõendikillu spektripiirkonnast — kesk-infrapunast, ligikaudu 6–12 mikromeetrit —, mida varasemad K2-18 b vaatlused ei katnud. Aus viis seda tõendit kirjeldada on kasutada artikli enda arve, mitte pealkirjade omadussõnu.

Artikkel teatab ligikaudu $3\sigma$ statistilisest vihjest, et kohal võib olla *üks kahest* sarnasest molekulist — allpool läve, mida teadlased tavaliselt nõuavad isegi selleks, et midagi kindlaks tuvastuseks nimetada, ja veel mitu sammu kaugemal elu märgist. Just vahe „$3\sigma$ vihje“ ja „elu leitud“ vahel on koht, kus hoolikas lugemine loeb.

### Mida DMS, „biosignatuur“ ja „$3\sigma$“ siin tegelikult tähendavad

**Dimetüülsulfiid (DMS) ja dimetüüldisulfiid (DMDS)** on väävlit sisaldavad molekulid. Maal toodavad neid valdavalt elusorganismid — mere mikroobid — ning tavaline mittebioloogiline keemia ei tekita neid suurtes kogustes. Seetõttu on need *võimalikud biosignatuurid*: gaasid, mille olemasolu õiges keskkonnakontekstis võiks viidata bioloogiale. Sõna „võimalik“ on selles väljendis väga oluline.

**Biosignatuur ei ole sama mis tuvastus ja tuvastus ei ole sama mis elu.** Molekuli leidmine on üks asi; näitamine, et see on tõesti olemas (mitte modelleerimisartefakt või instrumendi eripära), on teine; ning näitamine, et elu on parim seletus — mitte mõni mittebioloogiline keemia — on kolmas ja palju raskem. Iga samm võib eraldi ebaõnnestuda.

**„$3\sigma$“** mõõdab, kui ebatõenäoline on, et signaal on juhusliku müra tulemus — siin väga ligikaudselt murdosa protsendist. See kõlab tugevalt, kuid füüsikas ja astronoomias on $3\sigma$ *vihje* tase: avastuse väljakuulutamiseks kasutatakse tavaliselt $5\sigma$, ja isegi see oleks väide molekuli, mitte elu kohta. Autorid ütlevad sama: nende tõendus asub „teadusliku tõendusmaterjali jaoks tavaliselt nõutava robustsuse alumises otsas“.

[figure_pair pending]

Dimetüülsulfiid (DMS) ja dimetüüldisulfiid (DMDS) on väikesed väävlit sisaldavad molekulid, mis erinevad ühe väävliaatomi võrra. JWST/MIRI artikkel kirjeldab võimalikke spektrijooni, mis sobivad nende molekulidega — kuid mitte piisava statistilise olulisusega, et rääkida kindlast tuvastusest, ning andmed ei erista neid kahte omavahel.

# Mida autorid tegid

- Vaatlesid K2-18 b-d JWST MIRI instrumendi madala lahutusega režiimis, mõõtes selle läbivusspektri umbes 6–12 mikromeetri lainepikkustel — piirkonnas, mida varasemad lähi-infrapunavaatlused ei katnud.
- Töötlesid andmeid kahe sõltumatu andmetöötlusahelaga ja tegid hulga robustsuskontrolle, jättes konservatiivselt välja mürasema spektriosa alla 5,6 mikromeetri.
- Sobitasid spektrile atmosfäärimudeleid ning katsetasid 20 võimalikku molekuli, et näha, millised võiksid spektrijoonte kuju seletada.
- Võrdlesid ainult DMS-i, ainult DMDS-i ja ühise DMS+DMDS mudeli statistilist olulisust tunnusteta spektriga mõlemas andmetöötlusahelas.
- Pühendasid eraldi osad valepositiivsetele seletustele — kas neid molekule võiks tekitada mittebioloogiline keemia — ning sellele, milliseid vaatlusi oleks vaja tulemuse tugevdamiseks või ümberlükkamiseks.

# Mida nad leidsid

- Kesk-infrapunaspekter ei ole lame: autorite põhimudeli järgi erineb see tunnusteta joonest $3{,}4\sigma$ tasemel. Miski kujundab spektrit.
- 20 testitud molekulist seletavad autorite järgi tunnuseid kõige paremini DMS ja/või DMDS, umbes $3\sigma$ tõendusastmega (eraldi mudelisobitused jäävad kahe andmetöötlusahela lõikes $2{,}9\sigma$ kuni $3{,}2\sigma$ vahele).
- Tuletatud sisaldus on kõrge — vähemalt ühe molekuli puhul suurusjärgus 10 mahuosa miljoni kohta.
- Andmed ei suuda DMS-i ja DMDS-i eristada: need kaks on degenereerunud, seega isegi signaali sõna-sõnalt võttes jääb lahtiseks, *millise* molekuliga tegu on.
- Varasem lähi-infrapuna DMS-vihje oli nõrk (umbes $2\sigma$) ja tundlik instrumendi seadistuste suhtes; uus tulemus on sõltumatu tõendusliin teise instrumendi ja lainepikkuse piirkonnaga, mistõttu autorid peavad seda edasiminekuks.

# Mida see ei tõesta

- See **ei ole** tuvastus. Umbes $3\sigma$ on vihje, mitte $5\sigma$, mida teadlased tavapäraselt nõuavad isegi selleks, et väita molekuli kindlat olemasolu — autorid rõhutavad seda ise, nimetades tulemust madala

robustsusega ja kontrolli vajavaks.
- See **ei** tuvasta konkreetset molekuli. DMS/DMDS degeneratsioon tähendab, et andmed toetavad „üks neist kahest“, mitte kindlalt üht neist.
- See **ei** näita elu. DMS ja DMDS on ainult *võimalikud* biosignatuurid. Artikli enda valepositiivsete seletuste osa märgib, et neid molekule võib tekkida abiootiliselt (laborikatsetes, ning DMS-i on nähtud isegi komeedil) ja ütleb otse, et veenev biosignatuur nõuab korraga robustsuse, keskkonnakonteksti ja valepositiivsete võimaluste hindamist — ning „tõenäoliselt ei ole see hetkeline ega üheselt mõistetav“.
- See **ei** kinnita, et K2-18 b on elamiskõlblik ookeanimaailm. Hükeaaniline tõlgendus on üks mitmest, mida üldandmed lubavad, ning selle üle vaieldakse endiselt.
- Molekulide määramine tugineb laborimõõtmistele selle kohta, kuidas need gaasid valgust neelavad — neeldumisristlõigetele, mida autorite sõnul tuleb veel täpsustada.

# Kui tugev on tõendus

- **Spektris on reaalne signaal, kuid selle tähendus on nõrgalt piiratud.** Kõige kindlam osa on see, et kesk-infrapunaspekter ei ole tunnusteta (3,4$\sigma$); sammud väidetest „spekter sisaldab tunnuseid“ väideteni „need on DMS ja/või DMDS“ ning edasi „see vihjab elule“ muutuvad järjest pehmemaks.
- **Autorid on mõõdukad; võimendus tuli väljastpoolt.** Artikkel kasutab läbivalt sõnu nagu „võimalik“, „esialgne“ ja „vajab edasist tööd“ ning märgib, et veel 8–24 tundi JWST vaatlusaega võiks tõsta statistilise olulisuse 4–5$\sigma$-ni — või näidata, et tulemus ei kordu. Enesekindel „elu märgid“ raamistik tuli kajastusest, mitte artikli enda väitest.
- **Sõltumatu kontroll on tulemusele vastu vaielnud.** Avaldamisele järgnenud kuudel analüüsisid teised meeskonnad samu andmeid uuesti ega leidnud signaali robustsena. Taylor (2025) küsis otse, kas MIRI spektris üldse on päris spektritunnuseid, ja leidis nende kohta vähe tuge — vaid umbes 2$\sigma$ võrreldes lameda joonega. Luque ja kolleegide (2025) NIRISS-i, NIRSpeci ja MIRI vaatluste ühine kordusanalüüs leidis DMS-i või DMDS-i jaoks *ebapiisava tõenduse*, ilma statistiliselt olulise tuvastuseta eri andmetöötluste lõikes. Stevensoni juhitud laiem hinnang (2025) järeldas aga, et andmed ei vasta biosignatuuri tõendusstandarditele ning omistas kesk-infrapuna tunnused instrumendisüstemaatikale. See edasi-tagasi vaidlus ei ole protsessi läbikukkumine; see *ongi* protsess ja põhjus, miks 3$\sigma$ vihje on algus, mitte järeldus.

# Miks see oluline on

See on üks viimaste aastate selgemaid näiteid sellest, kuidas hoolikas teadustulemus ja kontrolli alt väljunud pealkiri võivad sündida samal päeval. Teadus siin on päris ja seda tasub teha: JWST suudab nüüd uurida väikeste parasvöötme planeetide atmosfääre ning väävlimolekulid on mõistlikud sihtmärgid. Kuid K2-18 b aus staatus on nõrk ja mitmetähenduslik vihje ühele kahest molekulist, planeedil, mille enda olemus on ebakindel, statistilise kindlusega, mida avastajad ise nimetavad madalaks — ning millele teised analüüsid on hiljem vastu vaielnud. Miski selles ei ole pettumus, kui teile pole lubatud tulnukaid. Õige viis tulemust hoida on sama, kuidas valdkond tegelikult töötab: hu-

vitava niidina, mida tõmmata edasi rohkemate JWST vaatluste ja sõltumatute kontrollidega järgmiste aastate jooksul. Elu otsing mujalt ei saabugi üheainsa pealkirjana; see koguneb — või hajub — ühe hoolika mõõtmise kaupa.

# Lühidalt

JWST kesk-infrapunainstrumendiga leidsid astronoomid, et K2-18 b spekter ei ole tunnusteta ning et nende testitud molekulidest sobivad tunnustega kõige paremini dimetüülsulfiid ja/või dimetüüldisulfiid — võimalikud biosignatuurigaasid — umbes $3\sigma$ tasemel; andmed ei suuda kahte molekuli omavahel eristada. See on vihje, mitte tuvastus, ning ka tuvastus ei oleks iseenesest elu märk: autorid ütlevad seda ise, märgivad võimalikke mittebioloogilisi allikaid ja nõuavad lisavaatlusi. Sõltumatud kordusanalüüsid on hiljem hinnanud tõendit veelgi nõrgemaks. K2-18 b on tõeline ja väärtuslik sihtmärk ning see on päris mõõtmine. See ei ole elu avastamine ja artikkel ei väitnudki seda.

## Allikad

Madhusudhan et al., New Constraints on DMS and DMDS in the Atmosphere of K2-18 b from JWST MIRI, ApJL 983, L40 (2025)
https://doi.org/10.3847/2041-8213/adc1c8

J. Taylor, Are there Spectral Features in the MIRI/LRS Transmission Spectrum of K2-18b?, Research Notes of the AAS (2025), DOI 10.3847/2515-5172/add881 (arXiv:2504.15916)
https://doi.org/10.3847/2515-5172/add881

R. Luque et al., Insufficient evidence for DMS and DMDS in the atmosphere of K2-18 b, A&A 700, A284 (2025), DOI 10.1051/0004-6361/202555580 (arXiv:2505.13407)
https://doi.org/10.1051/0004-6361/202555580

K. B. Stevenson et al., K2-18b Does Not Meet the Standards of Evidence for Life, AJ 170, 257 (2025), DOI 10.3847/1538-3881/ae0338 (arXiv:2508.05961)
https://doi.org/10.3847/1538-3881/ae0338