

KUIDAS ÕPIK ANDROMEEDA KAUGUSE MÄÄRAS

horisont

KOSMOSE
ERINUMBER
104 lk

6/2022 ■ NOVEMBER-DETSEMBER ■ HIND 5.90 ■

**GALAKTIKAID
TÕMBAB ÜKSTEISE
POOLE**

UNIVERSUMI LÜHILUGU

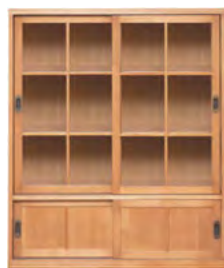
**GAIA TELESKOOP PALJASTAB LINNUTEE SALADUSI
ESTCUBE-2 KATSETAB UUT KOSMOSETEHNOLOGIAT**



PALUME LAUDA!



Iga 1000 € tellimusega kingitus
Kehtib kuni 31.12.2022



Meie pikaaegsete kogemustega müügikonsultandid aitavad leida lahenduse ka kõige keerukamatele eritöödele.

Tallinn
Järve keskuse 0-korrus
jarve@unolik.ee
5191 1255

Tartu
Jõe keskus
tartu@unolik.ee
5328 5747

Vaata lisaks unolik.ee



SELLES NUMBRIS

Peeter Tenjes 100 aastat galaktikate kaugusi ehk Kuidas Ernst Öpik Andromeeda galaktika kaugust hindas?	8
Rain Kipper Gaia teleskoop paljastab Linnutee saladusi	14
Peeter Tenjes Galaktikad moodustavad hiiglaslikke parvesid	20
Indrek Kolka Mis iseloomustab massiivseid tähti?	28
Indrek Vurm Lööklained aitavad mõista noovaplahvatuste hingeelu	34
Hardi Veermäe Universumi lüütlugu	42
Hans Teras Hiiglaste õlgadel. ESTCube-2	58
Mihkel Pajusalu Tõravere kosmose- tehnoloogia sihib Veenust, Kuud, Marssi ja komeete	64
Taavi Tuvikene Maaailma suurimad optilised teleskoobid avardavad arusaama universumist	72
Laurits Leedjärv Kui Ernst Öpik saaks kasutada James Webbi teleskoopi	78
Taavi Niitsee Rahvateadlaselt teadusrahvale	90
Heli Lätt Kosmosehariduskontor aitab õppetöösse lisada kosmose vürtsi	98

HORISONT KÜSIB

Intervjuu 50
**Satelliidid on kõrgtehnoloogilise
ühiskonna lahutamatu osa**
Aalto ülikooli väikesatelliitide ja
mikrolainekaugseire teadusrühma
juhi professor Jaan Praksiga rääkis
Ulvar Käärt.

SIIT- JA SEALTPOOLT HORISONTI

Mikrobioloogid hindavad
kosmosejaama puhtust 3

Kus olid iidse Marsi parimad
elupaigad? 6

Sündmuste horisondil 70
Kosmiliste müüonitega saab
materjale läbi valgustada

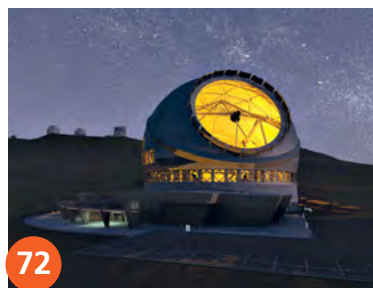
Ain Kallis 82
Ilm ja kosmos

Bioloogiafilosoofia 84
Kuidas määratletakse elu
astrobioloogias

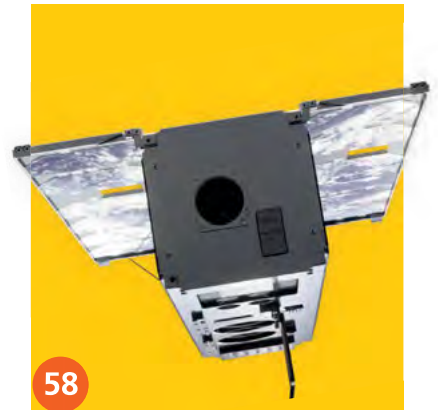
Teaduspilt 86
Tartu tähetornis sündinud
astronoomiapildid

Kosmosekroonika 94

Lugesin üht raamatut 96
Tõnu Viik
Öpiku alustatud Tähetorni
Kalender saab peagi 100-aastaseks



72



58

OLÜMPIAAD

Karmen Laud
Rahvusvaheliselt 100
**astronoomia- ja astrofüüsika-
olümpiaadilt tuli Eestisse medal**

PRAKTILIST

Enigma 102
Veel poolmaagilisi ruute

Ristsõna 103

Mälusäru 104
Nuputamist pakuvad
mälumängijad Jevgeni Nurmla ja
Indrek Salis. Auhinnaks raamatud!



34



Ulvar Käärt

Ulvar Käärt, peatoimetaja
ulvar@horisont.ee



ERINUMBRI VÄLJAANDMIST
ON TOETANUD EESTI TEADUSAGENTUUR

ESIKAANEL: Andromeeda galaktika. FOTO: Unsplash, Tasos Mansour

Viimastel aastatel oleme Horisondi aastakäikudele pannud tavapärasest erilisema ja priskema punkti. Nii ka seekord. Kui varem oleme aasta lõpetanud näiteks keeleteadusele või eesti pärimusele keskendunud erinumbriga, siis seekord on numbriga teema kosmos ja kosmosetehnoloogiad. Põhjuse on andnud üks äärmiselt väarikas tähtpäev. Nimelt, tänavu on tähistatud Eesti astronoomia üht ajaloolist suursündmust ehk Andromeeda galaktika kauguse määramise 100. aastapäeva. 1922. aastal arvutas meie astronoom Ernst Öpik Tartus esimesena maailmas välja Andromeeda udukogu kauguse Maast. Öpik leidis, et Andromeeda asub meist ligikaudu 1,5 miljoni valgusaasta kaugusel. Nagu Peeter Tenjes selle numbriga esimeses pikemas artiklis kirjutab, ei määranud Öpik pelgalt ühe galaktika kaugust, vaid ühtlasi tõestas, et meie kodugalaktika Linnutee pole sugugi ainulaadne maailmaruumi kesse, vaid kõigest üks paljudest tähesüsteemidest.

Samamoodi oli varem inimeste maailmapilti avardanud samuti Tartu tähetornis tegutsenud Wilhelm Struve, kes mõõtis 1837. aastal esimesena põhjataeva ühe heledaima tähe Veega kauguse. Seegi saavutus on suurte tähtedega meie teaduslukku kirjutatud.

Koostöös Tartu observatooriumiga valminud enneolematult paks erinumber annab ülevaate Öpiku sajanditaguse teadustöö tähtsusest ja laiemast tähendusest astronoomias, ühtlasi saame läbilõike olulisematest teemadest, millega teadlased praegu nii Eestis kui ka mujal kosmost uurides tegelevad. Uuritakse tähtede, galaktikate, kosmiliste plahvatuste ja universumi olemuse senini salapäraseid üksikasju ning arendatakse selles vallas uusi tehnoloogilisi võimalusi. Nii saab lugeda ka maailma suurimatest, lausa erakordsete mõõtmetega maapealsetest teleskoopidest ja sellestki, millist kosmosetehnikat Eestiski arendatakse. Komeedipüüdur, Veenuse atmosfääri happesuse uurimise sensori ja NASA kuukulguri kaamerate meisterdamise kõrval on Tõravere künkal observatooriumis valmis saanud uus tudengisatelliit – ESTCube-2. Nii mõnigi ehk mõtleb, et selline „kuubikute“ ehitamine on üliõpilastele pigem mäng kui tõsiselt võetav töö. Ent tegelikkus kinnitab siiski midagi muud. Juba meie esimese kosmosesse jõudnud satelliit ESTCube-1 aitas Eestil saada Eroopa kosmoseagentuuri liikmeks ja pääseda nõnda ligi ka kosmosetehnoloogia arendamise toetustele. Rääkimata sellest, et satelliidi ehitamine on aidanud koolitada Eestile terve põlvkonna kosmosetehnikainsenere ning pannud aluse mitmele sel alal tegutsevale ettevõttele.

Sedasama kinnitab erinumbri intervjuus Soome näitel ka Jaan Praks, kelle juhatusel on Aalto ülikoolis valminud juba kolm kuupsatelliiti. Praks toob näite, et Soome esimese tudengisatelliidi Aalto-1 meeskonnast on kasvanud välja väikseid ja odavaid radarsatelliite tootev firma ICEYE. Praeguseks on see sircunud põhjanaabrite suurimaks kosmosetehnoloogiafirmaks, mille väärtus läheneb miljardile eurole.

Head lugemist ja olge meiega!



EESTI
TEADUSTE AKADEEMIA

horisont



Ulvar Käärt, peatoimetaja
ulvar@horisont.ee

Helen Rohtmets-Aasa, toimetaja
helen@horisont.ee

Monika Salo, keeletojmetaja
monika.salo@loodusajakiri.ee

Kersti Tormis, kujundaja
kersti@horisont.ee

Mariliis Kesküla, turundusjuht
mariliis@loodusajakiri.ee

Riho Kinks, vastutav väljaandja
riho.kinks@loodusajakiri.ee

Tellimine: 617 7717,
www.tellimine.ee

Ilmunud aastast 1967, 6 numbrit aastas
Toimetus: Rävälä pst 10, 15042 Tallinn
tel 610 4105

e-post: horisont@horisont.ee

Vaata ka Horisondi seina Facebookis!

Väljaandja: MTÜ Loodusajakiri,
Rävälä pst 10, 15042 Tallinn
e-post: loodusajakiri@loodusajakiri.ee

ISSN 2228-3471 (e-luger)
Autoriõigus: MTÜ Loodusajakiri, 2022
Trükinud Printall AS



Trükitoodete
4041 0820



HARIDUS- JA
TEADUSMINISTEERIUM

Ajakiri ilmub
haridus- ja teadusministeeriumi
toetusel



NASA astronautid Jessica Watkins ja Bob Hines tegid tänava suvel rahvusvahelises kosmosejaamas katset XROOTS, mille jooksul uuriti võimalusi kasvatada taimi ilma mullata

Mikrobioloogid hindavad kosmosejaama puhtust

Kakskümmend kolm aastat tagasi lennutati Maa orbiidile rahvusvaheline kosmosejaam. Inimesed elavad seal pidevalt. Mikroobid kaaluta olekust ei hooli, neid leidub kosmosejaamas sama palju kui maistes eluruumides. Õnneks on suurem osa baktereid inimese tervisele ohutud, kinnitab ajakirjas *Microbiome* ilmunud uurimus.

Bakterite, seente ja teiste pisikeste olendite suhtes peab olema tähelepanelik, kuna kosmoselend avaldab mõju inimeste tervisele. Kaaluta olek mõjutab immuunrakke, kiirgusohut suurendab kasvajate tekke riski. Kosmonaudi kaitse-süsteem ei pruugi nakkusele piisavalt kiiresti ega tugevalt reageerida, samuti pole võimalik iga terviserikke korral haiglasse minna. Nii on oluline teada, millised bakteri- ja seenekooslused võivad kosmosejaamas elutseda, kui suur osa neist kujutab terviseriski ja kuidas kosmilistes oludes puhtust hoida.

23 aasta jooksul on rahvusvahelises kosmosejaamas töötanud ligi 270 inimest 20 riigist. Suurem osa neist on pärit USA-st ja Venemaalt, kuid kosmose-riikide hulka kuuluvad ka Taani ja Rootsi. Tavaliselt on ühe inimese lend kestnud kuus kuud. Kosmosejaamas viibimise kestusrekord on NASA astronauti Mark Vande Hei nimel. Tema on järjest kosmoses olnud peaaegu terve aasta ehk 355 päeva.

Mikroobiproove on kosmosejaamast kogutud pikema aja vältel. NASA teadlased on analüüsinud viie aasta jooksul (2015–2020) kosmosejaamast kogutud andmeid. Kõigepealt koguti andmeid 14 kuu jooksul, kui jaamast käis läbi kolm meeskonda. Proovid võeti kaheksalt pinnalt.

Teisel uuringuetapil uuriti samu pindasid veel kord 14 kuu vältel, kui inimesed vahetusid neli korda. Kõigist proovidest eraldati DNA ja tehti kindlaks, millistelt elusolenditelt see pärineb. Samuti analüüsiti, kui sagedad on mikroobides antibiootikumiresistentsust määravad geenid.

Uurimisjaamas elutsevad nii bakterid, seemned kui ka arhed ja seal leidub ka viirusi. Suurem osa liike on pärit inimese nahalt või suust ja need on täiesti ohutud.

Uuringu põhjal saab kinnitada, et uurimisjaamas elutsevad nii bakterid, seemned kui ka arhed ja seal leidub ka viirusi. Kõige arvukam elustikurühm on bakterid ning nende liikidest leidub enim stafülokokke. Seentest on arvukaim perekond *Malassezia*, kelle paarikümmend liiki elab nahapinnal.

Kosmoselaeva pindade mikrobiom on erakordselt püsiv, liikide koosseisu ja arvukuse muutused on ajutist laadi. Suurem osa liike on pärit inimese nahalt või suust ja need on täiesti ohutud.

Proovidest on leitud ka oportunistlike mikroorganisme. Need kuuluvad normaalse inimese kehaelustiku hulka, kuid võivad mõnikord tekitada haigusi. Näiteks on kosmosejaamas levinud *Klebsiella pneumoniae*. Nahal, suus ja soolestikus elutsev mikroob võib tekitada kopsupõletikku. Mikroobiresistentsust määravate geenide hulk jaama bakterites on püsiv ega ohusta seal töötavaid inimesi. •

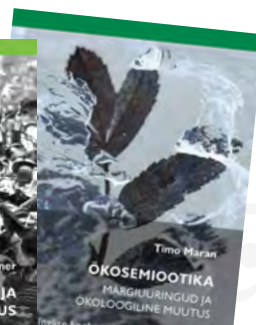
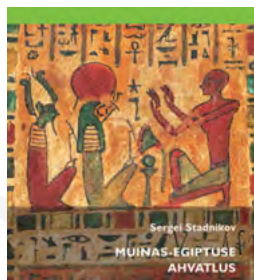
 Piret Pappel

SIIT- JA SEALPOOLT HORISONTI

NASA/ESA/CSA/STSCI



LIIVAKELLAKUJULINE TÄHESÜND. 16. novembril avaldas NASA prototähe L1527 pildi, jäädvustatud James Webbi kosmoseteleskoobiga Sõnni tähtkuju tähetekkepiirkonnas. Prototäht on tähtedevahelises aines olev kerajas tihend, mis alles kujuneb täheks. Sel infrapunavalguses tehtud pildil asub prototäht liivakella kitsas keskmes nn protoplanetaarse ketta varjus. Kuna sündiva tähe valgus pääseb kettast üles- ja allapoole, paistabki tähe kasvu toitev mäslev gaas ja tolm liivakellakujulisena. L1527 on veel noor, ligikaudu 100 000 aasta vanune. Selle prototähe areng täisväärtuslikuks täheks, mis toodab energiat vesiniku tuumasünteesiga, kestab veel pikka aega. Pildil on heleda keskosa ees kitsa tumeda ribana näha protoplanetaarne ketas, mis on umbes meie Päikesesüsteemi suurune. Samamoodi võis välja paista ka meie varane Päike ja Päikesesüsteem



Sky-Watcher®

UNIVERSUMI UURIMINE EI MAKSA PALJU!

Soodushindadega teleskoobid lastele, algajatele ja kogenud teadlastele!

Sky-Watcher Infinity-76/300 teleskoop

- Teravad detailirohked pildid
- INFINITY-76 kogub 131% rohkem tähevalgust võrreldes keskmise 50 mm mäguteleskoobiga, tuues oluliselt rohkem objekte nähtavale
- Lihtne kasutada! Karbist välja võttes peaaegu valmis kasutamiseks



~~71.00 EUR~~ **59.00 EUR**



Sky-Watcher Mercury 70/500 AZ3 teleskoop

- Ideaalne valik nii päevase aja maapealseteks kui ka süvataeva astronoomilisteks vaatlusteks
- Sky-Watcher Mercury-705 on kahelemendiline õhuvahega akromaatiline refraktor, mis on ennast hästi tõestanud rikkalike vaadetega komeetidest, täheväljadest, täheparvedest, udukogudest, eredatest galaktikatest ja planeetidest, Kuust ja Päikesest (nõuetekohase filtriga!)

165.00 EUR
~~205.00 EUR~~

Sky-Watcher EQ3 Ekvatoriaalne monteering PRO SynScan

- Täiuslik vahend algajatele visuaalsetele vaatlejatele, mis võimaldab astronoomiat nautida minimaalse seadistamisajaga
- Täielikult varustatud GoTo monteering
- Sama funktsionaalsus kui suurematel arvutipõhistel monteeringutel



599.00 EUR
~~659.00 EUR~~

Kus olid iidse Marsi parimad elupaigad?

Noorel Marsil võis elutseda metaani tootvaid baktereid, kuid need eluvormid kadusid nende enda elutegevuse tõttu. Seda väidab ajakirjas Nature ilmunud uurimistöö, milles jälgendati punasel planeedil umbes neli miljardit aastat tagasi valitsenud tingimusi.



NASA/JPL-CALTECH/ASU/MSS

Marsikulguri Perseverance maandumise koht Jezero kraatris. Geoloogid usuvad, et selle piirkonna maastikku on kujundanud voolav vesi. Perseverance'i ülesanne ongi otsida Marsilt kunagise elu jälgi

Praegune Marss on kuiv ja liivane planeet, mille atmosfäär on üliõhuke ja ilmastik külm. Astrobioloogid kirjeldavad teda kui tolmu ja liivaga kaetud jääkera. Neli miljardit aastat tagasi oli Marsi kliima palju soodsam. Atmosfäär oli tihedam, sisaldas nii süsihappegaasi kui ka teisi kasvuhõonegaase ja soojendas teki kombineeritud planeeti.

Nii oli Marsi pinnal vedelat vett. See omakorda tekitas elukeskkonna, kus mikroobid ja samalaadsed eluvormid võisid õilmitseda. Vett leidis Marsi poorseses pinnakihtides ja planeedil võisid voolata jõed ning laiuda koguni mered.

Lootus, et Marsil võiks praegu leiduda elusolendeid, kuulub pigem ulmekirjanduse valdkonda. Aga palju suurem on teadlaste lootus avastada seal minevikus elanud olendite elutegevuse jälgi. Arizona ülikooli teadlaste mudelite põhjal võis punase planeedi pinnas kõlvata elupaigaks just metaani tootvatele mikroobidele.

Metanogeensed eluvormid võisid elutseda Marsi pinnases, ilmselt kuni mõnesaja meetri sügavusel. Mikroobipopulatsioon võis olla arvukas ja biomassi tootlikkuse poolest sarnaneda maise maailmamere omaga.

Tõenäoliselt oli Marsil tol ajal jahedam kui praegu Maal, kuid siiski piisavalt soe, et vesi püsiks vedelana. Marsi kivimite spektroskoopilised uuringud kinnitavad, et seal leidunud vesi oli soolane.

Mudeli järgi võisid metanogeensed eluvormid elutseda Marsi pinnases, ilmselt kuni mõnesaja meetri sügavusel. Mikroobipopulatsioon võis olla arvukas ja biomassi tootlikkuse poolest sarnaneda maise maailmamere omaga. Selline hulk elusolendeid hakkas paratamatult keskkonda mõjutama. Nad sidusid mõnekümne kuni mõnesaja tuhande aasta jooksul nii palju vesinikku, et kliima muutus tunduvalt jahedamaks. See omakorda sundis olendeid aina sügavamale pinnasesse liikuma, nende arvukus vähenes ja lõpuks surid nad välja.

Asjaomast artiklit on lugenud ka Tartu ülikooli kosmosetehnoloogia kaasprofessor Mihkel Pajusalu, kes on töötanud Massachusettsi tehnoloogiainstituudis Tanja Bosaki laboris. Bosak on üks nendest teadlastest, kes otsustas, millistest kohtadest võtab proove marsikulgur Perseverance.

„Teadlased on üsnagi üksmeelselt arvamusel, et Marsi pinnal oli kohalikul Noa-ajastul – 4,1 kuni 3,7 miljardit aastat tagasi – üsna palju veekogusid, näiteks Jezero kraatrijärv. Nendest vähemalt mingi osa oleks sobinud praegu Maal elavatele organismidele,“ kommenteerib Pajusalu. „Kõnealune artikkel räägib Marsi pinnasest, kuhu oleks jõudnud Marsi pinnalt pärit vesi. Sügavamal oleks temperatuur olnud kõrgem ja pinnas oleks pakkunud ka kaitset kiirguse eest. Seetõttu võis pinnas olla eluks veelgi sobilikum kui Marsi pinnal olevad veekogud.

Seal oleks olnud head võimalused metanogeenidel, kes oleks tarbinud vesinikku ja süsihappegaasi ning tootnud metaani. Artikkel viitab lühidalt ka teooriatele, et praegugi võib sügaval planeedikoores olla kohti, kus sellised organismid võiks olla tänapäevani säilinud.

Uurimus ei lükka otseselt ümber Marsi pinnal Noa ajastul olnud järvede kõlblikust eluks, vaid lihtsalt näitab mudeldamisega, et Marsi maakoores oleks tol ajal saanud hästi elada metanogeeneid.“ •

 Piret Pappel

Vikipeedia kogub jälle teadusteemalisi artikleid

Eestikeelne internetientsüklopeedia Vikipeedia ootab kuni 15. detsembrini teadusteemalisi artikleid. Parimate artiklite kirjutajate vahel jagatakse ära auhinnafondi 4000 eurot.

Milliseid artikleid saab konkursile esitada? Oodatud on teaduslikel uurimustel ja publikatsioonidel põhinevad ülevaateartiklid näiteks ajaloost, viirustest, füüsikast, ökoloogiast, kompleksüsteemist, netislangist, pehmerbootikast või rahvuslikust iseloomust – kõik sobib.

Vikiartikkel on õigupoolest nagu teaduskirjanduse ülevaade või teadusuuringutel põhinev lühireferaat. Kuna artikkel jääb Vikipeedias kõigile vabalt kättesaadavaks ja selle lugejaskond võib olla suur, peab niisugune tekst olema kirjutatud võimalikult üldarusaadavalt.

Eestikeelne veebientsüklopeedia on väga populaarne, näiteks 2021. aastal külastati Vikipeediat üle saja miljoni korra. Kui õpilased või teised huvilised otsivad mõnele küsimusele veebiotsinguga vastust, siis sageli on Vikipeedia artikkel üks esimesi, mida nad näevad.

Üliõpilastele annab oma referaadi või muud sorti töö tulemuste avaldamine Vikipeedias hea võimaluse harjutada publitseerimist turvalises ja toetavas keskkonnas.

Uus artiklite kogumise kampaania on osaliselt seotud üle aasta Vikipeedias peetava teadusfotovõistlusega. Viimase eesmärk on üsna sarnane, kuid see keskendub teaduse visuaalsele poolele ehk sellele, mil viisil teadlased maailma näevad. Võistluse „Teadus Vikipeediasse 2022“ siht on populariseerida eestikeelset teadust ja edendada eesti teaduskeelt. Täpsemat infot leiab Vikipeediast. •

 Ivo Kruusamägi, vikipedist



Wikipedia monument Stubices Poolas (detail)

HORISONT KIRJUTAS



50 AASTAT TAGASI

HORISONT 12/1972, LK 20

Juri Zaitsev kirjeldab Nõukogude Liidu satelliitide Komos uurimisala:

„Kümnete tuhandete kilomeetrite kaugusele kosmosesse ulatuvad Maa magnetvälja jõujooned määravad Maa-lähedase ruumi füüsikalised omadused, paljude atmosfääri kõrgemates kihtides asetleidvate protsesside iseloomu ja mängivad otsustavat osa

Maale avalduva korpuskulaarkiirguse mõjumehhanismi olemuses. Magnetvälja andmeid kasutatakse laialt maavarade luurel, laevajuhtimisel, lennunduses. Kosmoseparaatidega saab teha magnetväljamõõtmisi hoopis kiiremini ja tunduvalt laialdasemate piirkondade kohal, kui seda võimaldasid Maal tehtud katsed“.



40 AASTAT TAGASI

HORISONT 12/1982, LK 11

Boriss Nelepo kirjutab võimalustest seirata kosmosest Maa ookeane:

„Kosmoselaevadele paigutatud infrapunakiirguse mõõtjad võimaldavad kindlaks teha merepinna temperatuuri kuni kraadise täpsusega, kusjuures andmed saadakse praktiliselt üheaegselt kogu maailmamere ulatuses. Tehiskaaslastelt lähetatud infrapunapildidelt on hästi näha soojade ja külmade hoovuste piirid, keerised ja jääga kaetud alade servad. Raadiolokatsiooniseadmed annavad teateid tuule tekitatud lainete kõrguse ning iseloomu, samuti tuule ja hoovuste kiiruse kohta, pealegi on nad kasutatavad kõrguse mõõtjatena“.



30 AASTAT TAGASI

HORISONT 8/1992, LK 30-31

Jaan Einasto arutleb Eesti tuleviku ja teaduse üle:

„On avaldatud arvamust, et Eestile on jõukohased vaid Eesti enda loodust, keelt, ajalugu jne uurivate teaduste ülalpidamine, kuid üldise iseloomuga teaduste, nagu astronoomia, füüsika, keemia ja matemaatika koht pole meie maal. Teadus on ühtne tervik, mingi konkreetse teaduse viljelemine tänapäeva tasemel pole võimalik tihedate kontaktideta teiste alade uurijatega. Piirdudes vaid valitud „rahvuslike“ teadustega, mõistame ka need kiratsema. Kaasaegne teadus rakendab kõigil aladel üha rohkem matemaatikat, arvuteid, samuti füüsikalisi ja keemilisi meetodeid, nende meetodite mõistlik rakendamine ilma vastaval alal uuringuid tegemata on võimatu. Pealegi on füüsika, astronoomia, matemaatika, keemia ja kaasaegne molekulaarbioloogia Eestis esindatud, just nendel aladel on meie teadlased jõudnud maailmas esirinda“.



20 AASTAT TAGASI

HORISONT 6/2002, LK 10

Tiit Kändler tutvustab, kuidas 2002. aasta Nobeli füüsikapreemia laureaat Raimond Davis kosmilisi neutriinosid mõõtis:

„Davis ehitas Lõuna-Dakota kullakaevandusse hiiglasliku paagi, mis sisaldas 615 tonni puhastusvedelikku tetraklooretüleeni. Neutriinod reageerivad klooriga ja tekitavad argooni aatomid, mille olemasolu on võimalik mõõta. Iga kuu oleks pidanud tekkima 20 argooni aatomit. Need kinni püüda oleks sama hea, kui leida Saharast kindel liivatera. 30 aastat kestnud katse jooksul püüti kinni Päikeselt lähtunud neutriinodest tekkinud 2000 argooni aatomit“.



PEETER TENJES

**100 AASTAT
GALAKTIKATE KAUGUSI**
ehk
**Kuidas Ernst Öpik
Andromeeda galaktika
kaugust hindas**

Ernst Öpik vaatleb Tartu tähetorni
Zeissi refraktoriga tähistaevast.
Pilt on pärit aastaist 1924–1930
TARTU ÜLIKOOLI MUUSEUMI FOTOKOGU

Sada aastat tagasi õnnestus Ernst Öpikul esimesena välja arvutada Andromeeda kaugus Maast. Nõnda ei määranud ta pelgalt ühe galaktika kauguse, vaid andis suure panuse avarama probleemi lahendusse. Nimelt aitas selgitada, kas meie kodugalaktika Linnutee on ainulaadne tähesüsteem või ainult üks paljudest.

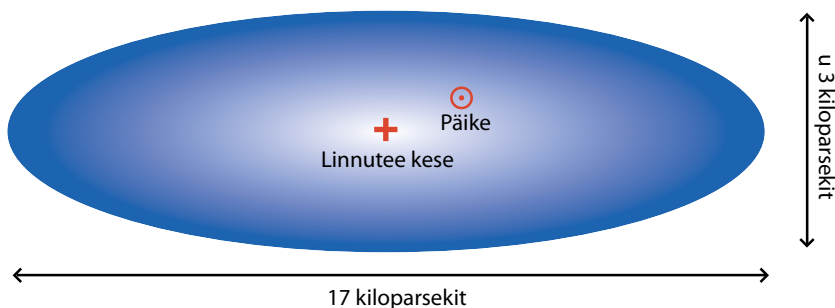
Läbi teleskoobi taevas paistvad udulaigud on astronoomide tähelepanu köitnud juba ammustest aegadest alates. Esimese udude kataloogi koostas Charles Messier 1774. aastal. Samal ajajärgul vaatlesid, joonistasid ja kataloogisid kosmilisi udusid William ja Caroline Herschel. Üht spiraalset udu vaatles esimesena lord Ross (William Parsons, kolmas Rossi krahv) 1845. aasta aprillis oma hiiglasliku 1,83-meetrise peegelteleskoobi abil. Peaaegu kohe tekkisid avastajal ja tema kolleegidel arutelud, kas praegu Veekeerise galaktika ehk M51-na tuntud spiraaludu on tähtedest koosnev süsteem, gaasudu või mõlema kogum.

Kui astronoomias võeti koos uute teleskoopidega, näiteks 1917. aastal valminud Mount Wilsoni 2,5-meetrise teleskoobiga, kasutusele fotograafia, lisandus spiraaludude kohta hulganisti vaatlusandmeid. Ent vana küsimus, kas need on gaasid või tähesüsteemid, jäi ikka päevakorda. Sellele tuli juurde veel üks küsimus: kas spiraaludud paiknevad Linnutee sees või kaugemal väljaspool? Ehk siis: kui avar on meie maailm? See oli oluline maailmavaateline probleem, mis muutus 1920. aastate alguses üsna tuliseks.

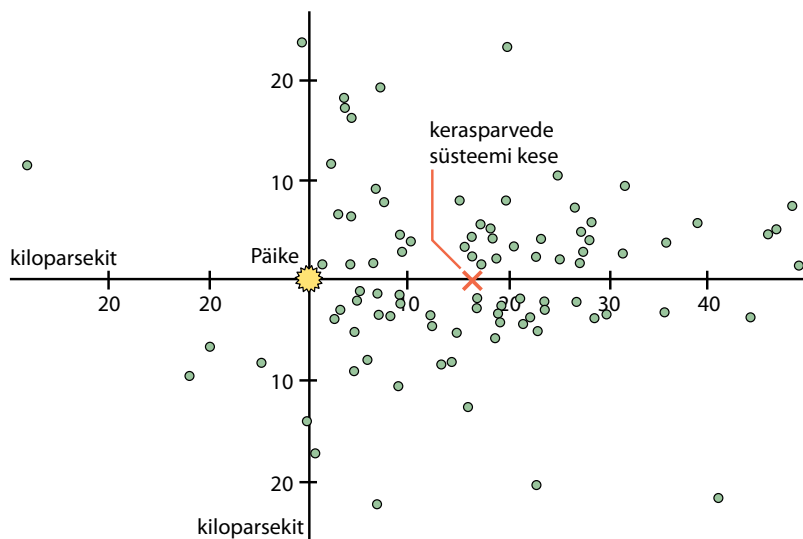
Etenduse tegelased

Kui kõrvutada tollast olukorda teatrietendusega, oleksid peategelased 69-aastane Hollandi vanahärra Jacobus Kapteyn, 48-aastane ameeriklane Heber Curtis, 35-aastane ameeriklane Harlow Shapley ja 27-aastane eestlane Ernst Öpik.

Linnutee teadaolevate tähtede parallakside ehk kauguste alusel koostas Kapteyn nende paiknemise pildi, umbkaudu niisuguse, nagu on näha juu-



Linnutee Jacobus Kapteyni arusaama järgi. Päike (punane ringike) asub keskmest (punane rist) pisut eemal. Linnutee tähesüsteemi läbimõõt on selle mudeli kohaselt ligikaudu 17 ja paksus umbes 3 kiloparsekit



Linnutee kerasparvede (rohelistel punktid) jaotus Harlow Shapley määratud kauguste alusel. Päike (kollane laik) peab asuma kerasparvede süsteemi keskmest (punane rist) üsna palju eemal. Shapley hinnangul oli Linnutee läbimõõt 80 kiloparsekit

resoleval joonisel. Ta tegi olulise lihtsustuse, jättes arvestamata tähtedevahelise valguse neeldumise. Ometi sai tema loodud Linnutee üldpilt küllaltki tuntuks. Kapteyni mudeli järgi oli Linnutee läbimõõt umbes 17 kiloparsekit (1 kpc on 3260 valgusaastat) ning Päike paiknes üsna Linnutee keskkoha lähedal, sellest umbes 1,5 kiloparseki võrra eemal.

Harlow Shapley määras Linnutee mõõtmed, lähtudes tähtede asemel kerasparvedest. Kerasparved olid üsna heledad ja valguse neeldumine avaldas neile väiksemat mõju. See tähendab, et tollal teadaolev kerasparvede valim oli tähtede omast tunduvalt teraviklikum. Kerasparvede kaugused määras Shapley neis olevate muutliku heledusega ehk nn RR Lyrae tüüpi tähtede alusel. Saadud andmetest ilmnis, et kerasparvede jaotus oli Päikesse

suhtes tugevalt asümmeetriline. Kuna niisugusel asümmeetrial ei olnud füüsilist põhjust, tegi Shapley järelduse, et Päike peab asetsema kerasparvede süsteemi tsentrist üsna palju, tervelt 17 kiloparsekit eemal. Kerasparvede süsteemi enda mõõtmed olid umbes 80 kiloparsekit. Seda arvu võis-ki pidada kogu Linnutee mõõtmeks.

Niisiis, Kapteyni arusaama järgi oli Linnutee märksa väiksem kui Shapley hinnangul. Selline oligi 20. sajandi teiseks kümnendiks kujunenud arusaam Linnuteest. Seejärel kerkis üles küsimus ka teiste spiraaludude olemuse kohta. Sellele selgitust otsides oli Shapley veendunud järgmistes tõsiasjades: 1) Linnutee on üsna suur; 2) kui Andromeeda udu oleks sama suur, peaks see asuma 2000 kiloparseki kaugusel ja seal 1885. aastal vaadeldud

„noova“ (see oli Tartu tähetorni astronoomi Ernst Hartwigi avastatud esimene välisgalaktiline supernoova; mõiste *supernoova* tõi 1931. aastal kasutusele Fritz Zwicky) oleks absurd-selt hele ning üleüldse ei saa noovade heleduse andmeid kaugusi määrates eriti usaldada; 3) spiraaludude värvused viitavad sellele, et nad koosnevad gaasist, mitte tähtedest; 4) spiraaludu M51 tundub piltide järgi koosnevat pigem gaasist kui tähtedest.

Nende nelja teesi põhjal jõudis ta järeldusele, et kosmilised spiraaludud on pigem Linnutee sees asuvad gaasudud.

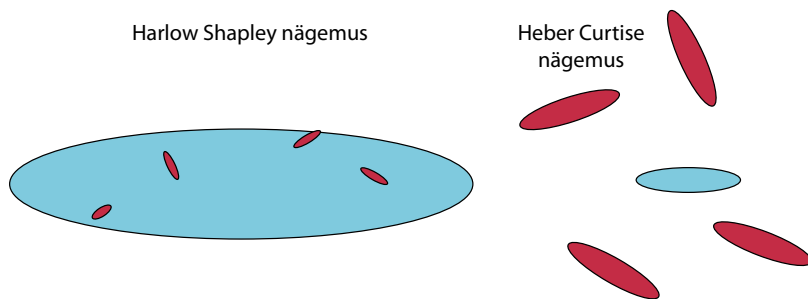
Etenduse kolmas osaline Heber Curtis oli samuti uurinud ja pildistanud spiraaludusid juba kümnekond aastat. Tema lähtus järgmistest argumentidest: 1) Linnutee mõõtmed on umbes kuus-seitse kiloparsekit (määrang põhines Arthur Eddingtoni uurimistöödel) ja kosmilised spiraaludud on sama suured; 2) teiste spiraaludude noovade heleduse alusel peaksid nad asuma kaugemal kui 150 kiloparsekit (seejuures ei pidanud ta usaldusväärseks Andromeeda 1885. aasta „noova“ vaatlusandmeid, millele ei tohiks kaugust määrates tugineda); 3) spiraaludude spektrid on tähtede spektrite summa; 4) spiraaludude ja Linnutee heleduse jaotused on sarnased: kettakujulised ja heledus kahaneb keskmest väljapoole; 5) spiraaludude radiaalkiirused on suured (mitusada km/s); ei ole mehhanismi, mis pidanud need Linnutees sellise kiirusega keskmest eemale paiskama. Niisuguse liikumiskiirusega ei saa nad olla Linnuteega gravitatsiooniliselt seotud.

Kõigest sellest järeldas Curtis, et kõik spiraaludud on samasugused tähesüsteemid nagu Linnutee ja seega paiknevad sellest väljaspool.

Esimene vaatus:

1920. aasta suur arutelu

1920. aasta 26. aprillil peeti Washingtoni teaduste akadeemias nn suur arutelu (ingl *The Great Debate*). Seda on raamatutes, ülikoolide kursustes ja internetiallikates küllaltki palju käsitletud. Ehkki spiraaludude teema oli toona aktuaalne, polnud kõnealune väitlus tegelikult kuigi suur ja õigupoolest ei peetud ka aru. Kaks astronoomi, Shapley ja Curtis, pidasid kumbki umbes poole tunnise ettekande ja oligi kõik. Ürituse korraldajatel polnud spiraaludude kohta selget arva-



Harlow Shapley arvates olid spiraaludud (punased ellipsid) väikesed ja asetsesid Linnutee (rohekassine ellips) sees. Heber Curtise hinnangul olid kõik spiraaludud samasugused tähesüsteemid nagu Linnutee, seega paiknesid sellest väljaspool

must, nad tahtsid lihtsalt teada, milliseid argumente võis nende kohta esitada, ja lootsid, et akadeemia liikmed on pädevad valima, milline neist paika peab. Nagu mainitud, ei järgnenud ettekannetele arutelu. Kuulajad kaldusid toetama Curtise seisukohta, kuna ta oli kõnelenud paremini. Shapley oli oma ettekande lihtsalt maha lugenud. Ajanappuse tõttu ei jõudnud kumbki esitada üksikasjalikke põhjendusi. Õieti neid ei olnudki.

Nii et küsimus, kas spiraaludud paiknevad Linnutee sees või on need samuti „linnuteed“ ja asuvad väljaspool, jäi endiselt lahendamata. Tähtsaid küsimusi ei ole astronoomias peaaegu kunagi õnnestunud lahendada arutelude käigus. Lahenduse annavad vaatlusandmed ja asjakohased arvutused.

Teine vaatus:

Ernst Öpik ja Andromeeda udu kaugus

Praegu teame, et Shapley teises argumentis viidatud „noova“ oli tegelikult supernoova ning et noovade abil määratud kaugused on enam-vähem täpsed. Valeks on osutunud ka Shapley kolmas argument ning neljandagi paikapidavus on kahtlane. Nimelt koosneb spiraalgalaktika M51 valdavalt siiski tähtedest, ehkki selle optilises piirkonnas annab teatud panuse ka ioniseeritud gaas.

Curtise argumentidest ei vasta tõele esimene.

Shapley ja Curtise arusaamade taustal otsustas Ernst Öpik Androme-

Öpikul oli anne leida argumentide rägastikust üles need, mis olid õiged, ja hüljata valed põhjendid.

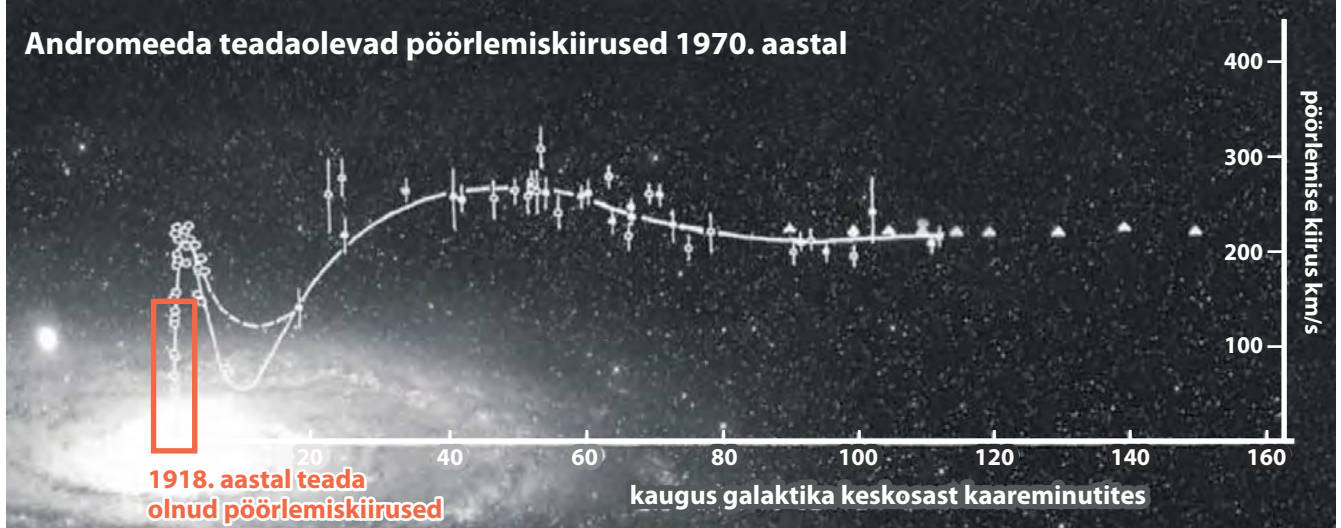
eda udu kauguse määrata vaatlusandmete ja arvutuste abil. Selleks pidi ta samuti lähtuma mõnest eeldusest. Öpikul oli anne leida argumentide rägastikust üles need, mis olid õiged, ja hüljata valed põhjendid. Tema seisukoha järgi olid Shapley kerasarvede kauguste mõõtmise andmed usaldusväärsed ja Linnutee mõõtmetelt suur. Curtise argumentidest oli Öpiku meelest veenev tõdemus, et spiraaludude valguse spektrid sarnanevad pigem tähtede spektrite summaga ja udude heledusjaotus sarnaneb Linnutee omaga ehk need on olemuselt sarnased süsteemid. Sellest tingimusest lähtuski ta Andromeeda kauguse määramisel.

Ernst Öpiku idee oli võtta aluseks Andromeeda pöörlemise andmed, eeldades, et spiraaludude ja Linnutee ning Andromeeda tähekoostis on ligikaudu ühesugune.

Arvutusteks sai Öpik kasutada ainult Andromeeda keskosa pöörlemise andmeid. Kui vaadata joonist Andromeeda pöörlemise kiirustest, mis olid teada 1970. aastal, ning pidada silmas Öpikul kasutada olnud väheseid andmeid (joonisel on see kiiruste osa piiristatud punase kastiga), võib vaid imestada, kuidas oli nõnda üldse võimalik asjaliku tulemuseni jõuda. Napid andmed ei olnud siiski takistus, sest Öpikule oli selge, et kui võrrelda pöörlemise kiirusi spiraaludu heleduse jaotusega, tuleb arvutustes kasutada ka heledusjaotusest üksnes võrdväärse siseosa andmeid.

Lihtsast Newtoni mehaanikast tuleb, et kui keha liigub teatud telgsümmeetrilises massijaotuses ringorbiidil raadiusega r , siis selle keha kiiruse ruut on võrdeline selle orbiidi sees oleva massiga M ja pöörd-võrdeline orbiidi raadiusega r . Tegelikult peame

Andromeeda teadaolevad pöörlemiskiirused 1970. aastal



Joonisel on näidatud Andromeeda pöörlemise kiirused, mis olenevad kaugusest galaktika keskosast. Punase kasti sees on need pöörlemiskiirused, mis olid mõõdetud 1918. aastal ja mida Öpik sai Andromeeda kauguse arvutamisel kasutada. Joonis on koostatud USA astronoomi Vera Rubini artikli illustatsiooni järgi, ilmunud 1970. aastal ajakirjas *Physics Today*

kauguse r asemel kasutama objekti nurkkaugust taevafääril. Üleminek tavaliselt kauguselt nurkkaugusele oleneb sellest, kui kaugel asub uuritava galaktika meist. Olgu see uuritava galaktika kaugus D . Seega oleneb ka pöörlemise kiiruse ruut uuritava galaktika kaugusest meist (on sellega pöördvõrdeline). Meenutame, et just uuritava galaktika kaugust (D) Öpik sooviski määrata.

Teisalt oli Öpikul teada Andromeeda heledusejaotus, mille ta oli ise mõõtnud Tartu tähetorni Petzvali teleskoobi kaameraga saadud fotolt. See foto ei ole säilinud, kuid arvatavasti ei erinenud see väga palju siinset artiklit illustreeriva pöörlemiskiiruste joonise taustapildist.

Niisiis olid Öpikul kasutada vaid Andromeeda galaktika keskosa pöörlemise andmed: need, mis piirdusid pöörlemiskiiruse pildile joonistatud punase kasti osa teabega. Seega pidi Öpik Andromeeda heleduse jaotuses piirduma samuti üksnes selle osaga, mis mahtus punase kasti laiuse sisse. Kõnealuse punase kasti laius oligi eelpool märgitud raadius r .

Olgu L samuti raadiuse r sees olev tõeline galaktika heledus. Tegelikult me mõõdame vaid näivat heledust l ,

1922. aasta juunis avaldati ajakirjas *The Astrophysical Journal* Ernst Öpiku artikkel Andromeeda galaktika kauguse määramise kohta. Pildil on artikli algusosa
THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, VOL 55, LK 406, 1922

AN ESTIMATE OF THE DISTANCE OF THE ANDROMEDA NEBULA

By E. ÖPİK

ABSTRACT

Andromeda Nebula.—Assuming the centripetal acceleration at a distance r from the center is equal to the gravitational acceleration due to the mass inside the sphere of radius r , an expression is derived for the *absolute distance* in terms of the linear speed v_0 at an angular distance ρ from the center, the apparent luminosity i , and E , the energy radiated per unit mass. From observations, v_0 comes out 157 km/sec. for $\rho = 150''$; and giving i a value corresponding to magnitude 6.1, and assuming E the same as for our Galaxy, the distance is computed to be 450,000 parsecs. This result is in agreement with that obtained by several independent methods. If it is correct, the mass within $150''$ of the center is about 4.5×10^9 times the sun's mass, and the nebula is a stellar universe comparable with our Galaxy. *The ratio of the axes of the central ellipsoid*, whose shape is supposed to be due to rotation, was determined from photographs to be about 0.79.

Various estimates of the distance of the Andromeda Nebula have been made hitherto by H. Shapley,¹ H. D. Curtis,² K. Lundmark,³ Luplau-Janssen and Haarh⁴ and others; these estimates, based on the hypothesis that the Nebula consists of stellar matter similar to the matter of our Galaxy, lead to a distance of about 10^5 to 10^6 parsecs. Here we shall propose a method based on observed rotational movement, a method which may be applied to any nebula or cosmic system provided sufficient data are available. The principle is the same as that used by Campbell and Moore⁵ to estimate the minimum mass of a planetary nebula.

Let v_0 be the velocity of motion along a circular orbit at a given point of the nebula, r , the distance from the center in astronomical units, M , the mass of the nebula within the radius r ($\odot = 1$), w , the orbital velocity of the earth; then

$$\left(\frac{v_0}{w}\right)^2 = \frac{M}{r}. \quad (1)$$

¹ *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 29, 216, 1917.

² *Ibid.*, 29, 206, 1917.

³ *Astronomische Nachrichten*, 209, 378, 1919.

⁴ *Ibid.*, 215, 285, 1922.

⁵ *Lick Observatory Bulletin*, 9, 4, 1916.

mis oleneb taas uuritava galaktika kaugusest D ning on pöördvõrdeline selle kauguse ruuduga. Meenutame nüüd, et samamoodi kui Curtis oli Öpik seisukohal, et Linnutee ja Andromeeda tähekoostised on ligikaudu ühesugused: nende spektrid olid ju sarnased. Tähekoostist iseloomustab tähtede keskmine massi ja heleduse suhe. Linnuteel oli see suhe 2,6 Päikese ühikutes. Kõiki saadud seoseid kokku võttes leidis Öpik, et uuritava galaktika kauguse D saab välja arvutada, kui teame galaktika pöörlemiskiirust, näivat heledust ja tähtede keskmine massi ja heleduse suhet. Pöörlemise kiirus ja näiv heledus peavad muidugi vastama samale nurkkaugusele. Lisanud oma valemisse arvud, sai Öpik 1922. aastal Tartus Andromeeda kauguseks 450 kiloparsekit ehk ligi 1,5 miljonit valgusaastat.

Muide, 1924.–1925. aastal oli Edwin Hubble saanud Andromeedas avastatud regulaarselt muutuva heledusega tähtede ehk tsefeiidide alusel selle galaktika kauguseks 290 kiloparsekit. Walter Baade kontrollis nn tsefeiidide meetodi 1944. aastal üle ja seeläbi suuresid muutlike tähtede abil määratud galaktikate kaugused kaks korda ehk Hubble'i saadud Andromeeda kaugus hakkas klappima Öpiku tulemusega. Praegu on Andromeeda kauguseks hinnatud 780 kiloparsekit ehk umbes 2,5 miljonit valgusaastat, mis tähendab, et Öpik oli selle vahemaa määranud üllatavalt täpselt.

Viimane vaatus: tulevik

Peale Andromeeda kauguse määramise arvutas Öpik välja ka selle keskosa massi, saades tulemuseks 1,7 miljardit Päikese massi. Hinnanguliselt kogu Andromeeda tähelise osa massiks sai ta 4,5 miljardit Päikese massi. Hiljem on seda tulemust kasutanud näiteks Hubble, et hinnata lähima universumi kogumassi.

Aga see pole Ernst Öpiku määrangu ainus rakendus. Öpik eeldas, et galaktikate tähekoostise massi ja heleduse

Ernst Öpik on ka ise märkinud, et tema leitud galaktika kauguse arvutamise viisi saab rakendada paljude teistegi tähesüsteemide korral, kuid ta ei aimanud, et see meetod toimib niivõrd edukalt.

1915: NEELDUMINE LINNUTEES EHK KUI PALJU VÕIKS LINNUTEES OLLA NÄHTAMATUT AINET

Esimese olulise teadustöö tegemise ajal oli Ernst Öpik ainult 21- või 22-aastane ja neljanda või viienda kursuse üliõpilane. Selles töös käsitles ta aine tihedust Päikese ümbruses. Kuna astronoomias oli vaja kõik heleduste mõõtmised parandada kosmose üldise neelava aine mõjust, pidi selleks teadma, kui palju seda ollust (nüüdiskeeles „kosmiline tolm“) on. Öpik leidis, et Päikese ümbruses saab aine tiheduse välja arvutada, kui panna teadaolevad tähtede liikumise kiirused (vaatlusandmed) Linnutee dünaamikat kirjeldavatesse võrranditesse. Sellise meetodiga saadakse kõikide ainevormide kogutihedus. Võrreldes tulemust teadaoleva nähtava aine kogusega Päikese ümbruses, saabki leida, kui palju leidub seal nähtamatut ainet ehk siis tolmu.

Ernst Öpiku kasutatud teooria oli igati korrektne. Selles ei olnud midagi revolutsioonilist, aga lõpukursuse üliõpilase kohta oli töö lausa suurepärase. Uuringu tulemusel jõudis Öpik järeldusele, et Päikese ümbruses on nn lokaalne dünaamiline tihedus ligikaudu võrdne teadaoleva aine panusega. Ehk siis: Päikese ümbruses ei leidu märkimisväärses koguses tundmatut ainet.

Öpiku probleemipüstituses oli tundmatuks olluseks valgust neelav aine, ent nüüdsel ajal uuritakse samal moel tumeainet. Seejuures langevad meie astronoomide Jaan Einasto, Grigori Kuzmini ja Mihkel Jõeveeri eri ajal saadud arvutustulemused Öpiku omadega hästi kokku.

Nn lokaalse aine tiheduse probleemil on oluline järeldus. Me teame, et universumis tervikuna leidub palju tumeainet. Küsimus on, kus see paikneb. Kui lokaalne tihedus oleks suur, võiks tumeaine olla jaotunud tiheda kettana nagu nähtav aine. Ent kui lokaalne tihedus on väike, peab tumeaine olema jaotunud ulatusliku halona ümber nähtavate galaktikate. Öpiku tulemus toetas viimast varianti, mis, nagu me praegu teame, ongi õige. •

suhe on ligikaudu konstantne. Selle eeldusega põhjendatakse praegusajal nn Tully-Fisheri seadust, mis seob galaktika heleduse tema keskmine pöörlemiskiirusega. Niisuguse seose leidsid 1977. aastal astronoomid Brent Tully ja Richard Fisher. Säärast vastavust saab selgitada, kui eeldada, et galaktikate pöörlemise kõverad on tasased (galaktikaketas paikneb tumeaine halos) ning massi ja heleduse suhe on konstantne. Sisuliselt on see Öpiku eeldus.

Ernst Öpik on ka ise 1922. aasta juunis ajakirjas *The Astrophysical Journal* ilmunud artiklis märkinud, et tema leitud galaktika kauguse arvutamise viisi saab rakendada paljude teistegi tähesüsteemide korral, kuid ta ei aimanud, et see meetod toimib niivõrd edukalt. Tully-Fisheri seadust rakendatakse praegu astronoomias väga laialdaselt, sest see võimaldab galaktikate kaugusi määrata universumi paisumisest sõltumatult ja seda saab kasutada ka väga kaugete galaktikate korral.

Ernst Öpiku kõnealust uurimistööd küll märgati ja sellele viidati, kuid see jäi omal ajal siiski vajaliku tähelepannuta, sest kauguste määramist tsefeiidide abil peeti täpsemaks. Praeguseks

on üsna hästi teada, et nn tsefeiidide meetod on täpne vaid siis, kui tsefeiidide omadused (perioodi ja heleduse seos) on täpselt kindlaks tehtud. Samas on tsefeiidide abil võimalik kaugusi määrata üksnes kuni 25–30 megaparsekini. Tully-Fisheri meetod, milles on Öpiku meetod sisuliselt taasavastatud, võimaldab kaugusi määrata rahuldava täpsusega vähemalt suurusjärgu võrra kaugemal. •

LOE LISAKS:


Einasto, Jaan 2006. Tumeaine lugu. Meenutusi kolleegidest. Ernst Öpik. Ilmamaa, Tartu, 211–214.

Jõeveer, Mihkel 1993. Ernst Öpik – viimane suur kõiketeadja. – Akadeemia 5, 2051–2061.

Leedjärv, Laurits 2018. Hingepõhjast välja tunginud teadus: Ernst Öpik 125. – Sirp, 14. det.

Öpik, Ernst Julius 1977. About dogma in science and other recollections of an astronomer. – Annual Review of Astronomy and Astrophysics 51, 1–17.

Öpik, Ernst 2004. Meie kosmiline saatus. Ilmamaa, Tartu.

 **Peeter Tenjes** (1955) on astrofüüsik, Tartu ülikooli Tartu observatooriumi galaktikate füüsika ja kosmoloogia osakonna kaasprofessor. Teadustöö põhiteemad on galaktikate fotomeetria, tähesüsteemide fotomeetrilised ja kinemaatilised mudelid, galaktikate allsüsteemide ning kaugete galaktikate struktuur ja teke, galaktikate struktuur eri keskkonnas ja tähesüsteemide dünaamika.



reolink

KEEN Ranger PT 4G



Aku ja päiksepaneeliga



2K resolutsioon



Nutikas liikumise tuvastus



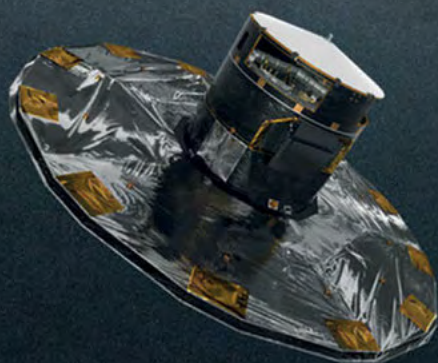
360° pööratav ja kallutatav vaatenurk



Öönägemine

RAIN KIPPER

GAIA TELESKOOP PALJASTAB LINNUTEE SALADUSI



autoriõigus MTÜ Loodusajakiri

Milline näeb välja meie kodugalaktika? Pilti selle kohta paneb kosmoses kokku teleskoop Gaia.

Enamik tähti, sealhulgas Päike, paikneb mõnes galaktikas. Galaktikat, kus asub meie Päike, kutsume Linnuteeks. Pimedas öötaevas on see märgatav nõrgalt helendava ribana, mis läbib Luige tähtkuju. Taevas näeme ainult Linnutee tähti, kuid iga galaktika on ühtlasi gaasi, kosmilise tolmu (vähe läbipaistev suitsjas gaas) ja tumeaine kogum. Seda süsteemi hoiab koos ühine gravitatsiooniväli. Kui seda poleks, hajuks Linnutee universumi avarustesse ja lakkaks olemast. Astrofüüsika paljude teadustööde ja satelliitide, muu hulgas Gaia, siht ongi uurida gravitatsioonilist tasakaalu, et saada teada, mis toimub Linnuteega. Peale selle on Gaia vaatlused andnud võimaluse uurida, millised varasemad suured sündmused on mõjutanud Linnutee arengut.

Milline on Linnutee?

Et mõista Linnutee protsesse, on tähtis teada saada, kuidas Linnutee välja näeb ning missugused on osad, millest ta koosneb. Enamik meie galaktika koostisosi on üldjoontes teada: kesksel kohal asub täheketas, kus enamjagu

tähti tiirleb ringjatel orbiitidel. Samuti paikneb siin gaasiketas, milles sünnivad noored tähed, ja kosmilist tolmu sisaldav tolmuketat, mis neelab kaugemal olevate tähtede valgust ja takistab seega Linnutee uurimist. Peale selle on siin täheline halo, mis asetseb sfääriliselt ümber täheketta ja selle sees, ning tumeaine halo, kus eeldatavasti (!) leidub arvukalt väiksemaid alamhalosid. Kui me need alamhalod lõpuks üles leiame, oleme astunud pika sammu tumeaine mõistmise poole.

Peale eelnenu on Linnutee kettast leitud ebastabiilsuse ilminguid, mida nimetatakse varvaks: tegemist on n-õ keskse pulgaga galaktikas, mille pöörlemise tõttu liigub aine kettas edasi-tagasi.

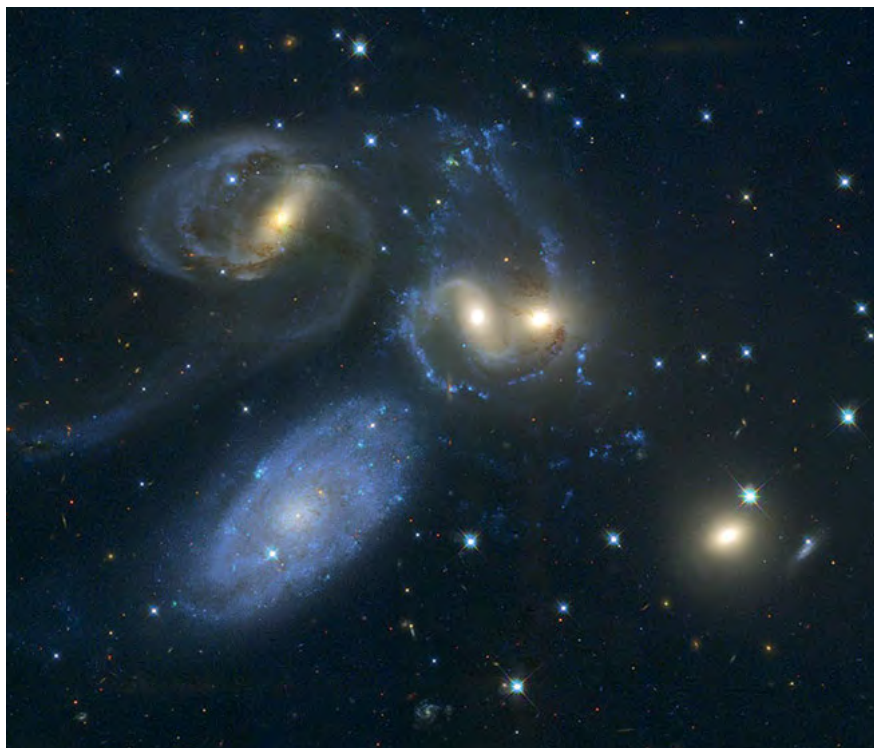
Kõik need komponendid on galaktikas segi ja sõltuvad üksteisest. Selleks et saada teada, mismoodi Linnutee tegelikult välja näeb, tuleks seda kas väga kõrgelt pildistada või uurida selle nähtavat piirkonda täht tähe haaval ning panna selle põhjal kokku üldpilt. Praeguse tehnoloogiaga on võimalik ainult viimane variant.

MIS ON GAIA?

Gaia on kosmoseteleskoop, mille eesmärk on mõõta tähtede kaugusi ja nende liikumist taevastähtedel, rakendades parallaktilist meetodit (vt joonist lk 66). Selleks on vaja tähe asukoht kindlaks määrata võimalikult täpselt, vältides atmosfääri mõjutusi. Kaamera sensoril, mis muundab optilise kujutise elektrisignaali, peab olema võimalikult palju pikseleid. Vältimaks atmosfääri mõjusid, ei asetse Gaia teleskoop Maa peal, vaid kosmoses, meist umbkaudu 1,5 miljoni kilomeetri kaugusel. Et tähtede asukohad võimalikult täpselt kirja saada, on Gaia fokaaltasandis 106 sensorit, igaüks 4500 × 1966 pikslit suur, mis võimaldab määrata heledate tähtede asukohti 6,7-mikrokaaresekundi täpsusega. Selline nurklahutus lubaks Maalt vaadates eristada Kuu peal sentimeetriseid objekte. Sellest piisab, et äärmiselt täpselt määrata lähedal olevate tähtede kaugust, kuid kaugemad tähed panevad ka Gaia proovile. Teiseks mõõdab Gaia tähtede liikumist taevastasandis ehk seda, kuidas tähtede asukohad üksteise suhtes aastate jooksul muutuvad. Kuna sellegi tarbeks on vaja asukohti väga täpselt määrata, täidab Gaia neid ülesandeid koos.

Gaia satelliit startis orbiidile 19. detsembril 2013. aastal. Esialgu oli plaanis vaatlusi koguda viis aastat. Nüüd on Gaia tööperioodi pikendatud. Selle aja jooksul on Gaia välja andnud kolm andmekataloogi. Gaia tööaega on võimalik pikendada veel ainult kaheks aastaks, 2024. aasta novembrini, sest siis Gaia kütusetagavara lõpeb. •

Kunstniku nägemus Gaia kosmoseteleskoobi tööpäevast kosmoses. Lai krae pakub kaitset Päikese kiirguse eest ning aitab hoida teleskoobi seadmeid jahedana ja heas töökorras. Taustal oleva Linnutee all paremal on näha meie naabergalaktikad Väike ja Suur Magalhãesi Pilv



HUBBLE LEGACY ARCHIVE, ESA, NASA / AL KELLY

Pildil on näha, kuivõrd mitmekesised võivad olla galaktikad. Tegu on Stephani kvintetiga, s.o viie galaktika kooslus väga väikeses taevapiirkonnas

Mida Gaia teeb?

Gaia missiooni eesmärk on Linnutee võimalikult täpselt, täht tähe haaval üles võtta. Tema eelkäija Hipparcos suutis seda teha vaid väga lähedase piirkonna kohta (umbes 120 000 täpset mõõtmist ja ligikaudu 2,5 miljonit vähem täpset), kuid Gaia suudab anda ülevaate 1 811 709 771 tähe, asteroidi ja muu objekti kohta, seega tunduvalt rohkem.

Hinnanguliselt vaatleb Gaia ainult umbes üht protsenti kõikidest Linnutee tähtedest, kuna enamik tähti on väga väikese heledusega ja tolmuksa poolt varjatud. Aga nendest piisab, et kirjeldada Linnutee ehitust, sest üldjoontes annavad nad statistiliselt piisavalt hea ülevaate. Teiseks mõõdab Gaia tähtede kiirust ja trajektoore. Kuna tähed, sh Päike, mis on Gaia n-ö püsipunkt, liiguvad taevas, muutuvad nende asukohad pidevalt ja nii saab neid asukohti järjekindlalt mõõtes välja selgitada tähtede liikumise teed.

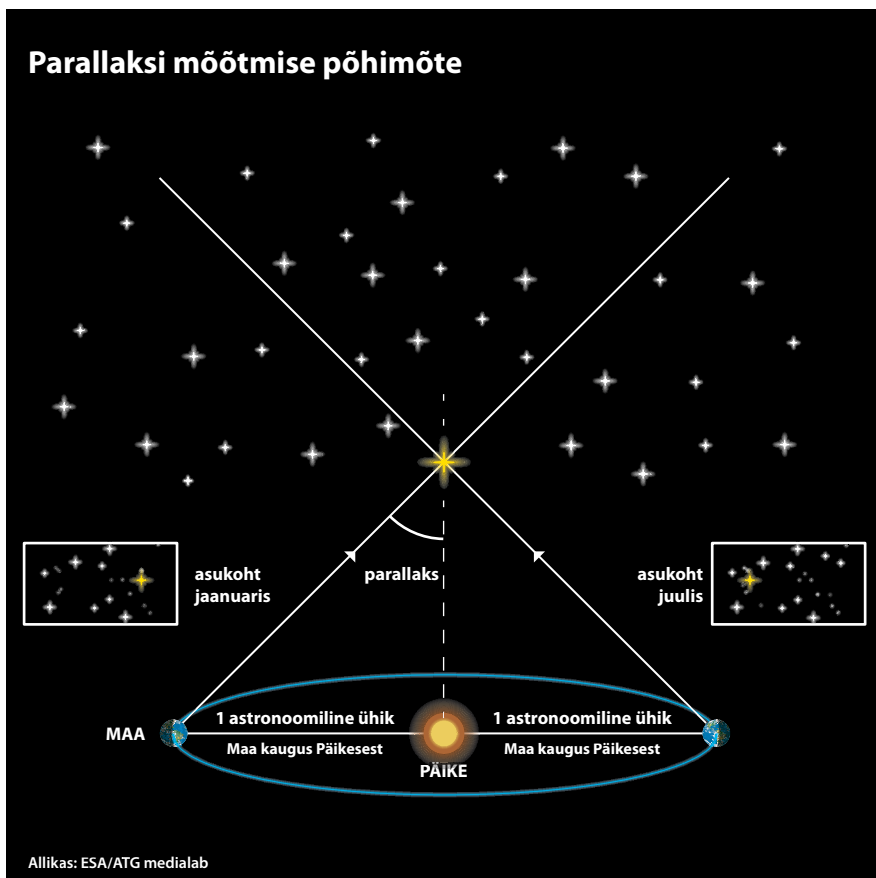
Peale selle on tähtedel radiaalne kiirus ehk Maast eemaldumise kiirus, mida Gaia mõõdab spektromeetriga.

Gaia-Enceladus, puruks rebitud galaktika

Gaia andmestik on uudne ja ainulaadne. See annab võimaluse teha uusi teadusavastusi, kuid seda võib pärssida üüratu andmehulk. Gaia andmestik kujutab endast tohutut tabelit, mis sisaldab tähtede parallakse (1/kaugus vaatlejast), liikumiskiirusi ja asukohti taevas ning suurt hulka parameetreid, mis kirjeldavad iga tähe mõõtmise täpsusi. Sellise tabeli alusel ei ole lihtne avastusi teha, kui teadlane väga täpselt ei tea, mida otsida. Ehk teisisõnu, avastada on lihtsam, kui võrrelda vaatlusi sellega, mis teadlase arvates peaks teatud kohta peal olema.

Enamjaolt peetakse halo tekke põhjuseks pörkeid paljude väiksemate kääbusgalaktikatega. Kääbusgalaktikad, mis satuvad liialt lähedale ja kiiresti ei lahku, rebitakse Linnutee gravitatsiooni tõttu juppideks, mis jäävad halokujuliselt Linnutee ümber tiirlema. Paljude kääbusgalaktikate koostõttu moodustuvad tähehalod.

2018. aastal rehkendas Cambridge'i



Nagu pildilt näha, nihkub meile lähedal olev täht teiste tähtede suhtes sedamööda, kummal pool Päikest me parajasti asume. See nihe on omakorda sellest, kui kaugel asub uuritav täht. Võrreldes tähtede täpseid asukohti teiste tähtede suhtes eri aastaaegadel, saab hinnata tähtede kaugust

Gaia missiooni eesmärk on Linnutee võimalikult täpselt, täht tähe haaval üles võtta.

ülikooli professor Vasily Belokurov koos kolleegidega välja, et kui osa tähehalost oleks tekkinud kääbustest suuremate galaktikate tõttu, siis teoreetiliselt peaksid teatud sorti muutlikud tähed, RR Lyra tähed, moodustama Linnutee halos spetsiifilisi alamstruktuure. Need alamstruktuurid oleksid järeldaja olukorrale, kus Linnutee halo tekkinuks kokkupõrkest ühe mõõduka galaktikaga. Tol ajal polnud seda võimalik vaatlustega piisavalt hästi kontrollida, nii et projekt jäi pooleli. Ent Gaia andmete avaldamise järel saadi õigelt pea kinnitus, et Linnutee halo sisaldabki selliseid alamstruktuure.

Kõhklevamal teadlasel võib tekkida küsimus, kas kokkupõrge on sellise alamstruktuuri tekke ainus võimalus. Kas me võime väita, et Linnutee põrkas minevikus tõesti kokku mõne teise galaktikaga? Saame küll: tänu õnnelikule asjaolule, et põrkuv galaktika tuli Linnutee pöörlemisega vastassuunast ja põrke jälgi saab endiselt kindlaks teha (vt joonist 3). Teine võimalus oluaks see, et kunagi oli kettast mingil põhjusel välja lennutatud hulk

tähti ja need jäid halosse tiirlema. Sel juhul tiirleksid need RR Lyra tähed nagu ketaski, ainult et kõrgemalt, mis ei sobi kokku Gaia vaatlustega. Gaia vaatlustulemused näitavad nimelt, et need alamstruktuurid pöörlevad kergelt vastupidi, mis tähendab, et tegemist saab olla ainult põrke tagajärgena. See avastus oli suur samm Linnutee tekke mõistmisel.

Tähejoad

Peale keerukamate alamstruktuuride, mille kaasabil on avastatud Gaia-Enceladus, leidub Linnutee halos väljavenitatud struktuure, mida nimetatakse tähejugadeks. Need on kaardus ja piklikud täherajad (vt joonist 4).

Linnutee pöörleb ebaühtlaselt: kaugemad piirkonnad teevad tiiru ümber tsentri pikema ajaga kui lähemad piir-

Linnutee pöörleb ebaühtlaselt: kaugemad piirkonnad teevad tiiru ümber tsentri pikema ajaga kui lähemad piirkonnad.

konnad. Kujutame ette, et Linnutee halos tiirleb piisava ulatusega objekt, kas mõni väiksem galaktika või kerapärav – ülitihed, ent väike täheparv. Kui sellise objekti välisosad pole väga tugevalt seotud siseosadega, siis määrab nende liikumise Linnutee gravitatsioon, mille tõttu tiirlevad objekti välisosad aeglasemalt kui siseosad. Tähejoad tekkes täpselt nii juhtubki: aeglasemalt tiirlevad välisosad jäävad kiiremini tiirlevatest sisemistest piirkondadest maha. Teisisõnu, nad nihkuvad üksteise suhtes. Kuna objekt on olemas ka vahepealsed alad ja vahepealsed tiirlemiskiirused, tekib kiirete ja aeglaste osade vahele pidev ühendus – tähejoad.

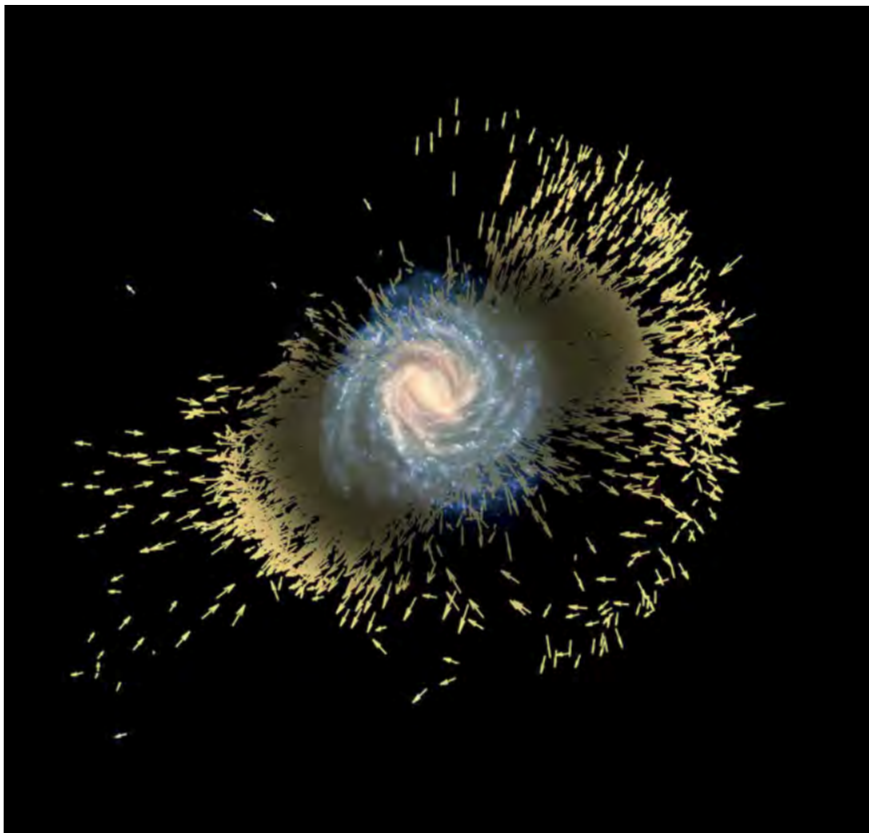
Enamik tähejugasid on halos nõrgad objektid, neid on äärmiselt keerukas uurida ja leida. Veidi enne seda, kui avalikustati Gaia andmed (esmalta tuli teha hulganisti kalibreerimisi ja katseid), töötasid paljud töörühmad välja meetodikat, kuidas tähejugasid kõige paremini leida ja analüüsida. Üks meetodika, STREAMFINDER, läks käiku kohe, kui Gaia andmed said kättesaadavaks. Peatselt tulid ka avastused. Uue meetodika abil suudeti Gaia andmetest leida juba teadaolevad tähejoad ning avastada ka kaheksa uut, millele on antud nimed Norra mütooloogiast tuntud jõgede järgi: Slidr, Sylgr, Ylgr, Fimbulbul, Svöl, Fjörm, Gjöll ja Leiptr. Tõepoolest, nad meenuvadki taevas jõgesid.

Ent tähejugade avastamine on üksnes esimene samm. Selleks et need aitaksid mõista astrofüüsikalisi protsesse, tuleb neid põhjalikumalt uurida.

Segadused kettas

Üks astrofüüsika suurimaid sihte on endiselt leida tumeaine. Et teha kindlaks tumeaine kogus ja jaotus, on seni uuritud peamiselt galaktika ketaste liikumist ja selle järgi rehkendatud, kui palju peab olema galaktikas ainet ja kuidas see peab olema jaotunud. Kuna galaktikad on püsinud universumis miljardeid aastaid sarnased, eeldatakse, et nende välimus on stabiliseerunud. Enamik dünaamika rehkend-

Tähejugade avastamine on üksnes esimene samm. Selleks et need aitaksid mõista astrofüüsikalisi protsesse, tuleb neid põhjalikumalt uurida.



ESA / KOPPELMAN, VILLALOBOS, HELMI

Gaia-Enceladus oli kunagi täiemõõduline galaktika, mille rebisid puruks Linnutee loodelised jõud. Gaia andmete põhjal olid teadlased suutelised tuvastama tähtede kogumi, millest see galaktika koosnes. Pildil kunstniku nägemus Gaia-Enceladuse galaktika purunemisest. Kollaste noolekestega on märgitud Gaia-Enceladuse galaktikasse kuulunud tähtede asukohad ja liikumissuunad

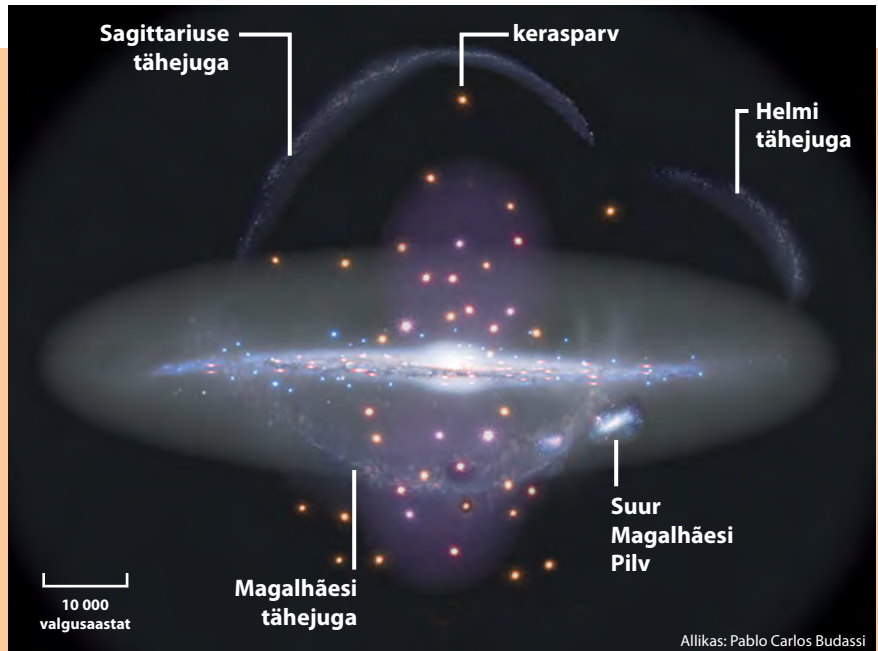
TÄHEJOAD AITAVAD TUMEAINET UURIDA

Teadlaste huvi tähejuga vastu on ajendatud peamiselt sellest, et nende abil saab suurepäraselt uurida tumeainet. Osa tähejuga erilisus väljendub nende „külmuses“. Tähejoad jaotatakse soojadeks ja külmadeks selle järgi, kui kiiresti tähed neis liiguvad.

Kõik tähejoad tekivad mingi objekti, näiteks kerasarve või satelliitgalaktika osalisel või täielikul lagunemisel; juga moodustub, kui tähed selle objekti suhtes ümber paiknevad. Linnutee keskmele lähemal liiguvad kõik asjad suurema nurkkiirusega, kaugemal aga aeglasemalt. Kui tähed lahkuvad objektist kas liiga lähedale või liiga kaugemale, hakkavad nad triivima natuke kiiremini või aeglasemalt kui päritoluobjekt. Eri aegadel lahkunud tähed on jõudnud eri kaugusele ning moodustavad halosse pikliku triibu, s.o tähejoa.

Soojad tähejoad tekivad siis, kui lagunenud objekt on satelliitgalaktika, sel juhul on joa laius ja kiirus selle sees seotud satelliidi algsete kiirustega. Külmad tähejoad omakorda kujunevad kerasarvedest. Kuna juhuslik liikumine kerasarvedes on märkimisväärselt aeglasem, on tähejoas olevate tähte kiirus samuti väiksem, seega on tähejuga külmem.

Külmade tähejuga juhuliku liikumise kiirus on umbes 2 km/s. Maistes oludes on kahe kilomeetri läbimine sekundiga päris tähelepanuväärne kiirus – Tartust Tallinna



Sellised võiksid olla tähejoad, kui me näeksite Linnuteed eemalt. Pildil on kujutatud kolme tähejuga, mis on tekkinud satelliitgalaktikast: Helmi, Magalhãesi ja Sagittariuse tähejuga. Kerasarved, mis on küll potentsiaalsed jugade allikad, siin joonisel neid ei tehta

jõuaks siis umbes 90 sekundiga –, kuid astrofüüsika seisukohalt pole seda kuigi palju. Näiteks tiirleb Maa ümber Päikese kiirusega 30 km/s. Väike kiirus teeb tähejuga suurepärased teabetalletajad: kui nendega midagi juhtub, siis ei kõrvalda nende sisemised liikumised sündmuste jälgi. „Kui midagi juhtub“ all peame eelkõige silmas pörkeid tumeaine alamhalodega: pörgete jäljed jäävad püsima! Niisiis, mis juhtub tähejoaga, kui alamhalo

temast läbi liigub? Joa keskele jääb auk, sest alamhalo põhjustatud kiirendus sunnib tähti tähejoast lahkuma. Kuna alamhalosid ei ole võimalik leida muud moodi kui ainult gravitatsiooniliste mõjude kaudu, annab tähejuga uurimine selleks ainulaadse võimaluse. Praegu alles plaanitakse hakata tähejuga-dest otsima alamhalode jälgi, sest vaja läheb märksa pikemaajalisi Gaia vaatlusi. •

dusi põhineb stabiilsuse/statsionaarsuse eeldusel: kui täht liigub ära kohast X, siis tuleb selle asemele peagi järgmine täht, nii et galaktika üldine tähejaotus jääb samaks.

Seda nähtust on eriti hea uurida Linnutees, sest erinevalt teistest galaktikatest saame siin eristada üksikuid tähti.

Gaia vaatlused on toonud palju elevust ka Linnutee ketta uurijatele. Üsna varsti pärast Gaia teise andmekataloogi avaldamist ilmus ajakirjas Nature Barcelona ülikooli teadlase Teresa Antoja eestvõttel artikkel, mille põhjal ei ole kiiruste väli Päikese lähedal sugugi nii ilus ja ühtlane, kui seni arvatud. Artiklis jõuti järeldusele, et tähtede üles-alla liikumine kettas oleneb sellest, kui kiiresti konkreetne täht galaktikas tiirleb. Seda avastust hakati nimetama faasiruumi spiraaliks. Lihtsamalt seletades tähendab see

sesta, et kui galaktikast lahkub näiteks teatud kõrgusel paiknev ja üles liikuv täht, siis ei tule selle asemele uus samaväärne, vaid selline, mis tiirleb kiiremini ümber Linnutee. See põhjustab üldisi muutusi Linnutee kettas ning kaua kasutatud stabiilsuse lähtekoht ei pea seetõttu päris täpselt paikama. See omakorda tähendab, et seniste meetoditega tumeaine jaotust väga täpselt leida ei saa.

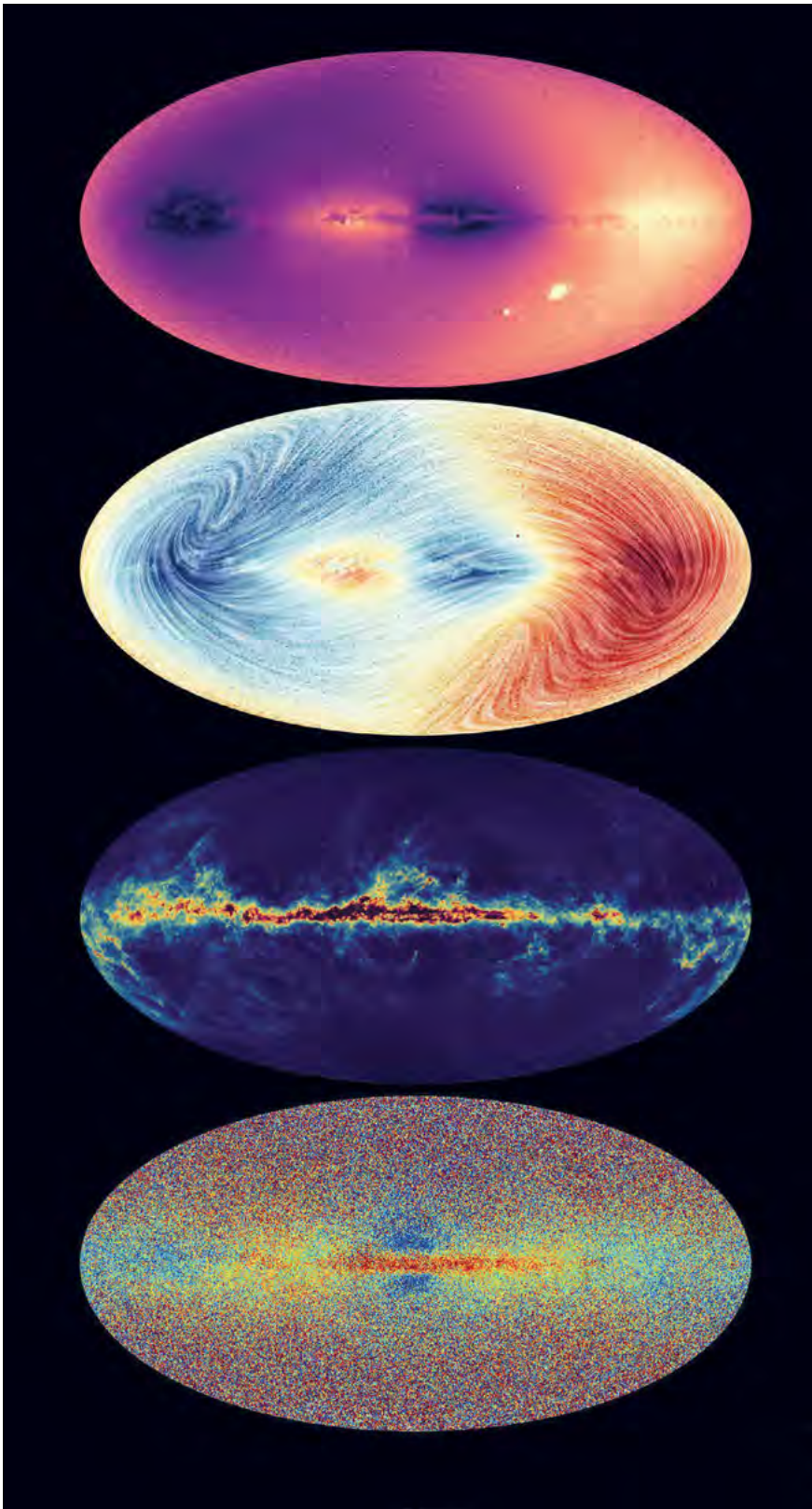
Võib küsida, kas neid mõjutusi saab kuidagi kompenseerida. Selleks on vaja saada teada faasiruumi spiraali põhjus. Ühe oletuse järgi võib olla tegemist Linnuteest läbi lennanud väiksema galaktika järellainetusega. Ent tegu võib olla ka resonantsiga: Linnutee varb ja osa tähti võib liikuda samalaadse nurkkiirusega ning enim on mõjutatud tähed, mis seda nurkkiirust kõige paremini tabavad. Lõplikult ei olegi selgunud, mis kohalikke häiri-

tusi põhjustab ning kas põhjusi on üks või mitu kombinatsioonis.

Seega annab Gaia satelliit ühelt poolt võimaluse uurida nähtusi uue nurga alt, kuid sunnib teisalt kasutama üha keerulisemaid uurimismeetodeid.

Mustad augud

Gaia teleskoobiga saadud andmete alusel on olnud võimalik uurida ka tähtede ebatavalist liikumist. Tüüpiliselt liigub tavaline täht miljonite aastate vältel üsna sirgjooneliselt; kõrvalekaldeid ajendab üksnes tiirlemine ümber Linnutee keskmele. Kui aga leitakse täht, mis teeb taevas väga äkilisi jõnkse, siis tiirleb see ümber musta augu. Musta auku me ei näe, näeme vaid seda, et täht liigub taevas muutliku trajektooriga ja teekonna muutlikkus vastab tiirlemisperioodile ümber musta augu, antud juhul umbes pool



Gaia on suutnud anda meile ülevaate, mis on Linnuteega seni juhtunud ja juhtub tulevikus. Pildil on esitatud taevakaardid, mis näitavad 1) millised tähed liiguvad meist eemale ja millised meie poole; 2) lisatud on jooned, mis iseloomustavad, mis suunas nad taevas liiguvad; 3) Gaia täpsete mõõtmiste järgi saab hinnata sedagi, kui palju tolmu jääb meie ja tähtede vahele, millest saame aimu, kui suur osa Linnuteest jääb meil tegelikult nägemata; 4) peale tähtede asukohtade ja liikumise võimaldab keemiline analüüs öelda üht-teist tähetekke piirkonna kohta

Gaia andmete põhjal on avastatud palju põnevat, leitud nii lahendusi pikalt teadlasi vaevanud küsimustele kui ka uusi probleeme, millega tegeleda.


aastat. Seega on tähtede asukohtade täpne uurimine taevalaotusel andnud võimaluse avastada musti auke tähtede ümber.

Tolmukaart

Kõik Gaia andmete põhjal saavutatu ei ole eriti suurejooneline ega uude teadusväärtusega, osa tehtust on astronoomidele lihtsalt väga praktilised asjad. Üks sellistest on Linnutee tolmu kaart. Miks meil on sellist kaarti vaja? Kosmiline tolmu võimaldab täpsemalt määrata tähe koguheledust, millest saab omakorda tuletada tähe raadiuse.

Tolmukaart koostatakse väga väikese osa Gaia vaatluste järgi ja laiendatakse ülejäänule. Kaardi koostamiseks on vaja teada kahe sarnase heledusega (spektriga) tähe kaugust. Kui nende algne heledus on sama, saab nende kaugusi teades (kaugemad on alati nõrgemad) arvutada, kui heledana nad peaksid meile paistma. Kui arvutused ei klapi, siis on teada, et osa valgust on vahepeal kaduma läinud ehk neeldunud tolmus. Seega saame heleduse erinevust mõõtes teada, kui palju kosmilist tolmu nende tähtede vahel leidub.

Kokku võttes: Gaia andmete põhjal on avastatud palju põnevat, leitud nii lahendusi pikalt teadlasi vaevanud küsimustele kui ka uusi probleeme, millega tegeleda. Oleme saanud teada, et Linnutee ajaloos on olnud vähemalt üks kokkupõrge teise galaktikaga, kuid on vihjeid, et Gaia-Enceladus pole ainus. Tänu Gaiale on avastatud uusi tähejugasid, mille abil saab uurida tumeainet, ning välja selgitatud, et Linnutee ketas sisaldab palju keerukaid struktuure. Kahtlemata on meie kodugalaktika uurimine keeruline, kuid põnev ülesanne, ja Gaial on selles keskne roll. •

 **Rain Kipper** (1988) on Tartu ülikooli Tartu observatooriumi astrofüüsika kaasprofessor, kes uurib Linnutee ja teiste galaktikate dünaamikat. Teadustöös keskendunud küsimusele, mis on tumeaine.

PEETER TENJES

GALAKTIKAD MOODUSTAVAD HIIGLASLIKKE PARVESID

Neitsi ehk Virgo galaktikaparve kese on Neitsi tähtkujus umbes 54 miljoni valgusaasta kaugusel. Parve kuulub ligikaudu 2000 galaktikat. Enamik neist on kääbusgalaktikad, kuid seal leidub ka suuri spiraal- ja elliptilisi galaktikaid. Parve heledaim galaktika on Messier 49, üks suuremaid aga Messier 87

Galaktikaid tõmbab üksteise poole nagu inimesi. Neist moodustunud parved on arvatavasti suurimad teadaolevad gravitatsiooniliselt seotud süsteemid meile tuntud universumis. Rühmadesse koondumine aitab galaktikatel gravitatsioonilises konkurentsivõitluses ellu jääda.

Tõelist parvede kuju on otseselt küllaltki raske kindlaks teha, sest me näeme kõike üksnes taevastähtede projektsioonina ning galaktikate kauguste hindamise meetodid on liiga ebatapsed, et selgitada nende alusel välja parve tegelik kolmemõõtmeline struktuur. Seda proovis teha vene galaktikauurija Igor Karatšentsev, kasutades kauguse indikaatorina heledaid üksiktähti. Tal õnnestuski anda hinnanguid mõnede lähimate galaktikagruppide kohta, kuid siingi olid kauguste vead suured. Vast seni parim projekt, „The Fornax 3D Project“, algas umbes viis aastat tagasi mitme observatooriumi koostöös ning selle käigus uuritakse igati Fornaxi parve siseehitust. Töö loomulikult alles käib.

Need on näited üksikute galaktikagruppide ja -parvede kohta. Ent astronoomide võimas abiline on alati olnud matemaatiline statistika. Uurides suurt hulka galaktikaparvi ja võrreldes tulemusi eri statistiliste mudelitega (nt eeldades parvede orientatsioonide juhuslikku jaotust), on võimalik galaktikaparvede kohta üllatavalt palju teada saada.

Parvede üldised omadused

Üldjoontes võib öelda, et galaktikaparv on sadadest või tuhandetest heledatest galaktikatest koosnev struktuur, mida hoiab koos gravitatsioon. Galaktikate grupid on väiksemad, sisaldades kümnekond kuni mõnisada galaktikat. Need arvud on muidugi

ligikaudsed, sest nii grupid kui ka parved hõlmavad rohkesti ka selliseid galaktikaid, mida meil ei ole veel õnnestunud näha. Ranget piiri grupi ja parve vahel ei ole, eri astronoomid võivad neid käsitleda eri moodi. Kuid üldiselt on terminoloogiline konsensus, et grupid on väiksemad ja parved on suuremad. Ehkki grupid on väiksemad, leidub neid universumis tervikuna rohkem kui parvi. Nii hõlmavadki grupid umbes poole kõikidest galaktikatest ja parved vaid kümnendiku või ülimalt viiendiku.

Galaktikaparvede mass on 10^{14} – 10^{15} Päikese massi ja läbimõõt 1–5 megaparsekit. Need on arvatavasti suurimad teadaolevad gravitatsiooniliselt seotud süsteemid meile tuntud universumis, kuigi oletatavasti leidub ka gravitatsiooniliselt seotud mitmikparvi. Teame, et parved kipuvad kuhjuma, aga see on omaette lugu.

Peale galaktikate leidub parvedes hulgaliselt kuuma gaasi – see on parvesisene keskkond. See gaas on tõepoolest kuum, temperatuur 10^7 – 10^8 kelvinit, seega on gaas ioniseeritud ja helendub röntgenikiirguses. Gaasi kogumass parves on suurem kui galaktikates olev tähtede mass kokku. Ent parve kogumassist hõlmab suurima osa, umbes 85%, siiski tumeaine.

Hulk parvi on nimetatud nende tähtkujude järgi, kus nad asuvad, näiteks Virgo (Neitsi), Fornaxi (Ahju), Herculesi (Heraklese) ja Coma parv, ülejäänud kataloogide numbrite või koordinaatide järgi. Esimese korraliku põhjataeva galaktikaparvede kataloogi avaldas 1958. aastal ameerika astronoom George Abell. See oli tema aasta varem kaitstud doktoritöö sisu. Lõunataeva osa ilmus hiljem, 1989. aastal, kokku seatud koos kolleegide Harold Corwini ja Ronald Olowiniga. Kokku oli nendes kahes kataloogis üle 4000 parve. Parved eraldati välja, vaadates põhjataevas Palomari taevaülevaate ja lõunataevas Euroopa lõunaobservatooriumi Schmidt teleskoobiga tehtud taeva-



RUSS CARROLL / ROBERT GENDLER / BOB FRANKE / NASA

Coma parv. Peaaegu iga objekt sel pildil on galaktika. Kaks suurimat on elliptilised galaktikad NGC 4874 ja NGC 4889

Ehkki grupid on väiksemad, on nad universumis tervikuna parvedest arvukamad. Nii hõlmavadki grupid umbes poole kõikidest galaktikatest ja parved vaid kümnendiku või ülimalt viiendiku.

ülevaate pilte. Näiteks Coma parv kannab Abelli kataloogis numbrit 1656.

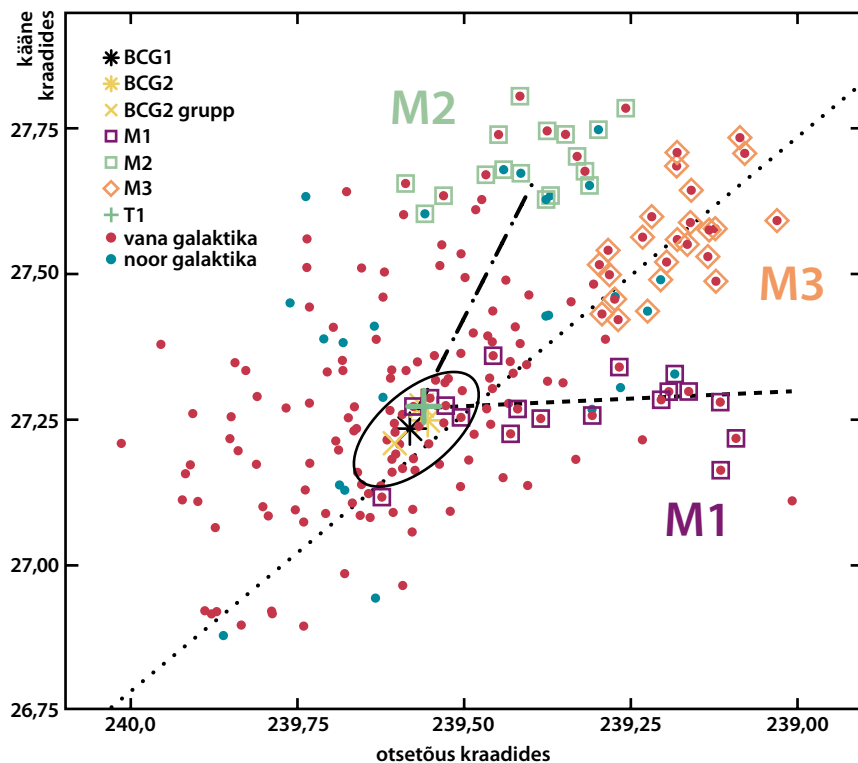
Parvede eraldamise meetodi tõttu on selge, et see kataloog on kallutatud rikaste ja ilusate sümmeetriliste parvede poole. Nii et väga oluline on küsimus: milline võiks olla parim ja objektiivsem meetod või kriteerium, eristamiseks parvi? Loomulikult on eri meetodite arendajad eri arvamusel ning leidub mitu parvede kataloogi. Sama kehtib ka galaktikagrupid eristamise kohta. Tartu observatooriumis on aegade jooksul rakendatud erisuguseid meetodeid, viimati Sloani andmete puhul täiustatud „sõbra söber“-meetodit. Mahukaimad kataloogid sisaldavad mõnisada tuhat parve.

Mida kaugemal galaktikaparv asub, seda nõrgemini seal olevad galaktikad paistavad ja seda raskem on parvi eristada. Seni kaugeim galaktikaparv on CL J1001+0220, mis paikneb punanihkel 2,5, st pärineb 11,1 miljardi aasta tagusest ajast, kui universum oli vaid 2,7 miljardi aasta vanune (punanihe kirjeldab kosmilist aega: mida suurem see on, seda noorem oli universum). Nii noores universumis ei pruukinud parved veel olla isegi välja kujunenud. Tegelikult pole parved praegugi veel valmis – nende areng jätkub, ehkki mitte nii tormiliselt kui varem.

Universumi ehituse, sh galaktikaparvede teke ja areng

Praeguste teadmiste alusel on galaktikad, galaktikagrupid ja -parved, ühesõnaga kogu universumi teadaolev mitmekesisus, kasvanud välja väikestest kvantfluktuatsioonidest, mis tekkisid universumi arengu inflatsiooniperioodil. Kogu universumi edasise 13,8 miljardi aasta jooksul on need tiheduse häiritused gravitatsiooni tõttu pidevalt suurenenud. Gravitatsiooni seisukohalt on suure struktuuri kujunemisel teinud tegeliku töö tumeaine; nähtava aine mõju oli tagasihoidlikum. Kuid nähtava aine on see, mida me näeme ja mis on endale võtnud kõige oleva kauniduse kuulsuse. Aga kust me seda teame?

Gaasi kogumass parves on suurem kui galaktikates olev tähtede mass kokku. Ent parve kogumassist hõlmab suurima osa, umbes 85%, siiski tumeaine.



Väga heledate galaktikate jaotus massiivses galaktikaparves A2142 ja sinna langevates väiksemates parvedes. Pildi keskel oleva ellipsi sees on parv A2142; tähistega M1 kuni M3 on sinna langevad väiksemad parved. Pilt on koostatud Maret Einasto jt 2018. aastal avaldatud uurimistöö põhjal

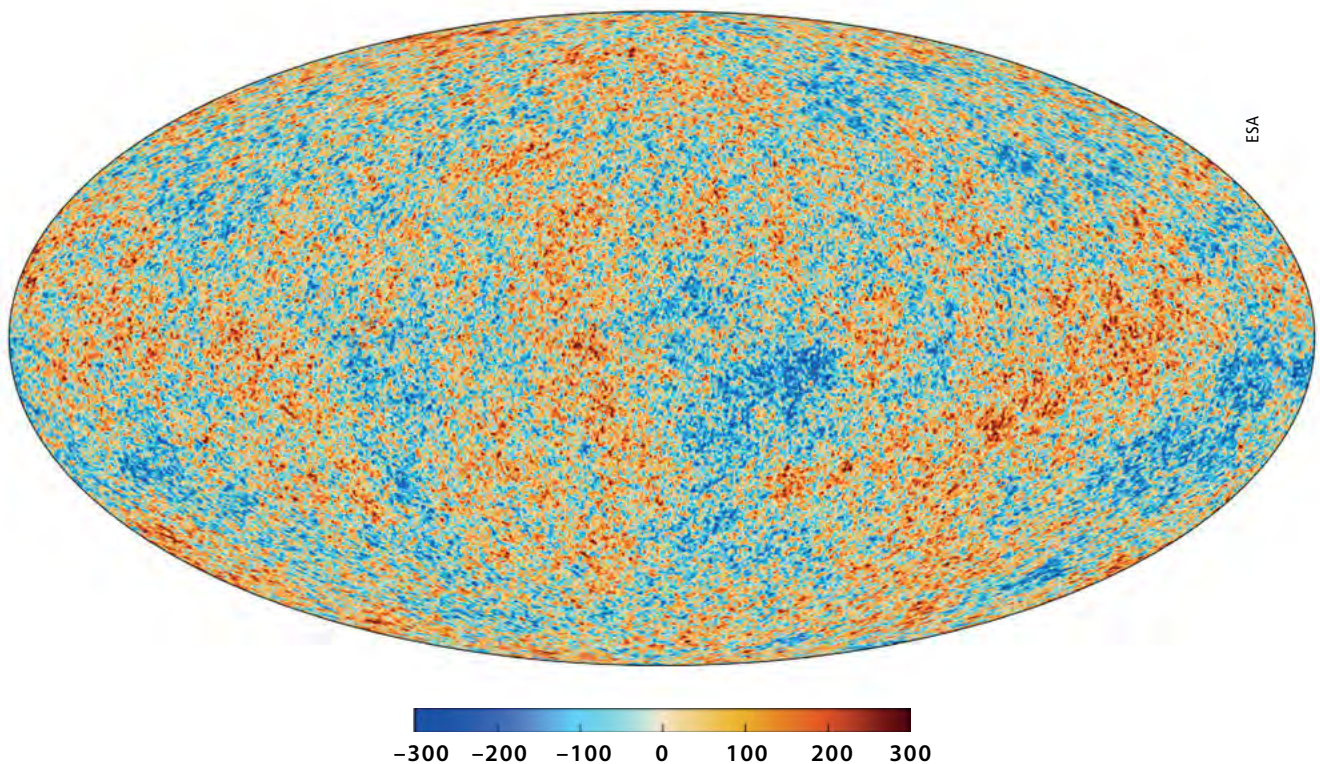
Mulle tundub, et kosmologia sai tõsiseks täppisteaduseks siis, kui 1965. aastal avastati kosmiline mikrolaine-taustkiirgus. See taustkiirgus pärineb ajast, kui universum oli ainult 380 000 aasta vanune. 1992. aastal mõõdeti satelliidi COBE abil taustkiirguse temperatuuri jaotus üle kogu taeva. Tulemuste põhjal ei olnud temperatuur üle taeva ühtlane, vaid ilmesid pisut külmemad ja soojemad kohad. Sõna „pisut“ on siin igati kohane, sest kõikumised olid tõesti üksnes kümne- kuni sajatuhandiku osa suurusjärgus. Taustkiirguse külmemad kohad olid need, kus oli keskmisest veidi rohkem ainet, mistõttu neist kohtadest lahkunud fotonid pidid kaotama gravitatsioonilise punanihke tõttu pisut rohkem energiat. Ja vastupidi, kuumemates kohtades leidis ainet vähem ja fotonitele jäi rohkem energiat alles. Ehk siis taustkiirguse pildidel on külmad (tavaliselt pildidel sinised) kohad suurema tihedusega ja soojad (punased) kohad väiksema tihedusega.

Hilisemad mõõtmised kõrgele lennutatud õhupallide ja kosmosesatelliitide abil, millest ilmselt tähtsaim oli

Euroopa kosmoseagentuuri satelliit Planck, võimaldasid juba täpselt arvutada ka temperatuuride kõikumiste jaotuse, seega leida, kui tugevad on eri mastaabiga häiritused. Seda nimetatakse taustkiirguse fluktuatsioonide spektriks.

Liigume nüüd mõttes ja arvutustes taustkiirgusest veel kaugemasse minevikku. Osutus, et taustkiirguse fluktuatsioonide vaadeldava spektri olemasolu korral pidid veel varasemad fluktuatsioonid olema paari protsendi täpsusega üsna spetsiifilised (n-õ mastaabitud). Sellised fluktuatsioonid said väga loomulikult moel pärineda universumi inflatsioonilise ülikiire paisumise ajastust – universum oli siis täidetud mingisuguse kvantväljaga.

Praeguste teadmiste alusel on galaktikad, galaktikagrupid ja -parved, ühesõnaga kogu universumi teadaolev mitmekesisus, kasvanud välja väikestest kvantfluktuatsioonidest, mis tekkisid universumi arengu inflatsiooniperioodil.



Plancki kosmosesatelliidi mõõdetud mikrolaine-taustkiirguse temperatuuri kõikumiste jaotus üle taeva. Pildi all olev värviriba iseloomustab temperatuuri kõrvalekaldeid musta keha kiirgusjaotusest mikrokelvinites

Selle välja olemust me veel ei tea. Näiteks, osa füüsikuid arvab, et see võis olla mingi Higgsi väli, osa on aga sellele raudselt vastu.

Siiski ollakse võrdlemisi ühel meelel, et mingi väli pidi olema. Selles väljas pidid kindlasti olema ka kvantfluktuatsioonid (ergastused), mis pidevalt tekkisid ja kohe ka kadusid. Kuid võis juhtuda, et pärast mõne virtuaalse fluktuatsioonipaari teket jõudsid äsja tekkinud paari osalised ruumi kiire inflatsioonilise paisumise tõttu enne kadumist teineteisest piisavalt kaugemale eralduda ja seetõttu ka säilida. Selline protsess kestis kogu inflatsiooni-perioodi kõikides mastaapides ja nii ongi kujunenud mainitud spetsiifiline mastaabivaba tiheduse (energia) fluktuatsioonide väli.

Universumi jahtudes tekkisid kvantväljast osakesed. Me ei tea täpselt, millisel arenguetapil kujunesid tumeaine osakesed, kuna me veel ei tea, mis need on. Ent mingid osakesed pidid tekkima, kuna mikrolaine-taustkiirguse nähtava aine väikeste tiheduste häirituste taustal pidid kindlasti olema ka hoopis suuremad tumeaine

osakeste tiheduste häiritused. Muidu ei oleks universumi vaadeldav struktuur lihtsalt jõudnud praeguseks välja kujuneda.

Kujuneva universumi suure struktuuri üldpilt oleneb sellest, millised olid tumeaine osakesed. Eri arvutusi uurides jõuti järeldusele, et tumeaine pidi olema külm. Sõna „külm“ tähendab, et tumeaine osakeste kiirus mingil kokkulepitul ajal (taustkiirguse ajal) oli väike. Sellise tumeaine korral kujunesid esimesena üsna väikesed struktuurid. Tumeaine oli hakanud varakult kuhjuma, seda ei takistanud universumit täitvate footonite väli. Kui universumi paisudes olid aine ja footonid juba piisavalt jahtunud, siis hakkas ka gaas tugevamalt koonduma tumeaine kuhjumitesse, jahtus ja koondus galaktikateks. See sai selgeks 1990. aastatel. Kosmoloogilise konstandi järele esialgu vajadust ei olnud.

Loomulikult on nii teoreetikute kui ka vaatlejate-astronoomide soov, et neil oleks üha paremaid arvuteid, teleskoope ja aparatuuri. Selleks et võrrelda teoreetilisi mudeleid vaatlustega, ei piisanud vaid tumeainega täide-

Kui universumi paisudes olid aine ja footonid juba piisavalt jahtunud, siis hakkas ka gaas tugevamalt koonduma tumeaine kuhjumitesse, jahtus ja koondus galaktikateks.

tud universumi mudelitest: vaadeldakse ju nähtavat ainet ning tumeaine sisse oli vaja lisada gaasi, et tekitada nendest tähti ja galaktikaid. Seetõttu muutusid mudelid palju keerukamaks, sest oli vaja hakata arvestama paljusid eri füüsikalisi protsesse, mille kohta ei olnud sugugi teada, kuidas nad igal konkreetsel juhul täpselt toimivad.

Protsesside parameetreid tuli kokku sobitada vaatluste alusel. See tähendab, et oli vaja üha paremaid ja mahukamaid vaatlusi, näiteks kas või galaktikate radiaalkiiruste mõõtmisi, et saada vaadeldavast universumist kolmemõõtmeline pilt. Kui esimesed radiaalkiiruste mõõtmiste projektid ja

universumi kaardid koostati vaid mõne tuhande mõõtmise alusel, siis eespool mainitud Sloani taevaülevaade hõlmab praeguseks 2,6 miljoni galaktika kaugusi. 4MOST-i taevaülevaadet koostades, milles osaleb ka Tartu observatoorium, on plaanis mõõta 8 miljoni galaktika kaugus (radiaal-kiirus).

Teoreetiliste mudelite ja taevaülevaadete võrdlemisel sai peatselt selgeks, et universumi energiabilanssi tuleb lisada ka tumeenergia, mida enamasti nimetatakse kosmoloogiliseks konstandiks, ja vastavat mudelit tähistatakse tavaliselt Λ CDM, kus Λ (lambda) tähistab tumeenergiat ja CDM külma tumeainet (ingl *Cold Dark Matter*; külm tumeaine on pörkevaba aine, mille osakesed vastasmõjustuvad tavalise ainega ainult gravitatsiooni vahendusel). See on üldtunnustatud universumi massi (energia) jaotuse mudel, millel pole praegu teada olulisi probleeme ehk siis vastuolusid vaatlustega.

Niisiis, Λ CDM-mudeli alusel kujunesid nähtava ja tumeaine tiheduse häiritustest välja esmalt küllaltki väikesed struktuurid, mis sisaldasid tumeainet, gaasi ja juba ka tähti. Massis oli ülekaalus muidugi tumeaine, muud ainet oli vast umbes kuuendik. Gravitatsiooni toimel ühinesid need süsteemid järkjärgult suuremaks – ühinemine oli hierarhiline, n-ö seestpoolt väljapoole teke. Suuremate süsteemide kujunemisel tuleb tegelikult eristada kahte protsessi: väiksemate süsteemide ühinemist omavahelistel põrgetel ja algsete süsteemide kasvu hajusa tumeaine pideva pealelängemise tulemusena.

Superarvutitega tehtud numbrilise Millennium II modelleerimise põhjal ilmnes, et kui punanihe oli ligikaudu 8, oli umbes pool tumeainest hajusa ruumijaotusega. Ent kui punanihe oli umbkaudu 0 (praegune universum), leidis hajusat tumeainet kõigest viiendiku jagu. Hajusad tumeainet on enim suurtes kosmilistes tühikutes. Numbriliste mudelitega on välja selgitatud, et tekkivate tumeainehalode tiheduse jaotust kirjeldab kõige paremini Jaan Einasto 1965. aastal galaktikate ehituse uurimiseks pakutud tihedusejaotus, nn Einasto profiil.

Algsed tiheduse häiritused olid jaotunud juhuslikult, mistõttu leidis ka kohti, kus nad olid juba algul üsna tihedalt. Galaktikaparvede teke ongi



Tumeda aine jaotus Millennium II modelleerimise alusel piirkonnas, mille läbimõõt on umbes kolm megaparsekit. Heledam värv tähendab suuremat tihedust. Pildil on näha mitut tumeainehalo, kuid ka nõrka hajusat fooni

seotud algse tihedusvälja suurimate tiheduskontrastidega. Parvede kujunemisel on olnud olulised nii gravitatsiooni põhjustatud dünaamilised protsessid kui ka gaasi olemasolust tingitud hüdrodünaamilised protsessid. Gravitatsiooni seisukohalt oli tormilisem aeg just algne parve kujunemise etapp. Gaasi seisukohalt oli algne areng pigem rahulik, gaas lihtsalt tasapisi langes sinna. Kuid mõne aja pärast hakkasid plasmatakkima lööklained. Gaas oli pörkevaba, ent plasmalained said levida ja hajuda. Kahjuks me ei tea veel hästi, kuidas lained plasmatakkenergiat transpordivad. Parved arenevad veel praegugi.

Galaktikaparvede mitmekesisus

Leidub suuremaid ja väiksemaid parvi. Suured parved võivad oma gravitatsiooniga mõjutada ka universumi lookaalset paisumist.

Galaktikaparvede eristamisest oli juba eespool juttu. George Abell koos-

tas tuntud parvede kataloogi, eristades Palomari taevaülevaate piltidelt lihtsalt neid kohti, kus galaktikaid paiknes tihedamalt. Muidugi oli tal ka lisakriteeriume, näiteks parve galaktikad olid üldjuhul vanemad ja punasemad ning teatud mõttes üksiteisega sarnasemad. Abell postuleeris ka parve ligikaudse suuruse. Selline meetod oli aga siiski tundlik projektsiooni-efektide suhtes.

Praegusajal saame kasutada ka paljude galaktikate punanihkeid, kuid ega seegi ei tee parvede eristamist lihtsaks. Punanihkes sisaldub tõesti infor-

Viimase mõnekümne aasta vaatlused parimate teleskoopidega on võimaldanud määrata tumeaine jaotust parvedes täiesti uuel meetodil – gravitatsiooniläätse efekti abil.

matsioon galaktika kauguse kohta, ent ühtlasi on seal info galaktikate liikumise kohta parves. Neid kahte ei ole alati kerge eristada ning leida, millised galaktikad on gravitatsiooniliselt seotud ja millised mitte.

Viimase mõnekümne aasta vaatlused parimate teleskoopidega on võimaldanud määrata tumeaine jaotust parvedes täiesti uuel meetodil – gravitatsiooniläätse efekti abil. Üldrelatiivsusteooriast tuleneb, et gravitatsiooniväli painutab valguskiirte trajektoori. Kui kaugest galaktikast tulev valgus peab läbima massiivse parve tekitatud tugevat gravitatsioonivälja, siis valguskiirte trajektoorid painduvad. Kauge galaktika eri osadest tulevad valguskiired painduvad veidi erinevalt ning me näeme pisut moonutatud galaktikakujutist. Galaktikad venivad välja (ja tunduvad orienteeruvat) ümber keske gravitatsioonivälja, mis näib toimivat läätsena. Kauge galaktika heledus ka võimendub veidi. Kaugete galaktikate moonutusi analüüsides on või-

malik arvutada vahepealse gravitatsioonivälja tugevust ja jaotust.

Nagu märgitud, kujunevad gravitatsiooniliselt seotud tumeaine halod välja hierarhiliselt, kus suuremad süsteemid tekivad väiksemate süsteemide ühinemisel. Seetõttu on loomulik, et suured süsteemid sisaldavad väiksemaid tumeaineklompe. Neid alamstruktuure saab samuti uurida gravitatsiooniläätse efekti abil, aga ainult juhul, kui kauged foonigalaktika on üsna täpselt klombi taga. Muidugi, uurimaks sellist massijaotuse peenstruktuuri, oleks hea, kui parve üldine massijaotus oleks teada (kiiruste jaotusest, röntgenvaatlustest jne), ehkki olemuslikult see ei ole vajalik. Efekti tugevus oleneb sellest, kui massiivne ja kompaktne on klomp. Peatselt nii ESA kui ka NASA poolt kosmosesse saatetavad kosmoseteleskoobid Euclid ja Nancy Roman ongi suuresti mõeldud just selleks, et kaardistada tumeaine jaotust võimalikult täpselt.

Parvede kuum gaas kui röntgeni-

kiirguse allikas sai selgeks juba esimeste röntgensatelliitide vaatluste põhjal. Praegu teame, et kuuma gaasi leidub parves kuni kümme korda rohkem kui tähemassi.

Esimeses lähenduses võib eeldada, et see kuum gaas on hüdrostaatilises tasakaalus parve gravitatsiooniväljaga. See võimaldab arvutada parvede massi ja teatud täpsusega isegi massi jaotust parves. Arvutustest tulenes, et parvede mass on ligikaudu kuus korda suurem kui neis sisalduvate tähtede ja gaasi mass. Tulemus langes küllaltki hästi kokku galaktikate kiiruste jaotusest saadud massidega. Parvede massifunktsioon ehk siis sõltuvus, kui palju on antud massiga parvi, on võimalike kosmoloogiliste teooriate suur proovikivi. Massifunktsiooni sõltuvus kaugusest on hierarhilise kuhjumise teooria suur proovikivi.

Ent röntgensatelliidi Chandra detailsetel vaatlustel selgus ka see, et mitmes parves leidub peale parve üldise röntgenikiirguse alamstruktuure.

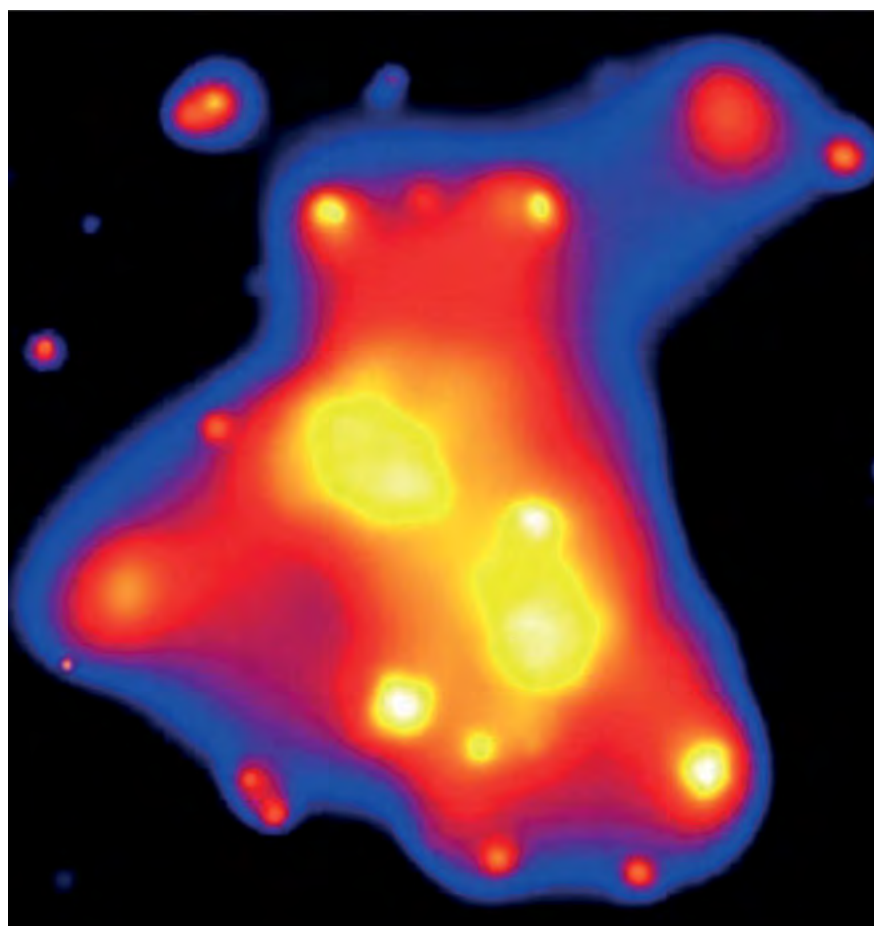


Vasakpoolsel Hubble'i kosmoseteleskoobiga saadud pildil parve ZwCl 0024+1652 ümbrusest on näha kaugete galaktikate paiknemist ringikujuliselt ümber lähemal asuva keske parve. Galaktikate kujude asendit analüüsides saab välja arvutada parve tumeaine jaotuse, mis on parempoolsel pildil kujutatud sinise värvusega. Nagu näha, peale tumeaine kontsentratsiooni parve keskosasse on tumeaine üllatuslikult jaotunud ka ringikujuliselt. Ringne jaotus on arvatavasti tingitud kahe parve põrkest minevikus



NASA

Coma parve kujutis röntgensatelliidi Chandra vaatluste põhjal (roosakas helendus) koos optilise parve pildiga. Kuigi röntgenikiirgus on üldjoontes ühtlane ja ligikaudu sfääriline, on siiski näha, et gaasi omadused väiksemates mastaapides varieeruvad



BRISTOL UNIVERSITY

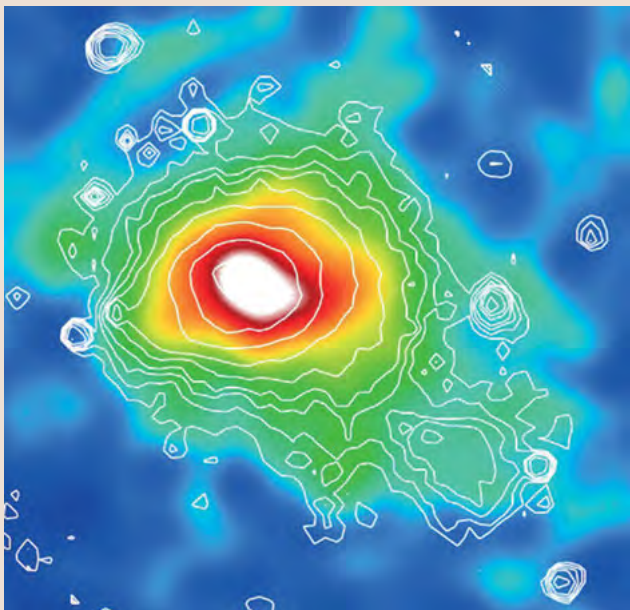
Röntgensatelliidiga XMM saadud pilt kaugest galaktikaparvest ClJ0152.7-1357. Tegelikult koosneb parv kahest väiksemast ühinevast parvest. Pildi värvus vastab röntgenhelendusele: kollakas-valge on heledaim ja sinine-must nõrgim kiirgus

Seegi ei ole üllatav, arvestades parvede kujunemist hierarhilise kuhjumise teel. Kahetsusväärset tähendab selliste alamstruktuuride olemasolu seda, et eeldus parve gaasi ja gravitatsiooni-välja tasakaalust ei pruugi olla hea, parved alles kujunevad ning nii mõnegi parve massi hinnangud on seetõttu ebakindlad.

Mitmel juhul on röntgenvaatluse põhjal leitud, et tihedates parveosades on gaasi temperatuur langenud. Iseenesest nii peabki olema, sest jahtumine on kiirguskadude tõttu tihedamates kohtades suurem. Kuna madalama temperatuuri tõttu on tihedates kohtades ka gaasi rõhk väiksem, siis langeb ümbritsevast keskkonnast sinna gaasi sisse. Arvutuste järgi voolab parvede sisse aastas umbes 100–300 Päikese massi jagu gaasi, mis annab 10 miljardi aastaga sisselangeva gaasi kogumassiks ligikaudu 10^{12} Päikese massi. See tähendab, et osa parve gaasist on pidevalt sisselangev gaas, osa peab olema jäänuk parve formeerumise ajast.

Kuum parve gaas mõjutab parve galaktikaid. Kõik galaktikad on mingil eluetapil sisaldanud gaasi. Kui selline galaktika liigub suure kiirusega parve kuumas gaasis, siis mõjub galaktika gaasile parve gaasi poolt hüdrodünaamikast tuntud rammrõhk, mis võib pühkida galaktika gaasi galaktikast eemale. Seda ongi leitud: parvede siseosades olevates galaktikates on neutraalse vesiniku sisaldus väiksem kui mujal. Ning mida tugevam on parve röntgenikiirgus, seda vähem on galaktikates vesinikku. Külma gaasi vajakajäämine pärsib galaktikates täheteket ehk siis galaktikate täheteke oleneb ka keskkonnast, kus galaktikad paiknevad. Parvede keskkond mõjutab galaktikate omadusi veel mitmel moel, näiteks tihedamas keskkonnas on galaktikate omavahelisi pörkeid rohkem. Kuid see on eraldi teema.

Mida tugevam on parve röntgenikiirgus, seda vähem on galaktikates neutraalset vesinikku. Külma gaasi vajakajäämine pärsib galaktikates täheteket.



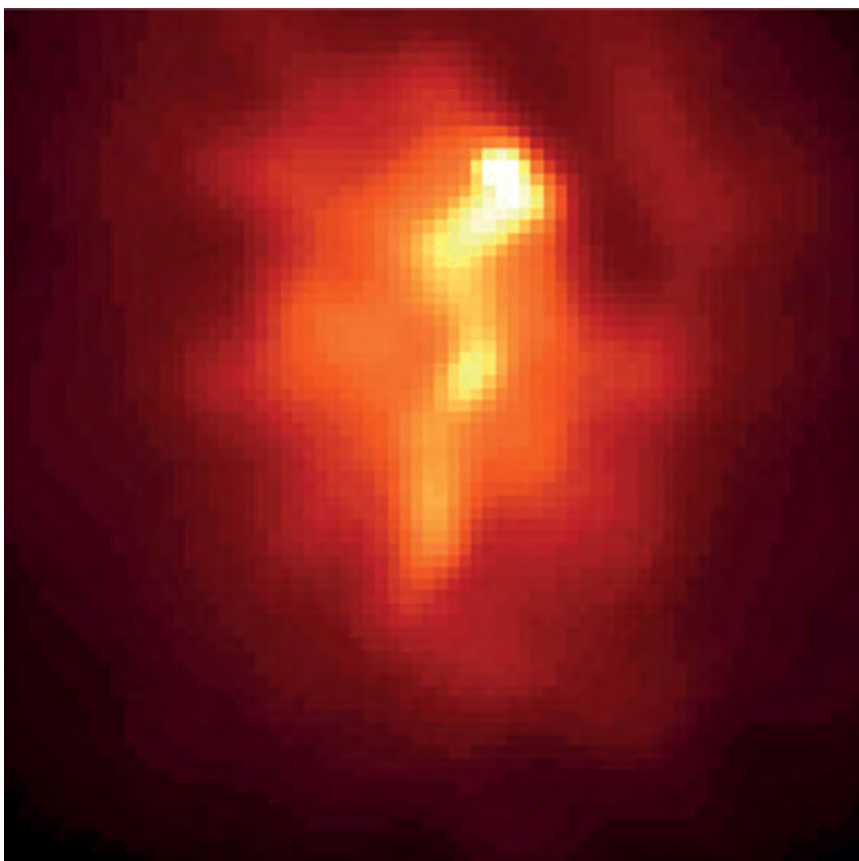
Coma parv mikrolainekiirguses. Plancki satelliit on mõnesajas parves mõõtnud Sunjajevi-Zeldovitši efekti. Värvuskood joonisel iseloomustab efekti tugevust. Valged kontuurjooned on ROSAT-iga mõõdetud röntgenikiirguse samahedusjooned. Ilmneb, et mõlemad vaatlused on omavahel kooskõlas

SUNJAJEVI-ZELDOVITŠI EFEKT

Esialgne eesmärk ei olnud avastada efekti. Siht oli uurida mikrolainetaustkiirguse kosmoloogilisi fluktuatsioone, seega tuli igasugusest muust müra-st enne vabaneda. Üks võimalik müraallikas oli asjaolu, et galaktikaparvede kuuma gaasi elektronid hajutavad taustkiirguse footoneid (Comptoni pöördhajutamine), mistõttu footonite energia pisut suureneb ja taustkiirguse mõõdetavas osas kiirguse intensiivsus pisut kahaneb. Vene astrofüüsikute Rašid Sunjajevi ja Jakov Zeldovitši 1970. aasta arvutuste järgi pidi see tõesti nii olema. Tõsi, efekt oli nõrk (suhteline muutus ainult 10^{-4} – 10^{-5}), kuid tegemist oli korrigeerimist vajavate müraallikatega.

Nii mõnigi kord on teaduses nõnda, et see, mis ühes katses on müra, on teises signaal. Kuigi esimest korda registreeriti taustkiirguse väike kahanemine galaktika parve suunas alles 1984. aastal, on Sunjajevi-Zeldovitši efekt praeguseks eri teleskoopide ja Plancki satelliidi abil registreeritud juba üle 400 parves.

Oluline on asjaolu, et selle efekti mõõtmine võimaldab arvutada gaasi rõhku parvedes. Teades röntgenvaatluste järgi gaasi kiirguse temperatuuri ja intensiivsust, saab arvutada parve gaasipilve mõõdetud olenemata kaugusest ja määrata nii Hubble'i konstandi. Tähtis on ka see, et efekt ei sõltu punanihkkest, st selle abil on võimalik leida kaugedid parvi. Sunjajevi-Zeldovitši efekti miinus on tõik, et asjaomased hüdrodünaamilised arvutused on küllaltki keerukad. •




Gaasivool parves A1795. Chandra röntgensatelliidi pilt gaasivoolust parves A1795. Massiivne elliptiline galaktika (heledaim koht pildil) on tõmmanud gaasi ümbritsevast parve keskkonnast. Gaasi filament on jälg elliptilise galaktika trajektoorist parves. Heledas filamendis on gaasi temperatuur 30 miljonit kelvinit, ümbritsevas parves 50 miljonit kelvinit. Filamendis on gaas palju tihedam kui ümbritsevas parves

Astronoomile on galaktikad sageli nagu inimesed: galaktikaid tõmbab üksteise poole nagu ka inimesi.

Kokkuvõte

Astronoomile on galaktikad sageli nagu inimesed: galaktikaid tõmbab üksteise poole nagu ka inimesi. Gruppumine võimaldab galaktikatel halastamatus gravitatsioonilises konkurentsisis kergemini ellu jääda. Enamik parvi on oma nooruses elanud tormilist elu, mis nii mõnigi kord on jätnud neile ka jäljed, kas või näiteks väljanägemises. Vanaduses on nende elu muutunud rahulikumaks, kuid neid ei saa siiski veel maha kanda: nad on ikka valmis mõjutama neid (galaktikaid), kes neile (parvedele) lähenevad. •

Artikkel on ilmunud ka väljaandes „Tähetorni kalender 2022“.

 **Peeter Tenjes** (1955) on astrofüüsik, Tartu ülikooli Tartu observatooriumi galaktikate füüsika ja kosmoloogia osakonna kaasprofessor. Tema teadustöö põhiteemad on galaktikate fotomeetria, tähesüsteemide fotomeetria ja kinemaatilised mudelid, galaktikate allsüsteemide struktuur, kaugete galaktikate struktuur ja formeerumine, galaktikate struktuur eri keskkonnas ja tähesüsteemide dünaamika.

INDREK KOLKA

MIS ISELOOMUSTAB MASSIIVSEID TÄHTI?

Meie universumi avarustes leidub tähti, mille mass on Päikese omast kümneid või isegi sadu tuhandeid kordi suurem. Erinevalt väiksema massiga tähtedest elavad tähehiiglased intensiivsemalt ja plahvatavad elu lõpul supernoovana. Katastroofilisele lõpule eelneb aga kirev elukäik.

Selleks et saada tähtede maailmast parem ettekujutus, tasub üldjuhul võrrelda sealseid objektide meie kodutähe Päikeselega. Kui kõne all on suure massiga tähtede alamhulk, kuuluvad sinna kokkuleppe alusel kõik need, mis oma sünnihetkel ületavad Päikese massi vähemalt kahekorda. Sellel eristuspiiril on kindel põhjus: niisugusena tekkinud tähed läbivad elu lõpul plahvatusstaadiumi supernoovana, mille tagajärjel tekib ülitihed väikesemõõduline neutrontäht või erijuhul koguni must auk. Ent katastroofilisele lõpule eelneb mitmes mõttes kirev elukäik, mille füüsikaline taust on veel kohati ebaselge ja ajendanud teadlasi neid ebaselgeid kohti uurima.

Tähe eluiga oleneb massist

Tähtede massiivsuse ülempiiri pole lihtne fikseerida. Väga massiivsed tähed (lühendina VMS) on 100- kuni 300-kordse Päikese massiga. Selliseid tähti leidub hästi noortes (vanus vaid paar miljonit aastat) täheparvedes. Kuni 100 000 Päikeselega võrreldavad supermassiivsed tähed (SMS) võisid tekkida aga päris varases universumis ja olla praegu vaadeldavate kõige kaugemate kvasarite võimalikud eellased. Siinses kirjutises on siiski silmas peetud objekte, mille sünnimass on enamasti väiksem kui VMS-del.

Tähtede suure massiga käib kaasas võime tekitada väga suurt energiahulka. Massiivsetel tähtedel on kogu eluea jooksul suhteliselt püsiv kiirusvõimsus, mis ületab massi alampiiri lähedal Päikese oma 10 000 korda ja väga massiivsel juhul kuni mitu miljonit korda. Tähtede eluiga oleneb suurel määral nende algmassist. Päikese-sarnase tähe eluiga on umbkaudu 10 miljardit aastat, kuid massiivsetel tähtedel ei ületa enamasti 30 miljonit aas-

Tähtede suure massiga käib kaasas võime tekitada väga suurt energiahulka. Massiivsetel tähtedel on kogu eluea jooksul suhteliselt püsiv kiirusvõimsus, mis ületab massi alampiiri lähedal Päikese oma 10 000 korda ja väga massiivsel juhul kuni mitu miljonit korda.

tat. Nii pikka elu on võimalik uurida seetõttu, et rohkearvulises tähekoogukonnas (näiteks meie Linnutee galaktikas on hinnanguliselt 200 miljardit tähte) leidub alati igas vanuses objekte.

Uued tähed sünnivad eelaste jäänustest

Kosmilise ajaskaala mõttes algas tähtede teke üsna varsti pärast Suurt Pauku, mis sünnitas universumi, kus me elame ja mida saame uurida. Tähtede teke on vahelduva intensiivsusega kestnud kogu senise umbes 14 miljardi aasta vältel ja jätkub teadustöendite põhjal veel kaua. Tähetekkepiirkonnad galaktikates on kohad, kuhu on koondunud suured tähtede vahelise gaasi ja tolmu pilved. See ongi aine, mis killustub oma raskusjõu mõjul täheloodeteks ehk prototähtedeks, millest saavad ajapikku päristähed. Seega ei teki tähed üksikuna, vaid väiksemate või suuremate parvedena, mis võivad pika aja jooksul laguneda, kui sealne summaarne gravitatsioon ei suuda parve koos hoida. Umbes pooled liikmed neis parvedes on omakorda kaksik- või mitmik tähed ja sellega kaasnev vastasmõju lisab pildile tähtede elust olulisi nüansse. Neist tähtsaim on arengu käigus tekkiv võimalus ühe tähe väliskihitide ülevooluks kaaslasel ja mõnel juhul hiljem ka vastupidi tagasi.

Praegu tähesünniks vajalik aine on ainult vähesel määral pärit universumi algusest. Nimetatud gaasi- ja tolmutilved koosnevad pigem aimest, mis on vähemalt korra ja enamasti rohkemgi kuulunud mõnele juba elu lõpetanud või hästi vanaks elanud tähele. Sellise olukorra kujunemises on olnud suur roll massiivsetel tähtedel, sest ainehulk, mille nad elu jooksul tähetuulena ja eriti plahvatades supernoovana tähtede vahelisse ruumi paiskavad, hõlmab olulise osa tekkepilvedest. Suure massiga tähtede suhteliselt lühike eluiga soodustab kirjeldatud protsessi korduvust.

Kuigi füüsikalised tingimused sünnipiirkondades on sellised, et massiivseid tähti tekib palju vähem kui väiksema massiga parvelikmeid (ühe tüüpilise massiivse tähe kohta kujuneb mitusada Päikese-sarnast tähte), kompenseerib selle asjaolu mõju samuti kiirem generatsioonide vaheldumine. Suure massiga tähtede tähtsust rõhustab omakorda teadmine, et enamik looduses leiduvaid keemilisi elemen-

Üks meie galaktika kaaslasgalaktikaid on Suur Magalhãesi Pilv. Sealse noore täheparve R136 tsentraalosa sisaldab VMS-tähti

te, mis on raskemad kui magneesium, pärineb just seda sorti tähtedes nende elu lõppfaasides toimuvatest tuuma-reaktsioonidest. Nii toetub ka elusloodus planeedil Maa ammustele massiivsete tähtede generatsioonidele.

Massiivsete tähtede evolutsioon

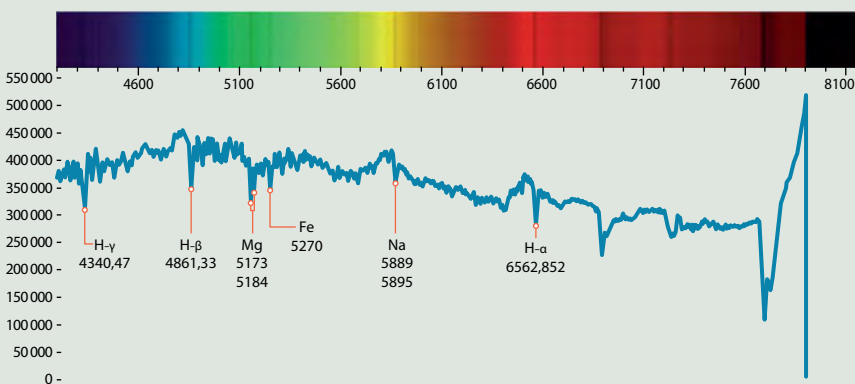
Rangelt võttes on iga täht vähem või rohkem muutlik. Päikese puhul võib näiteks tuua tema kõige välimisest kihist ehk kroonist aeg-ajalt väljuva ainepurske, mis oma teel Maad kohates annab endast märku virmaliste kaudu. Ent massiivsed tähed on tuntud kui ühed ebastabiilseima olekuga objektid. Nende käitumise mõistmiseks on vaja koguda suhteliselt pikki vaatlusandmete aegridu, mille abil seejärel kontrollitakse, kas teoreetilised mudelid peavad paika.

Võimalikult kvaliteetsed andmete aegread on olnud üks Tõravere täheuurijate töö eesmärke. Selle saavutamiseks on andnud panuse ühelt poolt vaatlused kohalike teleskoopidega ja teiselt poolt koostööprojektid välismaa kolleegidega. Tihti on olnud kaasatud mitmesugused avalikud andmebaasid. Sealjuures on olenevalt püstitatud probleemist vaatluse all erisuguste füüsikaliste suuruste aegread: mõnikord on vaja jälgida tähtede heleduse muutlikkust, teisel juhul aga nende spektris mõõdetavate detailide (näiteks spektrijoonte asend lainepikkuste skaalas) varieeruvust aja jooksul (vt joonist 1). Enamikul juhtudel saab parima ülevaate tähe käitumisest siis, kui on võimalik kombineerida mitme eri suuruse või tunnuse aegridu.

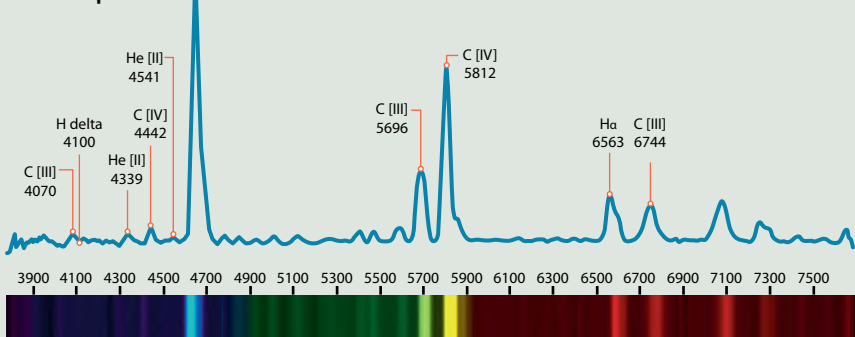
Massiivsete tähtede suhteliselt suurt muutlikkuse taset saab seostada nende intensiivse eluga, kiire „läbipõlemisega“, millele on eespool viidatud. Sellele evolutsioonile on omased eriti huvitavad staadiumid, mis eelnevad elu lõpule supernoovana (SN). Nende staadiumide kestvus oleneb konkreetse objekti sünnimassist ja vastavad määrangud viitavad sellele, et need mahuvad massiivse tähe eluea viimase viiendiku sisse. Järgnevas ongi keskendutud selle viimase viiendiku kirjeldamisele, toodud näited on valitud Tõravere astronoomide asjaomaste tööde seast.

Esile tõstetud arengufaasidel on ajalooliselt kujunenud nimed. Eristatakse olekuid, nagu sinine ülihiid (levinud lühend BSG), punane ülihiid (RSG), kollane hüperhiid (YHG), ülihele

Päikese spekter



WR tähe WR137 spekter



Joonis 1

Spektrogrammi abil eri värvi kiirguseks lahutatud Päikese valgust – spektrit – võib uurimiseks esitada mitmel viisil. Vikerkaareväriline riba, milles teatud kohtades on tumedamad jooned, paistab justnagu „tõelisem“. Ometi kasutavad astronoomid pigem sama asja numbrilist graafikut (sinine kõverjoon), mis annab võimaluse hinnata, kui palju on iga tumeda joone kohal vähem kiirgusenergiat ning mis võiks olla selle kiirguslanguse põhjus. Graafikul on mõnda kohta märgitud, et süüdi on eri keemiliste elementide aatomid, mis on võimelised Päikese väliskihis neelama kindlat värvi valgusosakesi.

WR-tähe WR137 spektris on erinevalt eespool kirjeldatud Päikese spektrist nõrga fooni taustal näha heledaid suhteliselt laiu jooni, mis numbrilisel graafikul demonstreerivad varieeruvat intensiivsust. Need kiirgusjooned tekivad tähest eemalduvas tähetuules ja reageerivad tundlikult muutustele väliskihitides. Spektrijoonte märgistus viitab sellele, et kõrge pinnatemperatuuri tulemusel on kiirguse allikaks enamikl juhtudest heeliumi (He) ja süsiniku (C) ioonid, teisel juhul kuni kolmest elektronist vabanenud aatomid (C [IV])

Massiivsete tähtede suhteliselt suurt muutlikkuse taset saab seostada nende intensiivse eluga, kiire „läbipõlemisega“, mis eelneb lõpule supernoovana.

sinine muutlik (LBV), Wolfi-Rayet' tüüpi täht (WR). Loetletud olekud on omavahel evolutsiooniliselt seotud. Teoreetiliste hinnangute kohaselt saab massiivsed tähed (massiga M) jagada nelja arengustsenaariumi vahel. Tähistagu M_{\odot} Päikese massi, siis

- a) kui $M < 22 M_{\odot}$, läbib täht faasid BSG/RSG/SN,
- b) kui $22 M_{\odot} < M < 45 M_{\odot}$, läbib ta faasid BSG/RSG/LBV/WR/SN või BSG/LBV/WR/SN, kui $M > \sim 30 M_{\odot}$,
- c) kui $45 M_{\odot} < M < 90 M_{\odot}$, läbib ta faasid WR/LBV/WR/SN,
- d) kui $M > 90 M_{\odot}$, läbib täht faasid WR/SN.

Osutatud massipiirid on ligikaudsed. Neid on täpsustatud varem ja täpsustatakse edaspidigi. See, et kollase hüperhiid olek (YHG) on esitatud stsenaariumides kajastamata, on näide

raskuste kohta massiivsete tähtede arengu lõppfaaside modelleerimisel ja interpreteerimisel. Praegu levinuima hinnangu järgi on YHG staadium väga lühike (paari tuhande aastane) periood 20–40 M_{\odot} algmassiga tähe üleminekul RSG faasist LBV-ks või otse supernoovaks.

Supernoova-eelsed faasid võrdluspeeglis

Ülaltoodud arengustaadiume saab piltlikustada, kui võrrelda nende tüüpilisi esindajaid suuruse, pinnatemperatuuri ja muutlikkuse taseme poolest. Temperatuurist lähtudes on kõige „jahedamad“ RSG-d, jäädes vahemikku 3000–4000 K. YHG-d on muutliku pinnatemperatuuriga, piirides 4500 kuni 8000 K. Ka LBV-de temperatuur



WIKIPEDIA

Perseuse tähtkujus asub lähestikku kaks parve (NGC 869, NGC 884), mis on näide tähtede koosõnni kohta ja ühtlasi viide nende erinevale evolutsioonikiirusele: heledad punaka värvusega punased ülihiud on kaugemale arenenud massiivsed tähed

MASSIIVSED TÄHED TÕRAVERE ASTRONOOMIDE UURIVA PILGU ALL

Astronoomial kui teadusel on pikk ajalugu. Kindlaid tähti või tähetüüpe ajendasid vaatlema 17. sajandil loodud teleskoobid, iseäranis aga mitmesuguste valgust või muud kiirgust registreerivate vahendite kasutuselevõtt, näiteks 19. sajandi teisel poolel võeti tarvitusele fotoplaadid.

Massiivsete tähtede tähtsus universumi struktuuri ja sealse aine arengus on ilmnenud nii teooriat arendavate kui ka vaatlusandmeid koguvate astronoomide koostöös samm-sammult. Esialgne üldine taust selgines 1950.–1960. aastateks. Tol ajal sai eesti astronoomide tööpaigaks Tõravere observatoorium; osa tähefüüsikuid asus tollase kolleegi Lauri Luua eestvõttel uurima massiivseid tähti ja eelkõige nende füüsikalise oleku muutlikkust. Järgnevalt on esitatud mõned uurimisteedad, mille kallal on Tõravere tähefüüsikud algusaastaist kuni siiani vahelduva intensiivsusega töötanud.

Kuni sajandivahetuseni püsis muu hulgas tähelepanu LBV-del. Algul oli vaja eristada suure kiirgusvõimsusega kaugelarenenud tähtede hulgast need, mida praegu tuntakse LBV-dena. Seejärel oli sihikul selle oleku tüüpiline esindaja P Cygni Luige tähtkujust. 1980. aastatel sai koostöös bulgaaria astronoomidega tänu pikkadele vaatlusriidadele selgeks, et P Cygni spektri muutlikkus on tsükliline: ligikaudne periood 90 kuni 120 päeva.

Aastal 2000 peeti Põhja-Iirimaa Armagh's P Cygnile pühendatud erikonverents, kuna oli möödunud 400 aastat selle tähe esmavaatlusest ootamatult heledaks muutunud objektina. Seal esitatud ülevaade muutlikkusest oli koostatud Tõraveres.

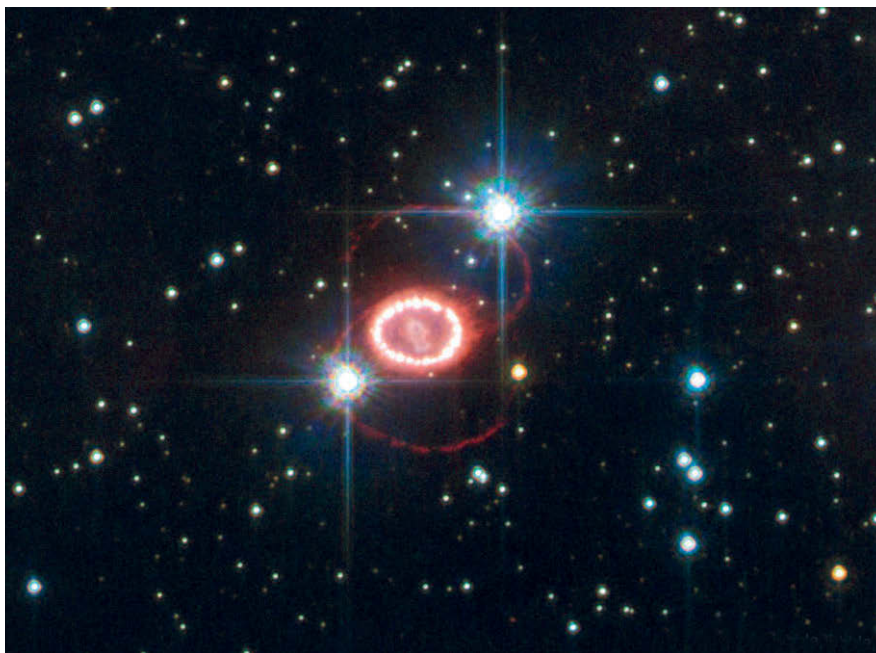
Kuna aine väljavool on oluline kõigis kõnealustes arengustaadiumides, on seda protsessi kas ühe või teise nurga alt uuritud ka siinsed tähefüüsikud. Näiteks 1978. aasta novembris saadi Tõraveres kokku pandud programmi abil vaatlusandmeid USA kosmoseagentuuri NASA orbitaalteleskoobilt IUE, mis on jätnud sügava jälje tähetuule iseärasuste uurimisse. Meie huvi oli analüüsida eri BSG-dest välja voolava gaasi mõju spektrijoonte kujule ja intensiivsusele. Selle andmehulga väärtusele viitab fakt, et seotud teadustulemusi avaldati järgmise kümne aasta jooksul. Samal teemal on teetähiseks 2000. aastal ilmunud teadusartikkel, mis kirjeldab aine väljavoolu kiirust massiivsete tähtede kõigis arenguetappides. Tähelepanuväärsele kokkuvõtlikule analüüsile on rahvusvaheline uurijate kogukond viidanud seni üle 500 korra.

Vaatluse all olevatesse evolutsiooni-etappidesse kuuluvate tähtede liikmeskond on pidevalt täienenud, sest on rakendatud uusi teleskoobe ja uurimismeetodeid. Aastatel 2011–2013 teoks tehtud vaatlusseeria, mille eesmärk oli avastada ja klassifitseerida muutlikke tähti, lisas ka Eesti panuse. 22 suhteliselt noores täheparves registreeriti ja liigitati ligi 100 muutlikku

BSG- ja RSG-tähte, millest umbes pooled on esmaavastused. Edasise uurimise sisu on täpsustada muutlike tähtede vanust ja vastata küsimusele, mismoodi on sellega seotud heledusmuutlikkuse iseloomulikud tunnused (periood, amplituud).

YHG-de käitumise iseärasuste väljaselgitamine on põnev teema, sest need tähed pakuvad suure tõenäosusega harukordset võimalust jälgida, kuidas füüsikalise ebasabiilsuse tõttu korralduvad väliskihid madalama temperatuuriga olekust ümber kõrgema temperatuuriga olekusse. Tõravere aasta läbi hästi vaadeldavas Kassiopeia tähtkujus on juhuse tahtel lausa kolm sellist objekti ja nende uurimine on praegu käsil. Ühtlasi on kerkinud lisaküsimus, kas üleminek kuumemaks LBV-ks toimub vahetult või on vajalikuks vahelüliliselt optiliselt paksu aineümbrisega nn B[e]SG-tähed. Nii sugune lisafaas näib vähemalt mõnel juhul olevat arengu osa, sest ka YHG-de ümbert on avastatud ulatuslikke gaasi- ja tolmukogumeid.

Need ja teisedki massiivsete tähtedega seotud teemad saavad lähitulevikus toetust ja inspiratsiooni teadmisest, et alates 2019. aastast on Eesti täheuurijad olnud partnerid rahvusvahelises koostööprojekti POEMS (Physics of Extreme Massive Stars). Projekti kaudu on võimalik kasutada järjest täienevaid vaatluslikke ja teoreetiliste mudelite andmebaase, et teha edusamme aktuaalsete probleemide lahendamisel. •



ESA/HUBBLE/NASA

Kõigi arengufaaside puhul on tavaline, et heledusmuutlikkuse amplituud ei ületa 10 protsenti keskmisest tasemest.


võib aja jooksul kõikuda, langedes tavaolukorda iseloomustava 15 000 – 30 000 K juurest 6500–8000 K-ni. BSG-tähed on kõnealuste seas oma 10 000 ja 30 000 K vahele paigutuva temperatuuriga kuumemate hulgas. WR-tähed on massiivsete supernoovade vahetud eellased ja nende pind on üle 40 000 K kuum.

Kirjeldatud objektide raadiused on samuti erinevad. Kui ühikuks võtta Päikese raadius R_{\odot} , on kõige kompaktsamad WR-tähed (mõni kuni parkümmend R_{\odot}). Järgnevad BSG-d (20–60 R_{\odot}), aga RSG raadius võib ulatuda 1000 R_{\odot} -ni, nii et päikesesüsteemi võrdluseks võttes tiirleks Jupitergi sellise RSG väliskihis. Muutliku pinnatemperatuuriga LBV- ja YHG-tähed on sellega seotult ka varieeruva raadiusega: kuumemas olekus alla 100 R_{\odot} , aga jahedas olekus paisununa kuni 500 R_{\odot} -ni.

Kõigi arengufaaside puhul on tavaline, et heledusmuutlikkuse amplituud ei ületa 10 protsenti keskmisest tasemest. Siin on erand LBV ja YHG tsükliline käitumine. Aeg-ajalt võib nende näiv heledus kasvada paariks kuuks kuni mõneks aastaks mitmekordseks.

Käsitletud arenguolekutele on omane intensiivne aine väljavool tähetuule- na või ajuti ka tihedama gaasikihi väljapaikamisena. WR staadiumiks on nn massikao mõju suurim, sünnimassist võib olla alles jäänud alla poole.

Niisuguse elukäigu tõttu pole WR-tähtedes enam näha vesinikku, mis on muudel juhtudel enamasti kõige levinum keemiline element. Peale väliskihi „ärakupumise“ on pinnale kerkinud termotuumareaktsioonides tähe sees tekkinud heelium, lämmastik ja süsinik. •

 **Indrek Kolka** (1948) on Tartu observatooriumi tähefüüsika osakonna kaasprofessor. Teadustöös keskendunud peamiselt kuumade üliheledate tähtede spektroskoopia ja fotomeetria ja neid tähti kirjeldavatele mudelitele. Teinud kindlaks kuumade üliheledate muutlike tähtede prototüübi P Cygni spektrimuutlikkuse iseloomu.

Lähiminevikus vaadeldud supernoovadest paikneb Maale kõige lähemal 1987. aastal Suures Magalhãesi Pilves plahvatanud ja selle ajani sinise ülihiina käitunud täht. Praegu jäänuki juures nähtav rõngasstruktuur on eelnenud elu jooksul välja voolanud aine ja plahvatuspurske koosmõju tulemus



J. BALLY, D. DEVINE / R. SUTHERLAND, D. JOHNSON (CITA) / HST / NASA

Orioni tähtkujus paiknevas tekkepiirkonnas on noored tähed ümbritsetud eelmiste generatsioonide poolt „läbi töötatud“ gaasi- ja tolmupilvedest



TARTU ÜLIKOOL
Tartu observatoorium

Kosmos ühendab!

kosmos.ut.ee > Külustuskeskus

Ekskursioonid

Aktiivõppeprogrammid

Õpetajate täiendkoolitused



INDREK VURM

LÖÖKLAINED AITAVAD MÕISTA NOOVAPLAHVATUSTE HINGEELU

Noovad on meile lähimad ja kõige sagedamini vaadeldavad astronoomilised plahvatused. Viimase aja avastused on näidanud, et lööklained mängivad noovaplahvatuste olemuses seni arvatust olulisemat rolli.

NASA / CXO / RIKEN / D. TAKEI ET AL / STSCI / NRAO / VLA

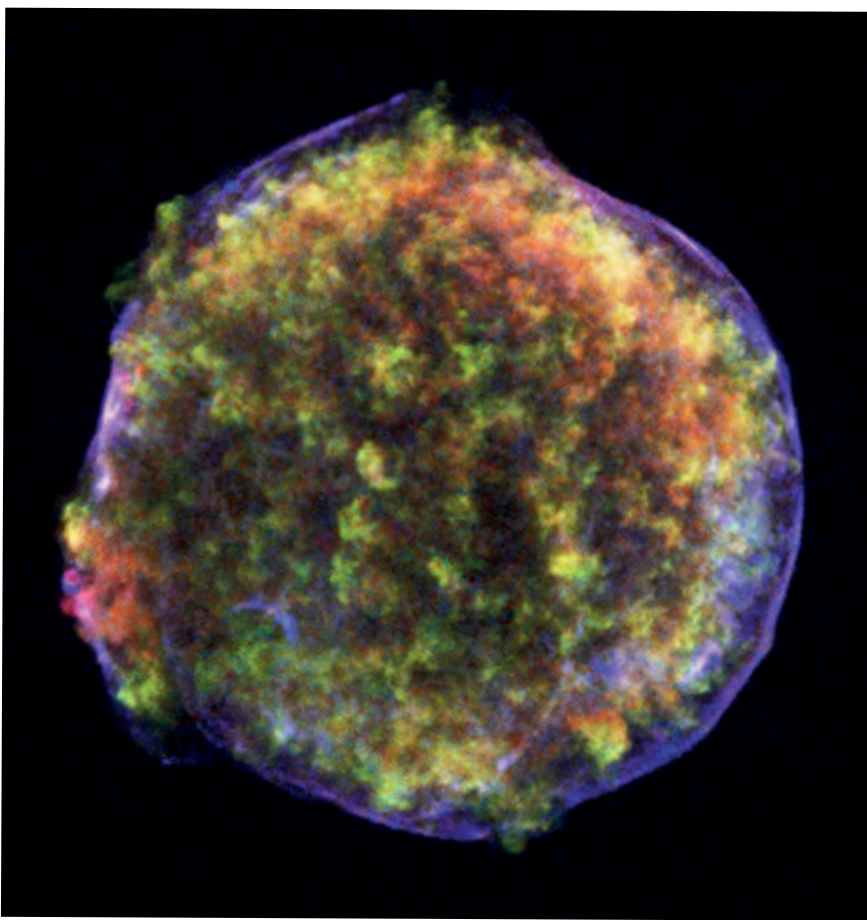
Ilutulestiku udukogu ehk GK Persei noovaplahvatuse jäänused. See noova avastati 1901. aasta veebruaris, kui ta säras paar päeva öötaeva ühe eredaima tähena. 2015. aastal avaldatud liitpildil on näha valgelt kääbuselt plahvatuse käigus eemale paiskunud ainet (kollast värvi), röntgenikiirgust (sinine helendus) ja raadiokiirgust (roosa helendus). Röntgenikiirgus viitab väljapaiskunud kuumale gaasile ja raadiokiirgus elektronidele, mille noova lööklaine on kiirendanud kõrge energiani

Noovad on inimkonda paelunud juba antiikajast saadik. Ladinakeelne *stella nova*, lühendatult „noova“, tähendab 'uut tähte'. Nõnda nimetati ootamatult taevasse ilmunud helendavat objekti, mida ei saanud harilikust tähest palja silmaga eristada. Varaseimad kirja pandud noovade vaatlused pärinevad hiljemalt 2. sajandist e.m.a, kui Hani dünastia aegses Hiinas peeti arvet taevasse ilmunud ebatavaliste ja muutlike nähtuste üle. Tagantjärele on ilmne, et toona registreeritud vaatluste hulka sattusid peale noovade näiteks komeedid, meteorid ning isegi supernoovad. Kui komeete ja meteore saab taevavõlvil liikumise tõttu palja silmaga kergesti eristada, siis noovad ja supernoovad paistavad tähtede suhtes paigal seisvat. Paljuski just seepärast ei osatudki noovadel ja supernoovadel kaua aega vahet teha.

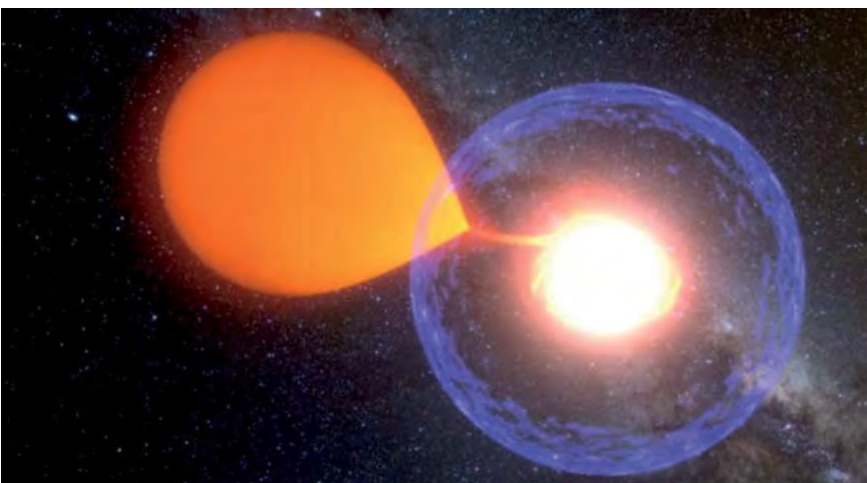
Tycho Brahe oli üks esimesi, kes tegi 1572. aastal ühe „uue tähe“ (praeguse nimega supernoova SN 1572) parallaksi täpseid mõõtmisi. Mõõtmatault väikesest tulemusest järeldus, et objekt asub meist väga kaugel. Arusaam, et noovasid saab eristada kahte klassi, kujunes alles 20. sajandi algupoolel. Eristamist takistas peamiselt see, et nende täpne kaugus ja seetõttu ka absoluutne heledus polnud teada.

Olukord muutus, kui 20. augustil 1885 avastas Tartu ülikoolis töötanud saksa astronoom Ernst Hartwig meie sõsargalaktikas Andromeeda supernoova S Andromedae (SN 1885A). Erinevalt teistest samas galaktikas vaadeldud noovadest oli SN 1885A heledus võrreldav kogu emagalaktika heledusega. Nüüd sai järeldada, et seni noovadena tuntud objektide klassi absoluutsed heledused varieeruvad vähemalt 10 magnituudi piires. Selle alusel esitasid Knut Lundmark ja Heber Curtis 1920. aastatel hüpoteesi, et tegu võib olla olemuselt täiesti erinevate nähtustega. Heledamate objektide klass sai nimetuseks 1930. aastate alguses Walter Baade ja Fritz Zwicky pakutud *supernoova* ning termin *noova* jäi tähistama väiksema heledusega objekte, mida on käsitletud selles artiklis.

Kuni möödunud sajandi keskpaigani puudusid noovade olemuse kohta tõsiselt võetavad füüsikalised põhjendatud teooriad. Olulise verstapostini jõuti 1950. aastatel, kui Merle Walker avastas 20 aastat varem noovana plahvatanud DQ Herculis süsteemi varjatusmuutlikkuse, tõestades, et see on



1572. aastal Tycho Brahe avastatud ja meist 7500 valgusaasta kaugusel asuva supernoova SN 1572 jäänuk röntgenikiirguses. Pilt on jäädvustatud Chandra kosmoseteleskoobiga



Noovaplahvatus kunstniku pilgu läbi. Aine voolab kaksiksüsteemi sekundaartähelt (vasakul) valgele kääbusele. Kui on kogunenud piisavalt massi, väljuvad termotuumareaktsioonid kontrolli alt ja kääbuse pindmised kihid heidetakse välja – toimub noovaplahvatus

kaksiksüsteem. Veidi hiljem näitas Robert Kraft, et üldjuhul leidubki noovasid kaksiksüsteemides. Samuti püstitas Kraft hüpoteesi n-õ kõdunenud tähe pinnal aset leidvast plahvatuslikust vesiniku tuumapõlemisest.

Praeguseks on selge, et noovaplah-

vatusi tekitavate kaksiksüsteemide tähtsaim osa on valge kääbus. See on ligikaudu ühe Päikese massi ning Maa mõõtmetega objekt, mis on vähem massiivsete ehk alla 10 Päikese massiga tähtede, sh Päikese, eluea lõppprodukt.

Süsteemi sekundaartäht võib olla nii peajada täht kui ka hilisemas arengujärgus hiidtäht. Esimesel juhul on tegemist nn klassikaliste noovadega, kus sekundaartähtelt tekib aine ülevool valge kääbuse gravitatsioonilise haardesse ning lõpuks viimase pinnale. Teisel juhul toidab hiidtäht valget kääbust oma intensiivse tähetuulega. Niisugused on sümbiootilised noovad.

Valge kääbuse pinnale jõudnud vesinikurikas aine surutakse tugevas gravitatsiooniväljas kokku ja see kuumeneb nii kõrge temperatuurini, et käivitub vesiniku tuumapõlemine.

Tuumapõlemine kulgeb vähemalt esialgu stabiilselt. Olenevalt aine valgele kääbusele voolamise ja pinnale ladestumise kiirusest ja valge kääbuse massist võib see kesta 1–10⁷ aastat. Kui nn akretsiooni kiirus pole liiga suur, tekib aine kääbuse pinnale kogunemisel lõpuks olukord, kus tuumareaktsioonides vabanev energia ületab pinnakihi võime seda välja transportida ja kiirata. Selle tõttu temperatuur tõuseb, termotuumareaktsioonid väljuvad kontrolli alt ja pinnakihid heidetakse plahvatusega tähtelt välja. Täpne massikaomehhanism ei ole

praeguseni lõplikult selge, kuid tõenäoliselt on see segu esialgsest impulsiivsest aine väljapaikamisest ning järgnevat pikemast etapist, kus edasist massikadu põhjustab kääbuse pinnal jätkuvast tuumapõlemisest tingitud kiirgusrõhk.

Välja paisatav aine on esialgu tihe ja kiirgusele läbipaistmatu. Noova vaadeldav heledus saavutab maksimumi alles siis, kui eemalduv aine on piisavalt hõrenenud, et optilised fotonid saaks sellest välja tungida. Kiirgusmaksimum tekib harilikult paari päevaga ning sellele järgneb nädalaid kuni kuid kestev heleduse kahanemine.

Noovade kiirgus eri lainepikkustel

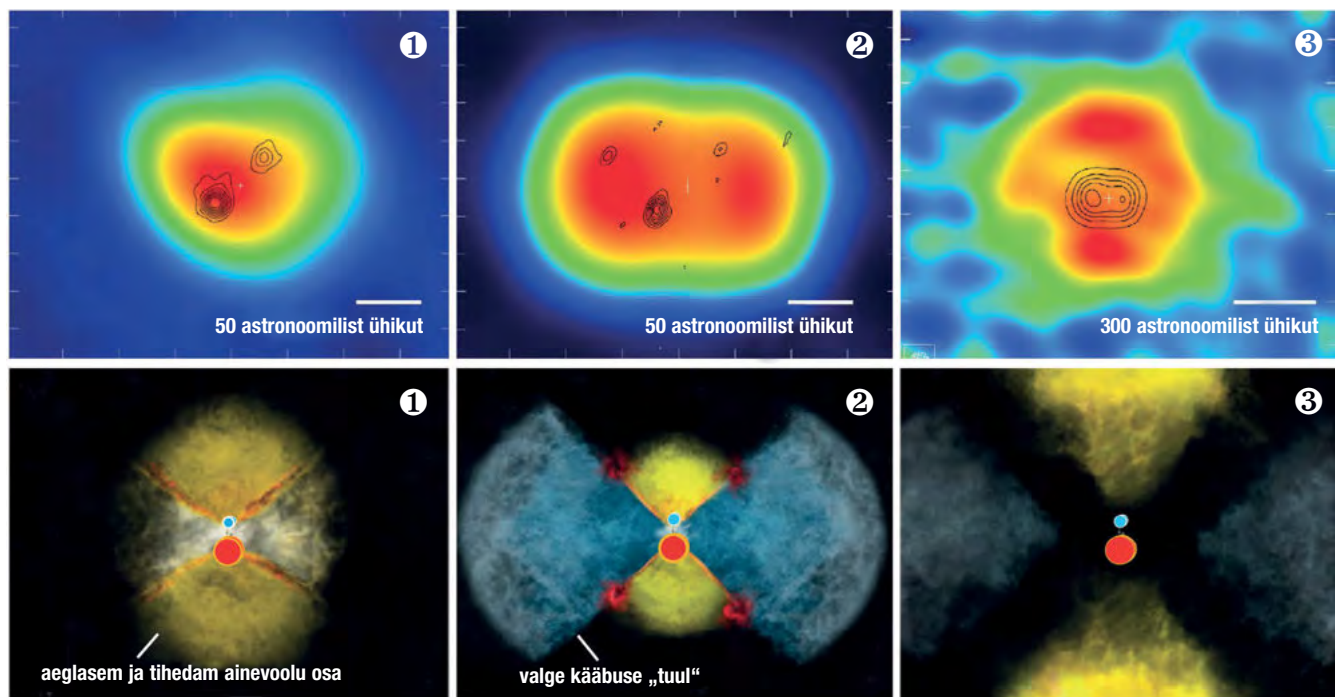
Ajalooliselt põhineb enamik noovade kohta käivatest teadmistest – alustades uute noovade avastamisest ja lõpetades neid põhjustavate protsesside väljaselgitamisega – optilistel vaatlustel. Enamik noovade kiirgavast energiast väljub optilistel või sellele lähedastel lainepikkustel (ultravioletne, infrapunane). Noovaplahvatuse eri etappide optilised (spektraal)vaatlused annavad hulganisti teavet väljapaistava aine hulga, koostise ja liikumis-

kiiruse kohta. Selle abil on omakorda võimalik plahvatuse ja aine väljavoolu üksikasju paremini mõista.

Peale optilise kiirguse võivad noovad kiirata mitmesugustel lainepikkustel üle kogu elektromagnetlainete spektri. Nii raadio-, röntgen- kui ka gammavaatlused annavad palju lisateavet, mida pole võimalik optiliste vaatlustega saada. Näiteks kõrglahutusega raadiointerferomeetria abil saab määrata plahvatusega välja paisatava aine ruumilist jaotust ja liikumist.

Vaatlustest järeldub, et üldjuhul pole eemalduv aine jaotunud sfääriliselt sümmeetriliselt. Näiteks on ilmnenu, et noova V959 Monocerotise ligikaudu elliptiline raadiokujutus

Noovaplahvatuse eri etappide optilised vaatlused annavad hulganisti teavet väljapaistava aine hulga, koostise ja liikumiskiiruse kohta. Selle abil on omakorda võimalik plahvatuse ja aine väljavoolu üksikasju paremini mõista.



ALLIKAS: B. SAXTON / NRAO / AUI / NSF

9. juunil 2012 avastati Fermi gammakiirguse teleskoobiga noova V959 Monocerotis. See oli üpris ebatavaline sündmus, sest valdavalt avastatakse noovad esmalt optilises diapsoonis. Piltidel on näha V959 Monocerotisest eemale paisatud aine väljavoolu kujutised eri raadiosagedustel ja hetkedel (ülal) ja vaatlusandmetel põhinevad kunstniku nägemused plahvatuse arengust (all). Vasakpoolsetel piltidel on näha plahvatuse varajane faas 87. päeval pärast noova avastamist, mil väljavoolu komponente on raske eristada. 126. päeval pärast avastamist tehtud keskmisel raadiokujutisel domineerib kiirem ainevool polaaralade suunas (joonisel parem ja vasak siht) ja ekvatoriaalatasandis takistab kiiret väljavoolu aeglasem ja tihedam ainevoolu osa. 615. päeval pärast avastamist tehtud parempoolsetel piltidel on kiirem ainevool hõrenenud ning kujutises domineerib aeglasem ekvatoriaalne komponent (joonisel ülalt alla siht); kontuuridele on võrdluseks toodud varajasem raadiokujutus (keskmistel piltidel)

Piltide mõõtkava on esitatud astronoomilistes ühikutes (1 aü on Maa keskmine kaugus Päikesest ehk ligi 150 miljonit kilomeetrit)

muudab umbes ühe-kahe aasta jooksul oma pikema pooltelje asendit 90 kraadikraadi võrra. Sellest järeldati, et väljuv ainevool koosneb aeglasemalt liikuvast toorikujulisest komponendist kaksiktähe ekvatoriaaltasandi lähedal ning kiiremast ligikaudu sfääriliselt sümmeetrilisest osast. Olulist rolli etendab siin sekundaartäht, mille gravitatsioonilist vastasmõjustumist väljapaisatava ainega oma orbiidil on võrreldud mikseriga, mis suunab aeglasemalt liikuva väljavoolukomponendi ekvatoriaaltasandile lähedastele laiuskraadidele. Selline kahekomponendiline konfiguratsioon loob viljaka pinnase lööklainete tekkeks eri kiirusega liikuva ainevoolude vahel.

Ühtlasi võimaldavad raadiospektrite ajalise arengu vaatlused määrata väljapaisatava aine tihedusprofiili ja kogumassi.

Kuna noovade vaadeldavas kiirguses valdavad optilised või sellele lähedased lainepikkused, on mõnevõrra üllatav, et enamik kohapeal kiiratavast energiast on algul hoopis röntgensagedustel. Sellel on kaks peapõhjust, mis tulenevad otseselt füüsikalistest tingimustest piirkondades, kus noovaplahvatuse käigus vabanev energia muundatakse kiirguseks.

Esmalt, pärast pealmiste kihtide väljajähtmist, jätkub valge kääbuse pinnal termotuumapõlemine, mida klassikalises käsitluses peetaksegi vaadeldava kiirgusenergia algallikaks. Arvestades vabaneva energia hulka ja valge kääbuse pindala, võib üsna üldiste põhjenduste alusel (täpsemalt musta keha kiirgusseaduse järgi) järeldada, et enamik sellest energiast kiiratakse röntgendiapasoonis, täpsemalt selle pehmemas ehk madalasageduslikumas osas. Seda kiirgust saab otseselt vaadelda alates ligikaudu kuu pärast plahvatust ja niikaua, kuni kääbuse pinnale jäänud vesiniku mass langeb allapoole tuumareaktsioonide toimimiseks vajalikku määra. Kõrvalepõikenähtena olgu märgitud, et selle kiirguse efektiivset temperatuuri ja kestust saab kasutada näiteks valge kääbuse massi määramiseks.

Teisalt võivad kiirusega umbes 1000 km/s välja paiskuvast aines tekki da lööklained, mis kuumutavad osakesi temperatuurini 10^7 kraadi. Sellele vastav osakeste ja nende kiiratavate footonite keskmine energia on umbes 1 keV (kiloelektronvolt), mis on jällegi röntgendiapasoonis.

Miks siis ikkagi domineerib vaadeldavas kiirguses optiline diapasoone? Põhjuseks on plahvatuse käigus välja paisatava aine läbipaistmatus röntgensagedustel. Selle tulemusel enamik röntgenfootonitest neeldub ning nende energia „töödeldakse“ ümber järjest madalamatele (sh optilistele) sagedustele, kuni suurem läbipaistvus optilises diapasoonis võimaldab kiirgusel lõpuks ümbrise läbi tungida.

Noovade gammakiirgus

Üks viimaste aastate suuremaid üllatusi noovade füüsikas on NASA Fermi kosmoseteleskoobiga tehtud avastus selle kohta, et noovad on võimelised kiirgama ka gammakiirgust. Esimene

niisugune leid oli sümbootiline noova V407 Cygni, kus valge kääbus on ümbritsetud kaaslaseliseks oleva muutliku punase hiu tiheda tähetuulega. Seevastu hiljem tuvastatud nn gammamanovad on olnud valdavalt klassikalist tüüpi, kus kääbuse kaaslane on peajada täht, millel puudub intensiivne tähetuul.

Vaadeldud gammakiirgus polnud juba aastakümneid tagasi ennustatud „pehme“ ehk MeV- (megaelektronvolt) energiatel kiirgus, mis tekib radioaktiivsete tuumade lagunemisel ja tuumareaktsioonide käigus tekkinud positronide annihilatsioonil (protsess, milles osake põrkub oma antisakesega) elektronidega. Kõnealuste gamma-



NASA

Kunstniku nägemus Fermi gammakiirguse kosmoseteleskoobist Maa orbiidil

kvantide energia ulatub 10 GeV-ni (gigaelektronvolt) ehk „pehmet“ gammakiirgusest neli suurusjärku kõrgemale. Nende tekkeks on vaja vähemalt sama kõrge energiaga osakesi, mida aga tuumareaktsioonides ei teki.

NASA Fermi teleskoop on praegu seks tuvastanud GeV-energiaga footoneid üle tosinal nooval, keskmiselt ühelt aastast. Gammakiirgust saab harilikult vaadelda paari nädala jooksul pärast optilist maksimumi. Aastas avastatakse keskmiselt 5–15 noovat, kuid neist ainult väikest osa saab vaadelda gammanoovadena. Sellest hoolimata on postuleeritud, et märkimisväärne osa noovadest võib kiirata gammadiapasoonis, kuid meieni jõudev voog jääb alla Fermi LAT-seadme tundlikkuse piiri. Mõnevõrra toetab seda hüpoteesi asjaolu, et paljud seni avastatud gammanoovad on olnud võrdlemisi lähedal (umbes 2–5 kiloparseki kaugusel) ning mitu neist omakorda LAT-i detekteerimisvõimekuse piiri lähedal.

Kosmilised lööklained

Lööklaineid tuleb ette eri kosmilistes keskkondades, alustades ainevooludest neutrontähtedele ja lõpetades galaktikatevahelise gaasiga. Lihtsustatult võib öelda, et lööklained muundatakse osakeste korrapärase ehk suunatud liikumine juhuslikuks (tinglikult võib seda nimetada soojuseks). Osakeste keskmine energia jääb seejuures samaks. Astrofüüsikalised lööklained teeb huvitavaks asjaolu, et nad on võimalised andma väikesele osale osakestest energia, mis ületab paljude suurusjärkude võrra osakeste keskmist energiat. Näiteks on alust arvata, et supernoovade jäänukites kiirusega kuni 10 000 km/s levivad lööklained on peamine kosmiliste kiirte allikas energiateni 10^{15} eV. Noovade lööklained kiirusega 1000 km/s, kus osakeste keskmine energia vastab umbes 1 keV-le (ehk temperatuurile 10^7 kraadi), arvatakse olevat võimalised kiirendama osakesi energiateni 10 GeV kuni 10 TeV.

Enamik astrofüüsikalistest lööklainetest leiab aset põrkevabas keskkonnas. See tähendab, et plasma on osakestevaheliste põrgete tekkeks liiga hõre. Selle asemel vastasmõjustuvad osakesed ühiste elektromagnetiliste interaktsioonide kaudu. Lühidalt: osakeste liikumist mõjutavad kõigi ülejäänud osakeste tekitatud mikroskoopilised elektri- ja magnetväljad. See tõttu on osakesed omavahel vastasmõjus nagu harilikus gaasiski, kuid see vastasmõju saavutatakse suure hulga osakeste ühise liikumise tulemusena.

Osakestevaheliste põrgete puudumine on vast kõige olulisem tingimus, mis võimaldab väga erinevatel astrofüüsikalistel lööklainetel toimida osakestekiirenditena. Piltlikult öeldes kiirendatakse osakesi kahe teineteise poole liikuva peegli vahel „põrgatamise“ tõttu. Seejuures toimivad peeglitega eri kiirusega plasmavood, mis jäävad lööklainefrondist vahetult üles- ja allavoolu suunas. Läbi frondi edasi-tagasi liikudes saab osake iga tsükliga veidi energiat juurde.

Lööklainete füüsika mõistmine on üks olulisemaid kõrge energia astrofüüsika probleeme, mille lahendamisele on pühendunud hulk uurimisrühmi. Viimaste aastate suured edusammud sel alal on tehtud peamiselt numbriliste simulatsioonide abil, mis on suuresti saanud võimalikuks arvutusvõimekas kasvu tõttu.

Lööklainete füüsika mõistmine on üks olulisemaid kõrge energia astrofüüsika probleeme, mille lahendamisele on pühendunud hulk uurimisrühmi. Viimaste aastate suured edusammud sel alal on tehtud peamiselt numbriliste simulatsioonide abil, mis on suuresti saanud võimalikuks arvutusvõimekas kasvu tõttu.

Aine väljavoolud ning lööklained noovades

Noovade lööklained olid tegelikult teada enne, kui need Fermi teleskoobiga avastati. Nimelt viitasid juba varasemad röntgenvaatlused kuuma, üle 10^7 -kraadise plasma olemasolule, mida on raske seletada teisiti kui lööklainetega. Astrofüüsikaliste ainevoolude käsitlustes eristatakse sageli välimisi ja sisemisi lööklaineid. Esimesed tekivad ainevoolu vastasmõjustumisel ümbritseva ainega (nt supernoovade jäänukites), teised esinevad ainevoolu sees (nt blasarites, gammasähvatuste varajases faasis jne).

Välimiste lööklainete tekkeks on vaja üksnes piisava tihedusega lähikeskkonna olemasolu ning selle suhtes ülehelikiirusel liikuvat ainet. See oli esimesena lihtsam mõista noovat V407 Cygni, kus sekundaartähe tähetuulena on lööklainete tekitamiseks olemas loomulik „märklaud“. Klassikalistes noovades, mis plahvatavad võrdlemisi hõredas keskkonnas, saavad lööklained kujuneda vaid väljapaisatava(te) ainevoolu(de) sees.

Aastas avastatakse keskmiselt 5–15 noovat, kuid neist ainult väikest osa saab vaadelda gammanoovadena.

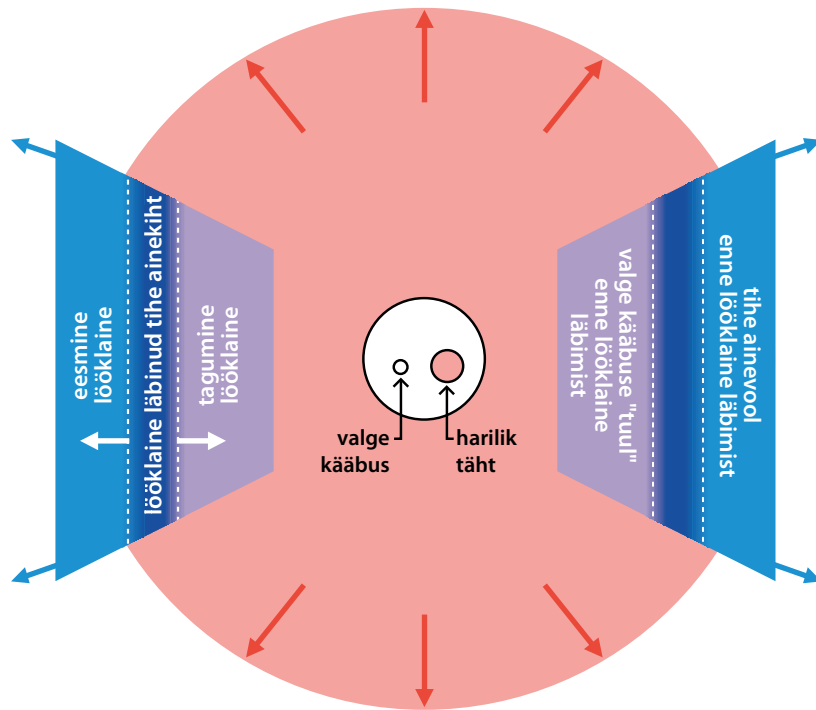
Hoolimata aastakümneid kestnud vaatlustest ja teoreetilistest mudeldamisest on täpsed noovade massikao füüsikalised üksikasjad siiani paljuski ebaselged. Praeguste teadmiste kohaselt on plahvatuse dünaamika ja seda kontrollivad protsessid lühidalt järgmised. Kontrolli alt väljunud termotuumareaktsioonid talletavad valge kääbuse pinnale voolanud ümbrisesse soojusenergia, mis saab mingil hetkel võrreldavaks ümbrise seoseenergiaga kääbuse gravitatsiooniväljas. Selle tulemusel paisub ümbris üle kümne korra suuremaks kui valge kääbuse mõõtmed. Paisumise tõttu temperatuur langeb ja kontrollimatud termotuumareaktsioonid peatuvad. Osa ümbriseest langeb hiljem kääbuse pinnale tagasi ning termotuumareaktsioonid jätkuvad pinnal mõõdukamas tempos.

Praegu pole täpselt teada, kuidas ülespaisutatud ümbris valge kääbuse gravitatsioonilisest haardest lõplikult vabaneb ja süsteemist välja heidetakse. Kuna ümbrise mõõtmed kasvavad klassikalistes noovades võrreldavaks kaksiksüsteemi orbiidiga ja suuremaks, on loomulik küsida, kuidas võib sekundaartäht aine väljavoolu kujuneda.

Ümbrise sisse jäädes talletab sekundaartäht sellesse osa oma orbitaalliikumise energiast ning võib aidata kaasa aine väljapaiskamisele. Isegi kui see mehhanism ei ole piisav, et ümbris gravitatsioonilisest haardest vabastada, võib sekundaartäht siiski kujuneda ümbrise kuju, koondades ainet kaksiksüsteemi ekvatoriaaltasandile lähemale. Mida aeglasem on väljavoolu kiirus (alla 1000 km/s), seda efektiivsem on protsess.

Teine oluline aine väljavoolu põhjustaja on kiirgusrõhk, mille energiaallikas on valge kääbuse pinnal jätkuv termotuumapõlemine. Kiirguse vastasmõju ainega sõltub oluliselt ümbrise optilisest paksusest ehk läbipaistmatuses eri lainepikkustel, mis määrab, millistel raadiustel kannavad footonid oma impulsi kõige efektiivsemalt ümbrisele üle. Selle tulemusel tekib optiliselt tihe, kuid muus mõttes tähetuulega sarnanev aine väljavool.

Ümbrise hõrenedes läbipaistmatus kahaneb ja väljavoolu „stardipunkt“ liigub kääbusele lähemale ja voolu kiirus suureneb. Eri noovade spektraalvaatlustest mõõdetud aine väljavoolu kiirused jäävad vahemikku 200 kuni 7000 km/h. Kiirused muutuvad märki-



ALLIKAS: METZGER ET AL. 2015

Noova kaheosalise väljavoolu skeem, vaadelduna kaksiksüsteemi orbitaaltasandi sihis. Ligikaudu sfääriliselt sümmeetriline ja suurema kiirusega ainevool – valge kääbuse „tuul“ (punane) põrkub varem välja heidetud ja orbitaaltasandile lähemale koondunud aeglasema ainega (sinine), tekitades löökaine. Viimane kuumutab aine 10^7 kraadini ja kiirendab osakesi energiateni, mis kiirgavad üle kogu elektromagnetlainete spektri ehk raadiosagedustest gammadiapasoonini



INTERNATIONAL GEMINI OBSERVATORY / NOIRLAB / NSF / AURA / B. O'CONNOR, UNIVERSITY OF MARYLAND & GEORG WASHINGTON UNIVERSITY / J. RASTINEJAD & W. FONG, NORTHWESTERN UNIVERSITY / T.A. RECTOR, UNIVERSITY OF ALASKA ANCHORAGE / J. MILLER, M. ZAWANI & D. DE MARTIN

Tänavu 9. oktoobril avastatud gammasähvatus GRB 221009A järelhelendus, vaadelduna optilises diapsoonis. Gammasähvatused kuuluvad universumi võimsaimate plahvatuste hulka, vabastades sekundite jooksul rohkem energiat, kui Päike kiirgab terve oma eluea jooksul. GRB 221009A toimus 2,4 miljardi valgusaasta kaugusel Noole tähtkujus. Sähvatus põhjustas massiivse tähe tuuma kokkuvarisemisel tekkiva musta augu põhjustatud ainevool, mis puurib end läbi tähe ning liigub ligilähedasel valguse kiirusel ümbritsevasse keskkonda. Ainevoolu sees, samuti vastasmõjul tähtedevahelise ainega tekkivad löökained muundavad aine kineetilise energia kiirguseks, millest enamik väljub gammasagedustel. GRB 221009A kõige intensiivsem gamma-kiirguse faas kestis mõne minuti ja sellele järgnes pikem järelhelendus, mida sai vaadelda nii raadio-, optilises, röntgeni- kui ka gammakiirguses. Registreeritud kõrgeim footonienergia oli 18 TeV (tera-elektronvolti), mis on gammasähvatuses seas rekordiline. Rekordiline tulemus on intrigeeriv, kuna praeguste teadmiste järgi ei tohiks niivõrd suure energiaga fotonid sellistelt kaugustelt tähtedevahelises ruumis neeldumise tõttu meieni jõuda

misväärselt ka ühe noova piires, kus võib samal ajal vaadelda väga erineva laiusega spektrijooni. Lööklainete teke eri kiirusega vooluosade vahel on peaaegu vältimatu.

Lihtsustatud mudel, milles nn sise-mised lööklained tekivad, koosneb aeglasemast ekvatoriaaltasandi lähedale koondunud väljavoolust kiirusega umbes 200 km/s ning sellele järgnevast 2000 km/s liikuvast ligikaudu sfääriliselt sümmeetrilisest „tuulest“. Niiugune konfiguratsioon tekitabki tugevaid lööklaineid ekvatoriaaltasandi lähedal, kus kohtuvad kaks eri kiirusega ainevoolu. Lööklaine kiirgab üle kogu elektromagnetlainete spektri, kuid enamikul sagedustest ei pääse kiirgus süsteemist esialgu välja. Esimesena – umbes paar päeva pärast plahvatust – muutub ainevool läbitavaks optilisele ning GeV-energiaga gamma-kiirgusele, kui noova saavutab maksimumaalse heleduse mõlemas diapsoonis. Seega on mõlemad sagedused kõige vahetumad lööklainete toimivate protsesside peegeldajad.

Üks huvitavamaid hiljutisi avastusi lööklainete rolli kohta on nn korreleeritud muutlikkuse kindlakstegemine

noovadel V5856 Sagittarii ja V906 Carinae gamma- ja optilise diapsooni valgusköverate vahel. Kuna gammakiirgus pärineb suure tõenäosusega lööklainetest, viitab neis noovades tuvastatud valgusköverate muutlikkuse teatav kattuvus otseselt ka optilise kiirguse lööklainelisele päritolule. Kui see tõepoolest ongi nii, võib avastust pidada revolutsiooniks noovade teoorias, sest aastakümneid on arvatud, et vaadeldav kiirgusenergia pärineb valge kääbuse pinnal pärast esialgset plahvatust jätkuvatest tuumareaktsioonidest.


Stadiumis, kus gammakiirgust saab veel detekteerida, töötab lööklainet ümbritsev tihe keskkond valdava osa vabanevast energiast ümber optiliseks kiirguseks. Seega on noovade V5856 Sagittarii ja V906 Carinae optiline kiirgusvõimsus ligikaudu võrdne lööklaine koguvõimsusega.

Samaaegseid vaatlusi optilises ja gammadiapsoonis on tehtud ka teistes noovades, kuid nõrga signaali tõttu pole neis selget gammaoptilist seost tuvastatud. Siiski viitavad vaatlused võimalusele, et lööklained tekitavad nii mõneski noovas märkimisväärse osa optilisest kiirgusest.

Lõpetuseks

Noovad on meile lähimad ja kõige sagedamini vaadeldavad astronoomilise muutlikud objektid, mille füüsikas etendavad lööklained seni arvatust suuremat rolli. Seetõttu võivad nad aidata mõista lööklainete füüsikat ka teistes, haruldamates ja kaugemates nähtustes. Viimaseid on väga mitmekesiseid, näiteks nn II-tüüpi ja üliheledad supernoovad, tähtede kokkupõrked, ühinemised ja nende sattumine massiivsete mustade aukude haardesse ning samuti gammasähvatused. Tasub märkida üht hiljuti vaadeldud aegade eredaimat gammasähvatust GRB 221009A, mis pakub enneolematult detailse vaate universumi kõige võimsamate plahvatuste hingeallu.

Artikli täisversioon on ilmunud väljaandes „Tähetorni kalender 2021“.

 **Indrek Vurm** (1978) on astrofüüsik, Tartu ülikooli Tartu observatooriumi galaktikate füüsika ja kosmoloogia osakonna astrofüüsika teadur. 2010. aastal kaitsnud doktoritöös on käsitlenud kosmilistes plasmades aset leidvaid kiirgusprotsesse.

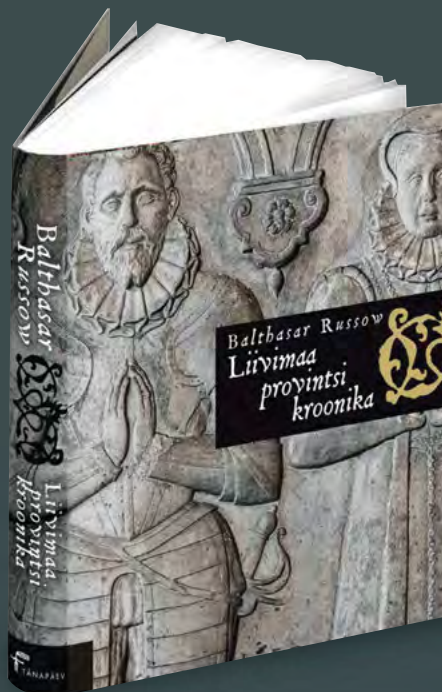
Balthasar Russow

LIIVIMAA PROVINTSI KROONIKA

Tõlkinud Jüri Kivimäe

„Liivimaa provintsi kroonika“ on Liivimaa sõja (1558–1583) ajaloo üks tähtsamaid ja tuntumaid allikaid, millest saab lugeda ka 16. sajandi Tallinna põnevat ja usaldusväärset lähiajalugu, mille pani kirja pastor Russow kui sündmuste kaasaegne ja vahetu tunnistaja.

Russowi kroonika uus tõlge eesti keelde loodab rahuldada avalikkuse huvi Liivimaa ja iseäranis Tallinna kauge mineviku vastu, esimest korda on see eesti keeles varustatud põhjalike kommentaaride ning saatetekstide ja illustratsioonidega.



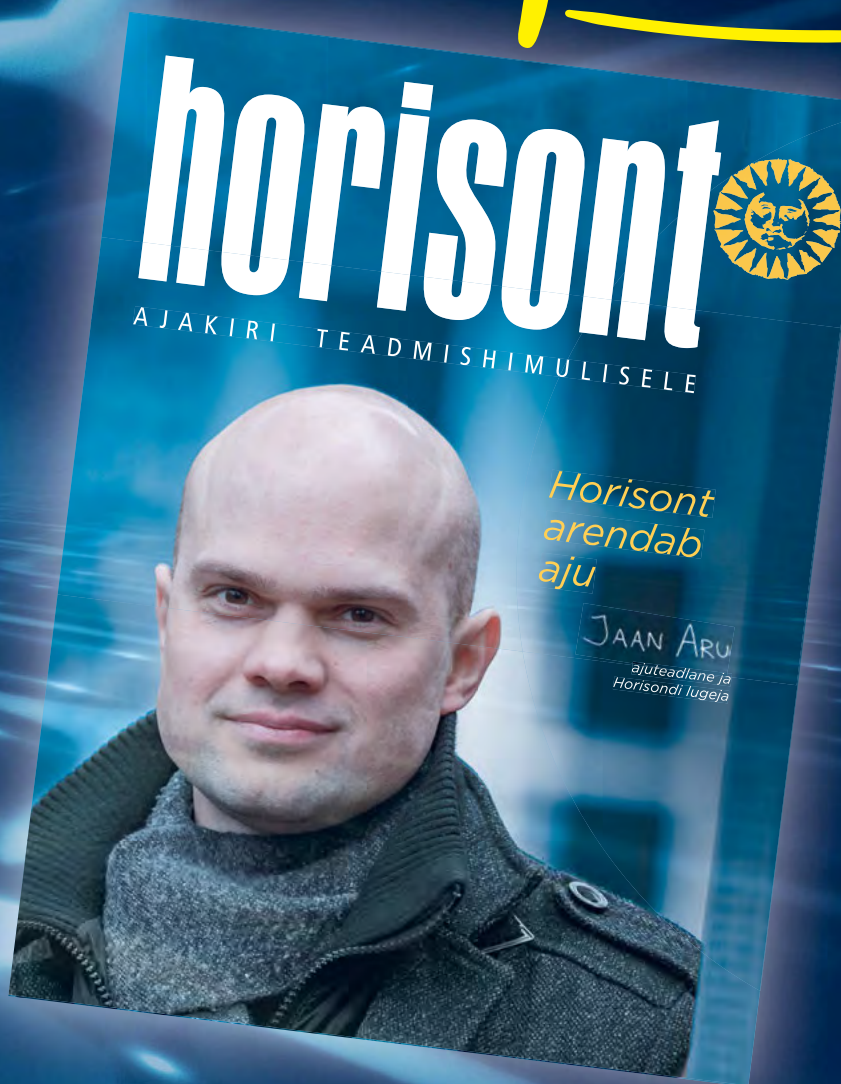
 TÄNAPÄEV

Apollo / Rahva Raamat / tnp.ee

autoriõigus MTÜ Loodusajakiri

Nüüd Horisondi lugejale
koodiga telli30 ajakirja tellimus
koguni 30% soodsam!

Rõõmusta
ennast
või kingi
sõbrale
harivat
lugemist!



Telli siit: www.tellimine.ee/horisont

HARDI VEERMÄE

UNIVERSUMI LÜHILUGU

Universumi paisumise avastuse võib asetada samale pulgale heliotsentrilise maailmasüsteemi käsitluse omaga. Mikołaj Kopernik eemaldas universumi keskpunktist Maa ja asendas selle Päikesega, aga Edwin Hubble'i, Georges Lemaître'i ja paljude teiste füüsikute töö pani 1920. aastatel aluse Suure Paugu teooriale. See lubab teadusel rääkida universumi algusest või vähemalt selle esimestest hetkedest. Meie kosmiline elukeskkond muutub pidevalt. Esialgu täitis maailmaruumi ühtlaselt ülikuum ja ülitihedate osakeste supp. Nüüdseks on see lakkamatult hõrenedes ja jahtudes asendunud tähtede ja galaktikatega, mida taevast näeme. Needki arenevad alata. Järgneva saja triljoni aasta jooksul tähed kustuvad ning universum muutub pimedaks ja külmaks.

Universumi suuremastaabilise struktuuri simulatsioon. Pilt kujutab simuleeritud tumeaine jaotust enam kui 100 megaparseki ehk umbes 326 miljoni valgusaasta suuruse läbimõõduga universumi piirkonnas. Heledam värv vastab suuremale ainetihedusele. Niisugune kargstruktuur on heas kooskõlas astronoomiliste vaatlustega. Tumeaineta poleks olnud säärase struktuuri tekkimine võimalik



BOYLAN-KOICHIN ET AL (2009)
THE VIRGO CONSORTIUM / DURHAM UNIVERSITY / PA

Muutlik aegruum

Soovides lepitada relatiivsusteooriat Newtoni gravitatsiooniteooriaga, sõnastas Albert Einstein 1915. aastal üldrelatiivsusteooria. Nende kahe teooria vahel valitses olemuslik vastuolu: 1905. aastal formuleeritud erirelatiivsusteooria väidab elektromagnetismile tuginedes, et miski ei saa liikuda kiiremini kui valgus vaakumis, kuid Newtoni raskusjõudu vahendab kummituslik kaugmõju, mis levib ühe hetkega. Selle vastuolu kõrvaldamiseks pakkus Einstein revolutsioonilise lahenduse: ta eeldas, et aegruum ise võib olla kõver ja selle põhjus on ruumis paiknevad massiivsed kehad. Üldrelatiivsusteooria vaatepunktist ei tiirle planeedid Päikese ümber mitte nende vahel mõjuva raskusjõu tõttu, vaid seepärast, et Päike kõverdab aegruumi. Planeetide elliptilised orbiidid on optimaalseim tee läbi sellise kõvera aegruumi.

Viimase saja aasta jooksul on Einsteini gravitatsiooniteooriat korduvalt kinnitanud katsed. Seda väga mitmesugustes kontekstides. Igapäevaelus näiteks GPS-seadmeid kasutades. Nimelt tuleb selleks, et asukohta täpselt määrata, võtta arvesse Maa raskusest tingitud aegruumi kõverdumist.

Loomulikult ei lükanud Einsteini avastus ümber Newtoni gravitatsiooniteooriat, vaid kehtestas selle kehtivuspiirid. Põhikoolis õpetatav Newtoni füüsika on matemaatika poolest tunduvalt lihtsam ning kehtib suurepäraselt nõrga gravitatsiooni ja valgusest palju aeglasemalt liikuvate kehade korral.

Einsteini üldrelatiivsusteoorias ei saa ruum kõverduda lõputult lühikese aja jooksul: gravitatsioongi levib valguse kiirusel. See lahendab juba Newtonit häirunud „kummitusliku kaugmõju“ probleemi. Kuna levikiirus on lõplik, eemaldub üksteise ümber tiirlevaid raskeid kehi ümbritsev muutlik gravitatsiooniväli lainetusena. Seda nähtust – gravitatsioonilaineid – mõõdeti esimest korda 2015. aasta 14. septembril Ameerika

Üldrelatiivsusteooria vaatepunktist ei tiirle planeedid Päikese ümber mitte nende vahel mõjuva raskusjõu tõttu, vaid seepärast, et Päike kõverdab aegruumi. Planeetide elliptilised orbiidid on optimaalseim tee läbi sellise kõvera aegruumi.

Ühendriikides LIGO eksperimendis, mis registreeris Päikesest mitukümmend korda raskemate mustade aukude kokkupõrkel tekkinud gravitatsioonilainete signaali.

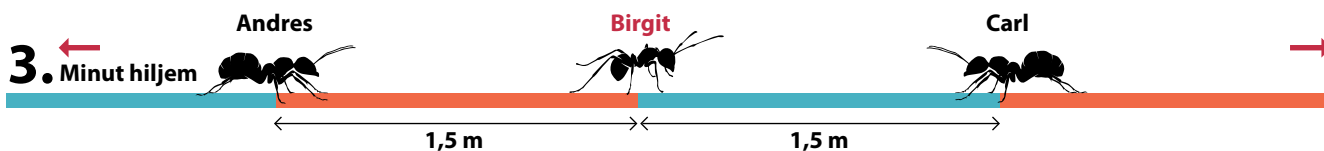
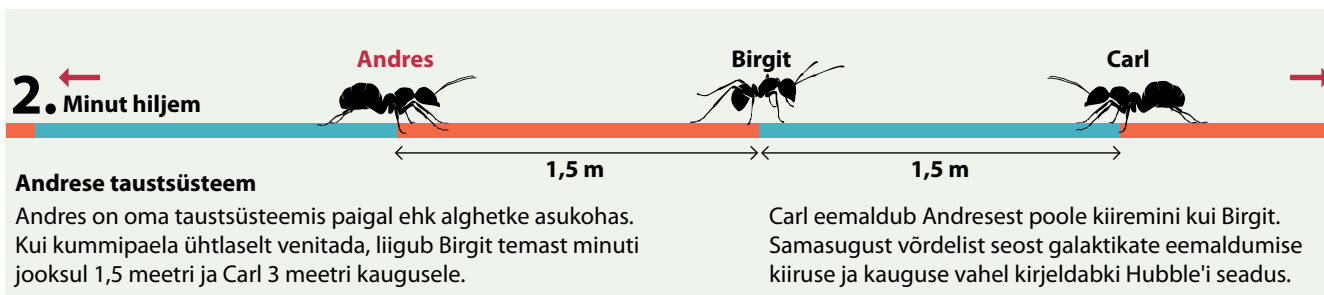
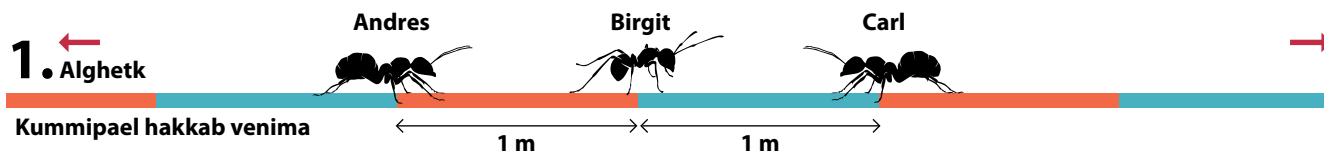
Lainetusena levib gravitatsiooniväli on näide ajas muutuva ja areneva ruumi kohta. Gravitatsioon võib ruumi venitada ja kokku suruda, mistõttu hakkavad lainetuse teele jäävate objektide mõõtmed muutuma. Et seda piltlikustada, võib ette kujutada triibulist kummipaela. Kui see võnkuma panna, võngub ka triipudevaheline kaugus. Gravitatsioonilainete korral on see muutus üliväike. Näiteks LIGO avastatud gravitatsioonilaine muutis interferomeetri nelja kilomeetri pikkust jalga vähem kui kümnetuhandiku tuumaosakese raadiuse võrra. Nüüdseks on gravitatsioonilaineid mõõtes tehtud kindlaks peaaegu sada mustade aukude ja neutrontähtede ühinemist. Mustade aukude ülitugeva gravitatsiooni tõttu on need vaatlused ideaalne koht, kontrollimaks Einsteini teooriat. Nähtud gravitatsioonilainete signaal on teooria ennustatuga väga heas kooskõlas.

Kui ruum võib venida ja kokku tõmbuda, võib seda teha ka universum tervikuna. Einstein uskus, et universum on muutumatu. Tollal oli see täiesti loomulik. Seda kinnitasid ju aastatuhandete jooksul tehtud astronoomilised vaatlused. Staatilisuse tagamiseks lisas ta 1917. aastal oma uude gravitatsiooniteooriasse nn kosmoloogilise konstandi. Aastaid hiljem nimetas ta seda uskumust oma suurimaks veaks.

Einsteini kirja pandud võrranditest lähtudes koostasid füüsikateoreetikud 1920. aastate alguses mitu teoreetilist mudelit, mis kirjeldasid dünaamilist universumit, kuid nad ei sidunud oma arvutusi astronoomiliste vaatlusandmetega. 1927. aastal avaldas Lemaître paisuva universumi idee ning hindas jämedalt ka paisumise kiirust. Paar aastat hiljem kinnitas Hubble, et kaugemad galaktikad kipuvad meist kiiremini eemalduma. Tema vaatlus oli kooskõlas Lemaître'i ennustatuga ja kannab tänapäeval Hubble'i seaduse nime. 1931. aastal ilmus Lemaître'i üheleheline artikkel, mis sisaldas vaatluste lihtsat järeldust: kuna galaktikatevaheline kaugus kahaneb ajas tagasi liikudes, pidi kogu nähtav universum kauges minevikus olema kokku surutud üliväikesse ruumiossa. Sellest kasvas välja Suure Paugu idee.

Hubble'i seadus ja sipelgad venival kummipaelal

Georges Lemaître'i ja Edwin Hubble'i 1920. aastate töö näitas, et galaktikad liiguvad teineteisest eemale kiirusega, mis on võrdeline nende kaugusega ehk mida kaugemal galaktikad paiknevad, seda kiiremini nad eemale kihutavad. Hiljem Hubble'i seadusena tuntuks saanud seose olemust saab selgitada venival triibulisel kummipaelal olevate sipelgate abil.



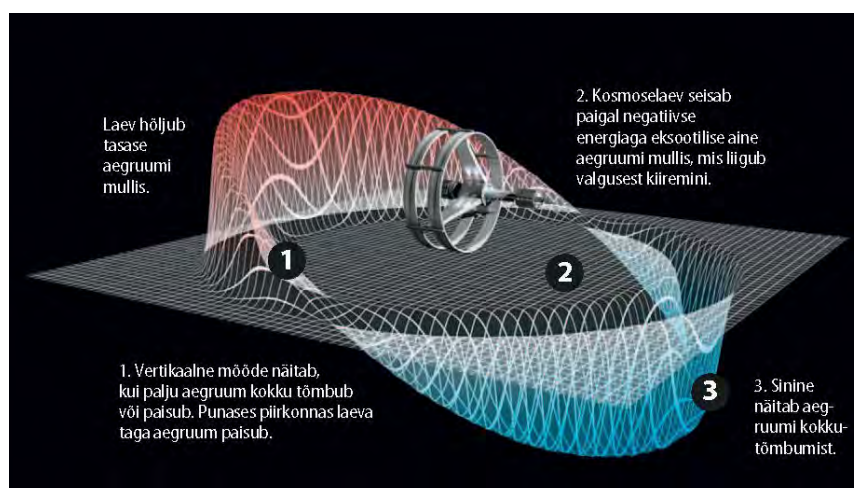
Paisuv universum

Mida füüsikud silmas peavad, kui ütlevad, et universum paisub? Mõõdunud sajandi esimesel poolel tehtud avastuste kontekstis avaldus see eelkõige seosena galaktikate kauguse ja nende eemaldumise kiiruse vahel. Kuid mille poolest erineb liikumine paisumisest? Võime põhjendatult küsida, kas selline paisumine toimub vaid kosmilistel skaaladel või paisub ka Päikesesüsteem ja Maa, kuid sedavõrd aeglaselt, et ka kõige täpsemad mõõteriistad ei suuda seda registreerida? Illustreerimaks paisumist, võime jällegi ette kujutada triibulist kummipaela, millel elavad sipelgad. Hakkame seda paela rahulikus tempos venitama. Mida me näeme?

Venival paelal seisvad sipelgad liiguvad triipudega kaasa, kujuures, mida kaugemal sipelgad teineteisest esialgu olid, seda kiiremini nad teineteisest eemalduvad. Paela servades asuvate triipude kaugus kasvab kiiremini kui paela keskosas paiknevate triipude oma. Selline kiiruste ja kauguste vahetamine on identne Hubble'i seaduses esitatuga. Nagu sipelgad eemalduvad teineteisest paela venimise tõttu, suureneb galakti-

katevaheline kaugus, sest ruum nende vahel paisub. Ent mida rohkem jääb nende vahele ruumi, seda kiiremini kasvab ka kaugus. Märkigem, et sipelgad võivad paelal ringi jalutada, mis mõju-

taks ka veidi nende eemaldumise kiirust. Galaktikadki võivad liikuda, kuid väga kaugete galaktikate korral määrab kaugenemise kiiruse siiski ennekõike ruumi paisumine.



Asjaolu, et aegruumi kõverdamise teel on võimalik näiliselt valgusest kiiremini liikuda, on ära kasutanud ulmekirjanduses tuntud varpajami (ingl *warp drive*) idee. See hüpoteetiline masin suudab kosmoselaeva ees oleva ruumi kokku suruda ja seeläbi sihtpunktini jääva tee pikkust vähendada. Kui õpiksime sel viisil aegruumiga manipuleerima, oleks võimalik füüsikaseadusi rikkumata reisida ainult mõne päevaga valgusaastate kaugusel asuvate planeetideni. Praegu uuritakse varpajami võimalikkust NASA-s

Pilt, mille järgi kogu aine universumis Suure Paugu ajal ühest punktist laiali lendab, on eksitav. Pärast Suurt Pauku ei toimunud ühest punktist lähtuvat plahvatust, vaid aine muutus kiire paisumise tõttu hõredamaks ja jahedamaks.

Universum paisub kõikjal ühtmoodi. Ka siin võib kasutada sipelgate analoogiat. Kui paelal istuv sipelgas näeb, et teised temast eemalduvad, võib ta arvata, et ta asub paela keskel. Kui pael venib kogu pikkuses ühtlaselt, kogevad venimist samamoodi ka kõik teised sipelgad. Ühelgi sipelgal ei õnnestuks teisi veenda, et just tema paikneb paela keskel. Pilt, mille järgi kogu aine universumis Suure Paugu ajal ühest punktist laiali lendab, on eksitav. Sellist punkti ei leidu. Küll aga oli universum kunagi sedavõrd tihe, et kogu nähtava universumi materiat võinuks mahtuda kõigest ühe aatomi ruumalasse. Pärast Suurt Pauku ei toimunud ühest punktist lähtuvat plahvatust, vaid aine muutus kiire paisumise tõttu hõredamaks ja jahedamaks.

Hubble'i seadusest järeldub, et teatud kaugusel eemalduvad galaktikad meist valguse kiirusel. See kaugus määrab meid ümbritseva kujuteldava sfääri, nn Hubble'i sfääri. Sellest välja jäävad objektid eemalduvad meist isegi kiiremini kui valgus. Siin pole vastuolu relatiivsusteooria postulaadiga, et miski ei saa liikuda valgusest kiiremini, sest kiire eemaldumine on tingitud ruumi paisumisest meie ja kaugete galaktikate vahel.

Asjaolu, et aegruumi kõverdamise teel on võimalik näiliselt valgusest kiiremini liikuda, on ära kasutanud ulmekirjanduses tuntud varpajami (ingl *warp drive*) idee. See hüpoteetiline masin suudab kosmoselaeva ees oleva ruumi kokku suruda ja seeläbi sihtpunktini jääva tee pikkust vähendada. Kui õpiksime sel viisil aegruumiga manipuleerima, oleks võimalik füüsikaseadusi rikkumata reisida ainult mõne päevaga valgusaastate kaugusel asuvate planeetideni. Praegu uuritakse varpajami võimalikkust NASA-s.

Loomulik on arvata, et ülevalguskiiirusel eemalduvate galaktikate valgus ei tohiks kunagi meieni jõuda, kuid päris nii see siiski pole. Osaliselt seetõttu, et

paisumise kiirus on universumi ajaloo jooksul aeglustunud. Näiteks 10 miljardi aasta vanune valgus pärineb galaktikatest, mis meist tollal valgusest kiiremini eemaldusid. Nähtavuse piiri paneb paika nn kosmiline horisont, mis jääb ligikaudu 47 miljardi valgusaasta kaugusele. Kaugematest piirkondadest meieni infot ei jõua. Siinkohal tuleb ära märkida, et universum ise on vaid 13,8 miljardi aasta vanune. Asjaolu, et me võime näha 47 miljardi aasta vanuseid valgussignaale, on samuti varase universumi tublisti kiirema paisumise teene. Kosmilise horisondiga piiratud nähtav universum ei hõlma muidugi kogu ilmaruumi. Universumi enda suurus pole siiani teada. See võib olla lõputu.

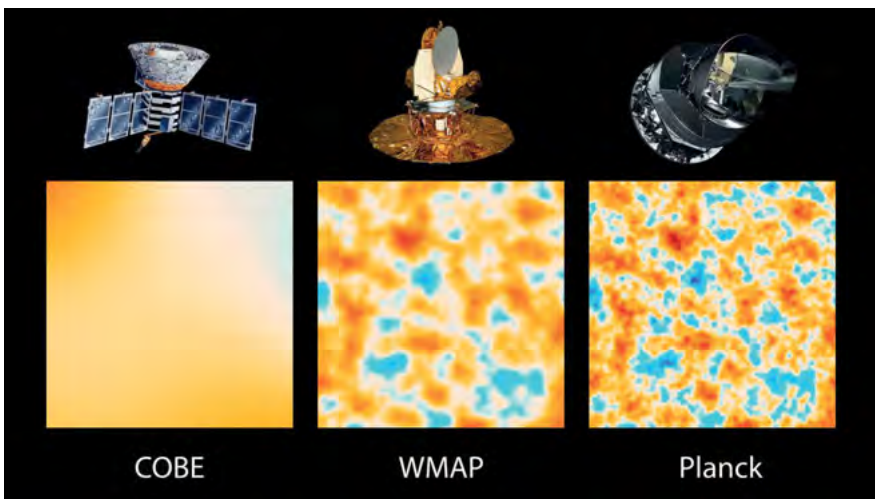
Meie ei paisu koos universumiga. Minu käest on küsitud, et kui mõõdupuud koos kõige muuga paisuvad, siis kuidas on võimalik paisumist märgata ja mõõta? Kuid mõõdupuud ei paisu koos universumiga, nagu ei veni sipelgad, kui venitada nende jalge all olevat kummi. Neid hoiavad koos aatomitevahelised jõud. Ka Päikesesüsteem ja galaktikad ei paisu koos ruumiga, sest

neid hoiab koos raskusjõud. Suurimad astronoomilised objektid, mida gravitatsioon suudab koos hoida, on miljoneite valgusaastate suurused galaktikaparved. Seega on paisumine eelkõige väga suurte, kümneid miljoneid valgusaastaid ületavate mastaapide fenomen.

Reliktkiirgus aitab mõista universumi arengut

Praegusajal on meil maailmaruumi kohta märksa rohkem infot kui LeMaître'il ja Hubble'il. Selles mõttes oli üks olulisemaid avastusi 1964. aastal leitud reliktkiirgus, mille olemasolu oli ennustatud juba 1948. aastal, lähitules Suure Paugu teoorias. Reliktkiirgus on mikrolainekiirgus, mis pärineb peaaegu 14 miljardi aasta tagusest ajast, kui universum oli vaid 380 000 aasta vanune.

Tol ajal puudusid tähed, galaktikad ja teised astronoomilised objektid, kuhu on tänapäeval koondunud valdav osa materias. Aine oli ruumis väga ühtlaselt jaotunud. Aine tihedus kõikus kogu ruumi ulatuses keskmiselt vaid ühe kümnetuhandiku. Kontrastina



Joonis illustreerib, kuidas on aastatega paranenud Suure Paugu järgsest universumist pärit kosmilise mikrolaine-taustkiirguse ehk reliktkiirguse mõõtmise täpsus. Kolmel paneelil on näha eri satelliitide abil koostatud taevakaartide 10-ruutkraadised näidisalad. Vasakpoolne pilt põhineb 1989. aastal tööd alustanud NASA COBE-i (Cosmic Background Explorer) mõõtmistulemustel. Keskmise pilt on koostatud NASA järgmise põlvkonna kosmoseparaadi, 2001. aastal tööd alustanud WAMP-i (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) abil. Paremal on näha reliktkiirguse temperatuuri kõikumiste jaotust seni kõige täpsemalt mõõtnud Euroopa kosmoseagentuuri Plancki satelliidi töö tulemus. 2009. aastal tööle hakanud Planck pildistas taevast WAMP-ist üle 2,5 korda suurema eraldusvõimega, paljastades taevast iidse kosmilise valguse mustrid. Detail Plancki kogu taeva ülesvõttest peegeldab noort, ainult 380 000 aasta vanust universumit. Eri värvi piirkonnad kujutavad sajandiku protsendi suurusi kõrvalekaldeid reliktkiirguse keskmisest temperatuurist ja jäädvustavad seeläbi ka väikesi kõrvalekaldeid aine tiheduses. Viimased olid seemneks kõigile tänapäevastele astronoomilistele objektidele, nagu tähed ja galaktikad

NASA / JPL-CALTECH / ESA

võib aine tihedus universumi eri piirkondades nüüdisajal erineda peaaegu 50 suurusjärku. Võrrelda võib näiteks avakosmoses valitsevat vaakumit, mis sisaldab keskmiselt paari vesiniku aatomi jagu massi, ja neutrontähti, mille üks lusikatäis ainet kaalub miljard tonni.

Varases universumis olid tihedamad piirkonnad kuumemad. Et kuumem aine kiirgab veidi suurema sagedusega (n-ö sinisemat) valgust, võime reliktkiirguse spektri abil hinnata aine jaotumist 380 000 aasta vanuses universumis (vaata joonist). Tänapäeval jääb reliktkiirguse temperatuur (2,7 kelvinit) absoluutse nulli lähedale, kuid kiirgamise hetkel oli see umbes 3000 kelvinit. See on jahtunud, sest universum on tollest ajast saadik umbes tuhat korda suuremaks paisunud. 2009.–2013. aastal Plancki satelliidiga tehtud reliktkiirguse ülitäpsed mõõtmised lubavad meil paremini mõista kogu universumi arengut varasest paisumisest kosmiliste struktuuride tekkeni. Piirkonnad, mis olid olnud naabrusest pisut kuumemad ja raskemad, kukkusid miljardite aastate jooksul omaenda raskusjõu mõjul kokku. Nii on sündinud galaktikad, tähed ja kõik muu, mida praegu taevast näeme.

Kosmiline inflatsioon

Reliktkiirgus on kõige vanem tuvastatud signaal, sest varane universum oli elektromagnetilisele kiirgusele läbiipaistmatu. Moodne füüsikateooria lubab meil aga ajast tunduvalt kaugemale tagasi vaadata. Suure Paugu kosmoloogia varajaseim ajajärk, mida praegusaja teoreetiline füüsika kirjeldada oskab, on kosmiline inflatsioon: varajane ülikiire eksponentsiaalse paisumise periood, mis kestis alla 10^{-30} sekundi.

Vaatluste nappuse tõttu pole kosmilist inflatsiooni põhjustav mehhanism teada. Enim levinud teooria järgi põhjustas seda inflatoniks nimetatud skalaarväli. Skalaarväli on teatud tüüpi materiaali liik. Samasse kategooriasse kuulub ka 2012. aastal suures hadronite põrgutis avastatud Higgsi boson. Kosmilise inflatsiooni muudab võimalikuks inflatoni erilise omadus: kui kõik teised materiaali liigid muutuvad ruumi paisudes hõredamaks, siis inflaton suudab oma energiatihedust konstantseks hoida. Arvestades, et kosmilise inflatsiooni ajal oli ühe aatomi ruumalas nii palju energiat kui praegu kogu

nähtavas universumis kokku, võimaldas see inflatonil ruumi ülikiiresti paisutada.

Olgugi et kosmilise inflatsiooni olemasolu pole suudetud vahetute vaatlustega kinnitada, on see tänapäeval fundamentaalfüüsikas üldtunnustatud idee. Võime selle tagajärgi jälgida kaudselt: see võib seletada nii varajase universumi aine väga ühtlast jaotumist. Kosmiline inflatsioon oli kvantja megamaailma kokkupuutepunkt. Väikesed kvantvõnkumised venitati kosmiliselt suureks. Need on jätnud mõõdetava jälje reliktkiirgusesse ja on olnud kõikide kosmiliste struktuuride alge.

Kuum universum

Pärast eksponentsiaalse paisumise lõppu lagunes inflaton ja maailmaruum täitus ülikuuma, kuni 10^{28} kraadise kiirgusega. Paisumine aeglustus ja kiirgus hakkas jahtuma. Tollane ülikuum universum koosnes nii tuntuks kui ka seni avastamata elementaarosakestest, mis liigisid valguse kiirusele lähedastel kiirustel. Sellist osakestesuppi kutsutaksegi üldnimetusega kiirguseks. Materiale käitumist sel ajajärgul aitab kirjeldada osakestefüüsika, mis ütleb, millistel temperatuuridel võivad eri tüüpi osakesed esineda ning millal need lagunevad või ühinevad.

Ligi minut pärast Suurt Pauku, kui materiaali oli jahtunud umbes triljoni kraadini, ühinesid tuumaosakesed aatomituumadeks. Toimus Suure Paugu tuumasüntees, mille käigus tekkis peaaegu kogu universumi vesinik, heelium ja liitium. Raskemad elemendid loodi hiljem tähtedes. Et Suure Paugu tuumasüntees on väga tundlik ruumi paisumisest tingitud jahtumise efekti suhtes, võib universumis sisalduva vesiniku- ja heeliumikoguse suhte täpsete mõõtmiste põhjal öelda üht-teist varajase universumi koostise kohta. Näiteks teame, et tuumasünteesi ajal ei saanud universumis eksisteerida tundmatuid kiirgusliike, sest need oleks ruumi liiga kiiresti paisutanud.

Mõnisada tuhat aastat pärast Suurt Pauku, kui universum oli jahtunud umbes 3000 kraadini, ühinesid aatomi-

Ligi minut pärast Suurt Pauku, kui materiaali oli jahtunud umbes triljoni kraadini, ühinesid tuumaosakesed aatomituumadeks.

tuomad elektronidega ja tekkisid esimesed aatomid. Atomaarse gaasiga täidetud universum muutus läbipaistvaks ja selle kiiratud kollakas valgus sai vabalt liikuda. Viimane on siiani olemas, ent kuna universum on vahepeal umbes tuhat korda paisunud, näeme seda praegu tuhat korda suurema lainepikkusega mikrolainekiirgusena ehk reliktkiirgusena, millel on külma (2,7 K) musta keha kiirguse spekter.

Struktuuride teke

Nagu juba mainitud, kukub varajast universumit ühtlaselt täitnud gaas järgmise 13,8 miljardi aasta jooksul oma raskusjõu mõjul kokku galaktikateks ja galaktikaparvedeks. Enne esimeste tähtede teket puuduvad valgusallikad ja jahtuv reliktkiirgus nihkub mikrolainekiirguse diapasoni. Universum on pime ja struktuuritu.

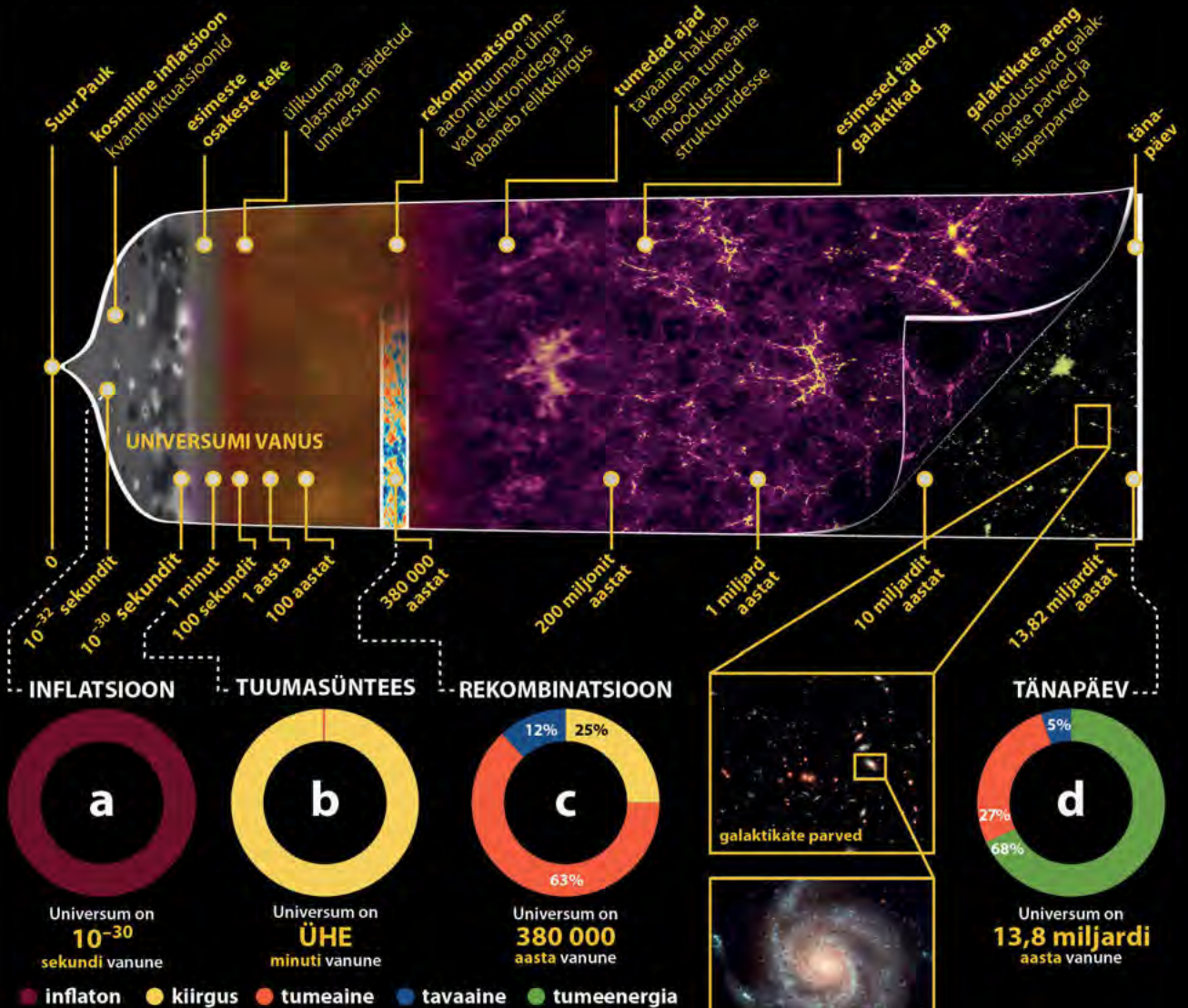
Kosmiliste struktuuride tekkel mängib olulist rolli tumeaine. See on tundmatu koostisega nähtamatu aine, mida on universumis viis korda rohkem kui tavaainet. Et tumeaine ei kiirga, neela valgust ega põrku teadaolevalt ühegi tuntuks osakesega – kõikvõimalikke vastastikmõjusid tumeaine ja tavaaine vahel on otsitud mitukümne aastat –, on seda võimalik vaadelda vaid selle gravitatsioonilise tõmbejõu tõttu. See moodustab suure osa galaktikate massist ja hoiab seeläbi galaktikaid koos. Samuti panustab see olulisel määral kogu materiaali energiatihedusse ning etendab seeläbi suurt osa universumi paisutamisel. Senini on tumeaine hulk (vt joonist) kõige täpsemini määratud just reliktkiirgust uurinud Plancki satelliidiga kogutud andmete põhjal.

Tumeenergia võtab üle

Ent tava- ja tumeainest ei piisa, et praegust universumi paisumist seletada. Vaatluste järgi on viimasel 10 miljardil aastal paisumist ajendanud midagi hoopis veidramat – tumeenergia. See avastati 1990. aastate lõpus, jälgides kaugeid supernoovaid. Mõõtes korraga supernoovade kaugust ja nende kiiratud valguse punanihet (paisumisest tingitud lainepikkuse kasvu, mis muudab valguse punasemaks), suudeti kindlaks määrata, kuidas oli universum viimaste miljardite aastate jooksul paisunud. Vaatlustest järeldus, et viimasel ajal on pidanud paisumist põhjustama miski, mille energiatihedus ruumi paisumise tõttu praktiliselt

Universumi ajalugu ja energiabilansi muutumine

Füüsikud oletavad, et universumi areng algas 13,8 miljardit aastat tagasi Suure Pauguga. Esimestel minutitel oli universumi areng ülitormiline. Peaaegu kohe pärast Suurt Pauku elas universum läbi inflatsiooni ehk ülikiire paisumise perioodi. Kui inflatsioon oli lõppenud, kuumenes universum uuesti ja täitus ülikuuma plasmaga. Ülikuum plasma jahtus paisumise mõjul, aga sellest plasmast jäid universumi hõljuma soojuskiirguse osakesed – fotonid, mida mõõdetakse praegu reliktkiirgusena. Edasisel jahtumisel ja aine kokkutõmbumise tõttu gravitatsiooni mõjul said tekkida tähed ja galaktikad, seejärel ka planeedid ja elu. Praegu on universum sisenenud uude arengu faasi ehk paisub jälle kiirenevalt.



Universumi energiabilanss eri ajajärkudel

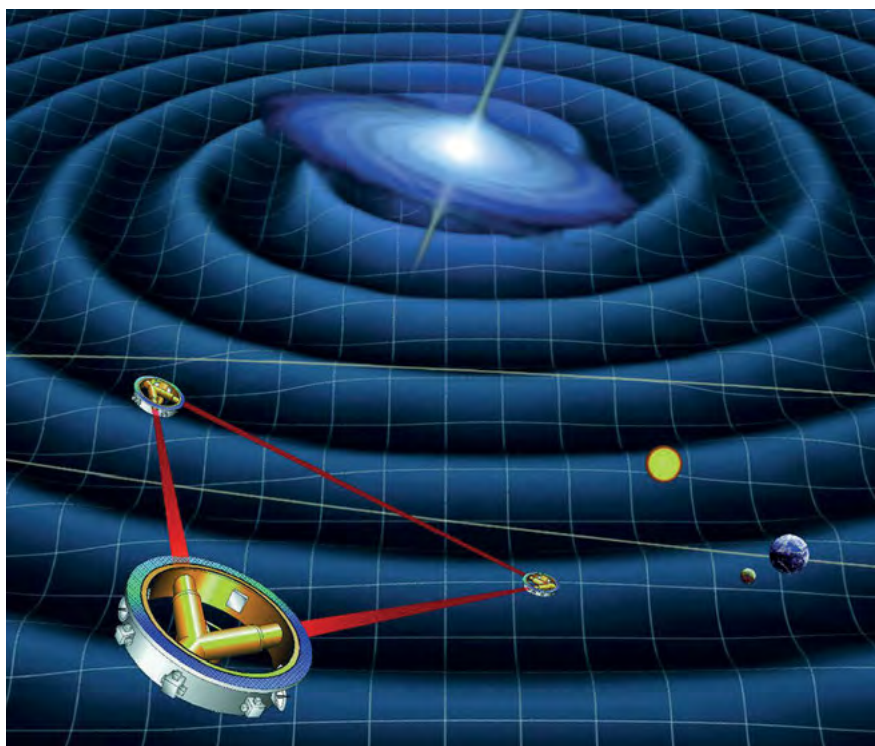
Arvatavasti põhjustas varase universumi ülikiiret paisumist inflatoniks nimetatud skalaarväli – teatud tüüpi aineosakese liik. Meile tuntud aineosakesi polnud sel perioodil (a) veel tekkinud ja maailmaruumi täitis vaid inflaton.

Eksponentsiaalse paisumise lõppedes lagunes inflaton ülikuumaks kuni 10^{28} -kraadiseks kiirguseks, mis hakkas paisumise tõttu kiiresti jahtuma. Mõne minutiga (b) oli universum jahtunud umbes triljoni kraadini. Prootonid ja neutronid ühinesid esimesteks aatomituumadeks. Maailmaruum oli endiselt täidetud kiirgusega, mis koosnes fotonitest ehk valgusosakestest ja valguse kiirusel liikuvatest elementaarosakestest. Aatomituumad ja tumeaine hõlmasid vaid umbes sajatuhandiku universumi energiabilansist.

380 000 aastaga umbes 3000 kraadini jahtunud universumis (c) ühinesid aatomituumad elektronidega ja tekkisid esimesed aatomid. Sellel perioodil domineeris universumi tumeaine, kuid kiirguskiirguse mängis energiabilansis veel märgatavat rolli. Et kiirguse energiatihedus kahaneb ruumi paisudes kiiremini kui teiste materia- või energialiikide korral, siis pärast seda perioodi muutus kiirguse osakaal peagi tühiuks. Nii varajast universumit ühtlaselt täitnud atomaarne gaas kui ka tumeaine kukkusid järgnevatel miljardite aastate jooksul kokku galaktikateks ja teisteks struktuurideks, mida astronoomid tänapäeval taevast näevad.

Vaatlused näitavad, et viimasel ajal on pidanud universumi paisumist põhjustama tumeenergia ehk miski, mille energiatihedus ruumi paisumise tõttu praktiliselt ei lahustu ega hõrene.

Praegusel ajal (d) hõlmab tumeenergia üle kahe kolmandiku universumi energiabilansist. Kuna nii tava- kui ka tumeaine hõreneb paisumise tõttu pidevalt, kasvab tumeenergia osakaal tulevikus veelgi.



NASA

Kunstniku nägemus Euroopa kosmoseagentuuri kavandatavast gravitatsioonilainete detektorist LISA (Laser Interferometer Space Antenna), mis plaanide järgi hakkab Maale sarnasel orbiidil ümber Päikese tiirlema 2037. aastal. LISA satelliit koosneb kolmest kosmosesondist. Võrdkõlgset kolmnurka moodustades asuvad need orbiidil üksteisest 2,5 miljoni kilomeetri kaugusel (joonis pole mõõtkavas). Sondide orbiidid on valitud nii, et seadmete omavaheline asetus muutuks võimalikult vähe. Gravitatsioonilainete tuvastamiseks jälgitakse laserinterferomeetria abil ülitäpselt sondidevahelist kaugust. Kui sondid peaks sattuma gravitatsiooniline teele, muutub nende kaugus perioodiliselt. LISA-ga saaks tuvastada madala sagedusega (kümnenndik milliherti kuni üks herts) gravitatsioonilaineid. Sellised lained tekivad näiteks ülimassiivsete mustade aukude põrkumisel või kui meie kodugalaktikas asuvad neutrontähed tiirlevad üksteise. Ühtlasi aitab LISA täpsemalt mõõta universumi paisumise kiirust ja võimaldab tuvastada hüpoteetilisi üliinoores universumis tekkinud gravitatsioonilaineid

Üks hüpoteetiline tumeda energia teooria näebki ette, et selle taga on teatud väikese energiatihedusega skalaarväli, kvintessents.

ei lahustu ega hõrene. See miski nimetati tumeenergiaks.


Teorias on tumeainet lihtne mõista. Pole põhjust arvata, et inimene on tundma õppinud kõiki looduses leiduvaid osakesi. Oletatavasti koosnebki tumeaine mõnest seni avastamata osakesest. Tumeenergia tundubalt keerukam nähtus. Eespool kirjeldatud konstantse energiatihedusega puutusime kokku kosmilise inflatsiooni juures. Üks hüpoteetiline tumeda energia teooria näebki ette, et selle taga on teatud väikese energiatihedusega skalaarväli, kvintessents. Seda hüpoteesi eelstab aga vaid osa füüsikuid. Tumeenergia taga võib olla ka vaakumi enda energia. Tüüpilisem on aga praktiline käsitus, mille järgi lisatakse võrranditesse konstantse energiatihedusega „miski”. Tumeenergiat saab nimelt kirjeldada Einsteini kosmoloogilise konstandiga. Irooniliselt kombel kujunes Einsteini soovist staatilise universumi järele välja lihtne ja elegantne viis kirjeldada universumi praegust paisumist.

Tulevikku vaadates peaks küsima, kas tumeenergia on ajas konstantne. Senised vaatlused ei suuda praegu välistada, et selle energiatihedus võib universumi paisudes veidi väheneda või suurened. Viimasel juhul ootaks meid kauges tulevikus ees nn Suur Rebenemine, kus aina kiirenev paisumine rebiks esialgu lõhki suuremad struktuurid, nagu galaktikad ja planeedisüsteemid, ning lõpuks ka aatomid ja nende tuumad. Tõenäolisema stsenaariumi järgi tumeenergia siiski ei kasva. Sel juhul, nagu eespool mainitud, jäävad küll alles kõik struktuurid, mida raskusjõud koos suudab hoida, kuid kauges tulevikus terendaks nn Suur Jahenemine. Saja triljoni aasta pärast saab otsa materjal, millest võiks tekkida uued tähed. Viimaste tähtede kustudes jääb alles pime ja külm maailm.

Universumi paisumine võib anda vihjeid senitundmatute materjaliikide kohta ning aitab paremini mõista, miks maailmaruum on täidetud just selliste struktuuride ja objektidega, nagu me näeme.

Kosmoloogia tulevikust

Kosmoloogia aitab meil paremini tundma õppida maailma tervikuna. Universumi paisumine võib anda vihjeid senitundmatute materjaliikide kohta ning aitab paremini mõista, miks maailmaruum on täidetud just selliste struktuuride ja objektidega, nagu me näeme. Eestis tegeleme nende teemadega keemilise ja bioloogilise füüsika instituudi (KBFI) kõrge energia füüsika laboris. Tänu gravitatsioonilainete avastamisele ootavad universumi ajalugu uurivaid teadlasi ees huvitavad ajad. Tuleval aastakümnel plaanib Euroopa kosmoseagentuur saata orbiidile moodsa gravitatsioonilainete detektori LISA (Laser Interferometer Space Antenna), millega on seotud ka Eesti füüsikud KBFI-s. LISA suudab näha musti auke, mis ühinesid, kui universum oli vaid paarisaja miljoni aasta vanune. Kuna varajase universumi kuum ja tihe aine gravitatsioonilainete levikut ei takista, on järgnevatel aastakümnetel lootust leida ka universumi esimesest hetkest pärit signaale. •

 **Hardi Veermäe** (1985) on füüsik. Töötanud Tartu ülikooli füüsika instituudis ja keemilise ja bioloogilise füüsika instituudis ning järel-doktorina Euroopa tuumauuringute keskuses CERN. Alates 2021. aastast keemilise ja bioloogilise füüsika instituudi vanemteadur.

Õpi Tartu tähetornis!

Haridusprogrammid, ekskursioonid ja planetaariumietendused kõikidele vanuseastmetele.



Meie programmidesse kuuluvad astronoomia, füüsika ja geograafia teemad:

- päikesesüsteem
- planeedid
- atmosfäär
- tähed
- tähtkujud
- Päike
- Maa
- Kuu
- komeetid
- asteroidid
- vulkaanid
- maavärinad
- aeg
- ruum
- maa mõõtmine
- elektromagnetlained
- optikaseadused



TARTU ÜLIKOOL
tähetorn

tahetorn.ut.ee





SATELLIIDID ON KÕRGTEHNOLOOGILISE ÜHISKONNNA LAHUTAMATU OSA

Kuidas ehitada üht väikest satelliiti?

„Kuupsatelliit on ju tegelikult täitsa tavaline väike robot, mille ehitamiseks pole tingimata vaja appi võtta suurt teadust. Vaja on vaid väga head inseneritööd, hoolsat katsetamist ning hästi läbi mõeldud ja töökindlat hankimise ja tootmise ahelat. Satelliidi ehitamine pole mitte niivõrd ehitustöö, vaid selle ehitusprotsessi ehitamine. Ehk leida tuleb viis, kuidas niisugune keeruline elektroonika- toode saaks valmis ja läbiks nii vaakumi-, vibratsiooni- kui ka temperatuurikatsed, et see kosmoses töötaks, ning seda ikka uuesti ja uuesti,“ kirjeldab Soome Aalto ülikooli kosmosetehnoloogia töörühma juht Jaan Praks. Tema töörühm on ehitanud ja kosmosesse saatnud juba kolm kuupsatelliiti. Satelliitide ehitamisest, kuupsatelliitide võidukäigust ning kosmosetehnoloogia tähtsusest ja muustki rääkis professor **JAAAN PRAKSIGA** Horisondi peatoimetaja **ULVAR KÄÄRT**.

Kui meie ESTCube-1 2013. aastal kosmosesse lennutati, siis märgiti siinmail, et tegime sellega soomlastele silmad ette. Soome esimene tudengisatelliit Aalto-1 jõudis orbiidile alles 2017. aastal. Ent nüüd oleme põhjanaabritest justkui maha jäänud, sest sel kevadel lennutas teie töörühm taevasse Soome esimese teadussatelliidi Foresail-1. Kui niisugusest võrdlusest alustada, siis tegelikult on Soome olnud juba pikalt kosmoseriik. Siiski üsna väike kosmoseriik. Euroopa kosmoseagentuuri (ESA) liikmeks sai Soome 1995. aastal.

Viimase 35 aasta jooksul on Soome osalenud enam kui 60 teadusmissioonil, koostööd on tehtud USA, Euroopa ja Jaapani kosmoseagentuuridega ning Vene kosmoseorganisaatsioonidega.

Tõsi, tudengite kuupsatelliitide ehitamine läks Eestis varem käima ja nii jõudis ESTCube-1 ka enne Aalto-1 üles.

ESTCube oli üks Aalto-1 projekti tähtsamaid inspiratsiooniallikaid. ESTCube'i pardal oli katsetamiseks soomlaste päikesepuri. Üle kümne aasta tagasi õppisin Helsingi tehnikaülikoolis (praegune Aalto ülikool) koos Eesti tudengisatelliidi programmi algataja Mart Noormaga. Doktoritöö kaitsmise järel suundus Mart tagasi Eestisse ja alustas kosmoseprojekti. Mina jäin Soome. Kui Mart minult siis ükskord uuris, millised teaduslikud katsed võiks satelliidi ESTCube-1 peal olla, siis aitasin ta kokku viia Soome meteoroloogia instituudist Pekka Janhuneniga, kel oli käsil päikesepurje arendamine. Nõnda see Eesti satelliidile saigi.

Rääkides Foresail-1-st, siis see kui saavutus on Soome äriliste kosmosemissioonidega võrreldes väga väike. Soomel on ju kosmoses kümneid satelliite. Enamik neist on valminud Aalto ülikooli juures idufirmadena alustanud ettevõtetes, peamiselt ICEYE-s.

Esimene Soome tudengisatelliidi rajamisest võrsunud ettevõtte oligi radarisatelliitide tootja ICEYE, mille asutas

Aalto-1 meeskonna tuumik. Seitsmeaastase tegevuse jooksul on nad nüüdseks kosmosesse saatnud üle 20 satelliidi. Neid satelliite ehitavad nad siinsamas Aalto ülikooli linnakus, meie naaberhoones. Võrreldes kuupsatelliitidega on ICEYE satelliidid suuremad, ligikaudu sajakilogrammise kaaluga. ICEYE-st on saanud maailma juhtiv väikeste ja odavate radarsatelliitide tootja ning üks Euroopa edukamaid kaugseireala idufirmasid. Maapinnast tehtud radaripilte müüvad nad paljudele riikidele.

Lisaks on meilt tuule tiibadesse saanud näiteks Reaktor Space Lab, mis praegu tegutseb nime Kuva Space all. Nemad on praeguseks üles saatnud kolm satelliiti ning varsti püüavad kosmosesse lähendada esimesi satelliite oma satelliitide parvest, millega saab tulevikus teha maapinnast hüperspektraalseid pilte. Kolmas meie vilistlane, Artic Astronautics, valmistab omakorda õppesatelliiti ning plaanib esimesena maailmas saata kosmosesse puust detailidega väikesatelliidi. Aurora Propulsion Technologies toodab aga väikesatelliitidele mootoreid, samuti arendavad nad juba jutuks olnud päikeseurjete tootmisversiooni.

Järgmisena suundub elektrilise päikeseurjega kosmosesse ESTCube-2. Sarnane katse oli ka Foresail-1 pardal. Foresail-1 jõudis mais orbiidile ja kaks nädalat töötas satelliit suurepäraselt. Praegu ta enam kahjuks korralikult ei toimi ja püüame välja nuputada, kas sideprobleeme saaks kuidagi lahendada. Kuna side satelliidiga katkes saatja seadistamise ajal, siis saadame satelliidile iga päev *reset*-signaali. Siiani pole see tulemust andnud. Väikesatelliitidega on paraku alati nii, et kui teha nullist täiesti uus satelliit, siis hoolimata selle töökindluse katsetamisest võib miski lõpuks ikkagi alt vedada. Foresail-1 ei suuda tõenäoliselt oma teadus-eesmärke saavutada.

Kuna oleme peale kosmosesse lennutatud Foresail-1 ehitanud ka selle tagavaramudeli, valmistame seda juba lennuks ette. Tõenäoliselt lähetaame Foresail-1 Prime'i kosmosesse oma eelkäija tööd jätkama järgmisel aastal.

Nüüd ehitame Soome jätkusuutlike kosmoseuuringute tippkeskusega kaht satelliiti rahvusvahelise missiooni COSPAR CORBES jaoks. Need peaks hakkama tiirlema väga kõrgel orbiidil, kosmilise radiatsiooni vöödes. Praegu ongi nende satelliitide ehitamine meie põhitegevus. Peale selle on töölaual Aalto-3 tudengisatelliit.

Mainisite kosmilist radiatsiooni, mille maalähedase taseme mõõtmine oli ka Foresail-1 olulisemaid ülesandeid. Kas nende kahe ehitatava satelliidi pardale tuleb sama katse?

Jah, tuleb küll, aga veidi erinev radiatsioonikatse. Tavaliselt on niisugustes ühistes satelliidimissioonides meie peaülesanne missiooni planeerimine, satelliidi ehitamine ja missiooni hilisem juhtimine. Enamik satelliidi teaduslikest katsetest töötavad välja hoopis meie koostööpartnerid, praegusel juhul Helsingi ja Turu ülikool, Soome meteoroloogia-instituut ja IWF Austriast. Foresail-2 radiatsiooniekspriiment REPE valmistatakse ette Turu ülikoolis Rami Vainio juhtimisel.

Väikesatelliitidega on paraku alati nii, et kui teha nullist täiesti uus satelliit, siis hoolimata selle töökindluse katsetamisest võib miski lõpuks ikkagi alt vedada.

Maa magnetväljas ringlev ioniseeriv kiirgus on üks põhitegureid, mis kosmoses satelliite lõhub.

Miks Maa-lähedane kosmiline kiirgus teadlastele huvi pakub? Maa magnetväljas ringlev ioniseeriv kiirgus on üks põhitegureid, mis kosmoses satelliite lõhub. Samas kaitseb Maa magnetväli meid maapinnal eluohutliku kiirguse eest ning selle kaitsekiibi üksikasjalik tundmaõppimine on üks teadlaste eesmärkidest. Kui radiatsioonivööde kiirgus jõuab meie atmosfääri ülemistesse kihtidesse, tekitab see virmalisi. Ka selle nähtuse kõik detailid pole täpselt teada. Näiteks pole teada kiirguse nurkjaotus atmosfääri hajumisel ja selle seos Päikese aktiivsusega. Just seda Foresail-1 pidigi uurima. Selleks oli satelliidi pardal kahe teleskoobiga kiirgusmõõtur, mis mõõdab Päikese suunast tulevat ja omakorda ka selle suunaga ristuvat laetud osakeste voogu. Mõõtmistulemuste põhjal on võimalik välja arvutada kolmemõõtmeline mudel, mis näitab, kuidas täpsemalt kiirgus atmosfääri siseneb. See on probleem, mille üle kosmosefüüsikud veel vaidlevad, aga meie tahame aidata oma katsega seda lahendada.

Mis on väikeste kuupsatelliitide ehitamisel kõige suuremad katsumused?

Väikesele meeskonnale on kosmosemissiooni korral kõik suur väljakutse. Näiteks Foresail-1 puhul oli suurim katsumus kogu tehnoloogilise platvormi nullist kuni soovitud kujul lõpuni valmis ehitamine. Eesmärk on teha avatud lähtekoodiga ja dokumenteeritud süsteem. Selleks et autoriõigused maailmale loovutada, peab need kõigepealt ise arendustööga saama. Täitsa uut asja meisterdades kipub ikka juhtuma nii, et mõned asjad ei tule esimesel korral kohe välja. See ongi kõige suurem mure. Vana asja uuesti tegemine pole aga kuigi huvitav teadusstrateegia.

Kas satelliidiehitus on otsast lõpuni käsitöö, alates kõikvõimalike ehitusmaterjalide valikust kuni sidesüsteemide loomiseni?

Kuupsatelliitide alamsüsteeme saab tänapäeval muidugi ka osta. Aga nagu öeldud, oleme meie valinud tehnilise innovatsiooni tee. Satelliidiosade valik, kogu elektroonika ja tarkvara ülesehitus, katsetused ja seadistused – kõik tuleb ise teha. Piisab vaid väikesest rumalast veast ning kogu hästi planeeritud satelliidi töö võibki olla halvatud. Lihtsam on teha satelliiti, mis korralikult ei tööta. Palju raskem on teha satelliiti, mis töötab nii, nagu plaanitud.

Meie eesmärk on töötada Foresail-1 näitel satelliitide missioonideks välja nii-öelda avatud tarkvaralahendus, mida saaks kõik huvilised vabalt kasutada. Tõsi, selliseid lahendusi juba pakutakse, aga need ei ole veel eriti kvaliteetsed.

Foresail-1 puhul oli suurim katsumus kogu tehnoloogilise platvormi nullist kuni soovitud kujul lõpuni valmis ehitamine. Eesmärk on teha avatud lähtekoodiga ja dokumenteeritud süsteem. Selleks et autoriõigused maailmale loovutada, peab need kõigepealt ise arendustööga saama.



Kui palju materjaliteadust on satelliidi nullist ehitamisel mängus?

Kuupsatelliit on tegelikult täitsa tavaline väike robot, mille ehitamiseks pole tingimata vaja appi võtta suurt teadust. Vaja on vaid väga head inseneritööd, hoolsat katsetamist ning hästi läbi mõeldud ja töökindlat hankimise ja tootmise ahelat. Miks me ei ehita praegu näiteks USA Kuu-missioonidel kasutatud Saturn 5 tüüpi rakette, vaid käime kosmoses aina uute mudelitega? Põhjus on selles, et kuigi vanad täpsed tööjoonised on olemas, pole võimalik taastada kunagist raketi tootmise protsessi: vahepeal on osa tootjaid ja allhankijaid töö lõpetanud, muutunud on materjalide omadused ja nii edasi. Kui omal ajal ehitati näiteks kogu elektroonikasüsteem valmis nende osadega, mis töötasid toona saada olevaist kõige paremini, siis nüüd oleks vaja leida kunagiste komponentide asemele uued. Sama moodi pole ka satelliidi ehitamine mitte niivõrd ehitustöö, vaid selle ehitusprotsessi ehitamine. Ehk leida tuleb viis, kuidas niisugune keeruline elektroonikatoode saaks valmis ja läbiks nii vaakumi-, vibratsiooni- kui ka temperatuurikatsed, et see kosmoses töötaks, ning seda ikka uuesti ja uuesti.

Miks tuntakse kuupsatelliitide kasutamise vastu – olgu näiteks sidesüsteemides või Maa seires – üle kogu ilma väga suurt huvi?

Kuupsatelliitide buumile on aidanud kaasa peamiselt nende odavus. Võrreldes suurte satelliitidega on nende ehitamine ja üles lennutamine sada korda odavam. Madal hind ja arendamise lihtsus on teinud kuupsatelliitidest ühe edukaima kosmosinnovatsiooni kasulava. Selle tõttu on

Asjade internet ehk 5G-side, kaugseire ja mitmed muud lahendused kasutavad kuupsatelliite.

kuupsatelliitidel kasutatavad tehnoloogiad arenenud kiiresti nii kaugele, et neid saab nüüd rakendada ka oluliste ülesannete täitmiseks. Näiteks asjade internet ehk 5G-side, kaugseire ja mitmed muud lahendused kasutavad kuupsatelliite.

Kõigeks nad siiski ei sobi ja nii on praegugi kosmose põhilised tööhobused ikkagi veidi suuremad satelliidid. Näiteks ICEYE radarid ja Starlinki sidesatelliidid on palju suuremad kui kuupsatelliidid.

Mõndagi saab siiski ka kuupsatelliitidega teha, näiteks neist koosnev Hiberi satelliitide parv jälgib kosmosest laevade ja suurte masinate signaale ning Planet teeb kuupsatelliitidega optilist kaugseiret. Idufirmasid, mis kasutavad kuupsatelliite, on kümnete kaupa.

Väikesed satelliidid on muutnud maailma, kuna suuri satelliite on olnud läbi aegade väga kallis ehitada. Ühe suure kaugseiresatelliidi ehitus on siiani läinud maksma 200 kuni 300 miljonit eurot ja neid ei saa seega väga palju teha. Kui niisugune satelliit on üleval ja tahame sellega näiteks Tallinnast või Tartust pilte teha, siis orbitaalmehaanika kohaselt avaneb selleks võimalus kord kahe nädala tagant. Kui satelliidi ülelennul juhtub ilm olema pilves, tuleb uut võimalust oodata kaks nädalat. Kui tahame soovitud kohtadest iga päev pilte saada, siis peaks meil selleks üleval olema vähemalt paarkümmend satelliiti. Ehk mida tihedamini tahame teatud paigast satelliidipilte saada, seda rohkem satelliite on vaja. Just siin tulevadki mängu väikesed ja odavad satelliidid, sest nende abil on võimalik luua orbiidile kümnetest või sadadest satelliitidest koosnev satelliidivõrk mõistliku hinnaga, mis hakkab ka äriiselt ära tasuma. Toimiva ärimudeli jaoks on vaja just odavat satelliiti. Ka see on kuupsatelliitide buumi tagant tõuganud.

Üks probleem, mida püütakse kuupsatelliitide abil uurida ja lahendada, on kosmoseprügi: enamasti kasutuna Maa ümber tiirlema jäänud tehiskaaslaste või nende tükid. Nii on kuupsatelliitidel hakatud viimasel ajal katsetama tehnoloogiasid, mis edaspidi aitaksid juhtida kasutuks muutunud satelliidid Maa atmosfääri, et need seal ära põleks.

Tegelikult on iga satelliidi puhul üsna täpselt teada, millal nad lõpuks oma orbiidilt atmosfääri langevad. Seda on võimalik juba enne nende üleslennutamist umbkaudu välja arvutada.

Rahvusvaheliselt on kokku lepitud, et väikesatelliidi orbiidialuag ei tohi olla pikem kui 25 aastat. Selle aja sees peavad nad ennast alla juhtima või ise alla tulema. Selle piirangu tõttu jäävad kuupsatelliitide kõrgemad orbiidid maa-

Madal hind ja arendamise lihtsus on teinud kuupsatelliitidest ühe edukaima kosmosinnovatsiooni kasulava.

Mida tihedamini tahame teatud paigast satelliidipilte saada, seda rohkem satelliite on vaja. Just siin tulevadki mängu väikesed ja odavad satelliidid.

pinnast umbes 650 kilomeetri kõrgusele. Sealt tuleb ka nii-öelda passiivne satelliit paarikümne aastaga alla. USA-s satelliitidele lube väljastav agentuur FCC on otsustanud, et väikesatelliitide eluiga peaks olema tulevikus ainult viis aastat, mistõttu ei tohiks neid viia umbes 500 kilomeetrist kõrgemale.

Nõnda on otsustatud, kuna kosmoseprügi on üha suurem probleem. Sedamööda, kuidas kasvab satelliitide hulk, suureneb ka nende kokkupõrkeoht. Kokkupõrgete sagenemine ja sellega kaasnev suur hulk satelliiditükke võib vallandada ahelreaktsiooni, mida nimetatakse Kessleri sündroomiks. Selle tagajärjel võib mõni orbiit täituda pisikesest kosmosepurust ja terve orbiitide vahemik võib muutuda kasutuskõlbmatuks.

Üks viis kosmoseprügiga võidelda on panna satelliidid madalamatele orbiitidele, kust nad õhutakistuse tõttu ise alla kukuvad. Teine võimalus oleks kasutada seadmeid, mis vähendaks satelliidi kiirust ja tooks nad sel moel madalamale, kuni nad atmosfääris meteoori kombel ära põlevad.

JAAN PRAKS

- Jaan Praks on sündinud 16. novembril 1971 Tartus. Põhi- ja keskkooliõpetaja sai Kehra keskkoolis.
- 1991 asus Tartu ülikoolis õppima füüsikat. 1996 sai samas ülikoolis bakalaureusekraadi. Doktoritöö metsa kaugseirevõimaluste kohta („Radar Polarimetry and Interferometry for Remote Sensing of Boreal Forest“) kaitses Aalto ülikoolis 2012. aastal.
- Aastail 1995-1996 töötas assistendina Tartu observatooriumi kaugseireosakonnas. 1997 alustas tööd Helsingi tehnikaülikooli kosmose tehnika laboris.
- Alates aastast 2011 õppejõud Aalto ülikooli raadioteaduste osakonnas, 2014. aastast peale kaasprofessor elektroonika ja nanotehnoloogia osakonnas, kus juhib väikesatelliitide ja mikrolainekaugseire teadusrühma.
- Teadustöö põhisuunad on kuupsatelliitide tehnoloogia ja mikrolainekaugseire.
- Tema osalusel on ilmunud üle 100 teaduspublikatsiooni.
- Tema juhendamisel ja kaasujuhendamisel on kaitsnud 9 doktoritööd ja üle 50 magistratöö ning üle 30 bakalaureusetöö. Kümnekond doktoritööd on valmimas.
- Rahvusvahelise raadioteaduste ühingu (URSI) Soome haru esimees, rahvusvahelise kosmoseteaduste ühingu (COSPAR) Soome teaduskomitee liige, mitme eriala- ja teadusorganisatsiooni juhtkonna liige. Mitme idufirma asutaja, nõustaja ja nõukogu liige, konverentsi Finnish Satellite Workshop asutaja ja korraldaja, mitme magistriprogrammi nõukogu liige ja mitme satelliidimissiooni uuringujuht. Tuntud kosmoseteema populariseerija.
- 2019 pälvis Soome suurima akadeemilisi inseneri ja arhitekto koondava organisatsiooni TEK inseneriauhinna, samal aastal ka Ulla Tuomineni fondi auhinna „Elekter on tulevik“. 2017 sai Soome esimese tudengisatelliidi Aalto-1 projekti juhtimise eest Aalto ülikooli tunnustuse.
- Peres on suureks kasvanud kaks poega. Vabal ajal meeldib sõita purje- ja lohelauga, sõpradega aega veeta ja taskuhäälinguid kuulata.

Näiteks satelliidil Foresail-1 olnud Soome meteoroloogia-instituudis välja töötatud plasmapidur on just selline seadeldis, mis satelliidi atmosfääri toob.

Kas Aaltos meisterdatud satelliitidel on ka selliseid kosmose tehnoloogiaid, mis on laiemalt kasutusse võetud?

Neid on mitu. Näiteks kas või see sama ICEYE väga odav radarsatelliit, mida ettevõtte nüüd toodab ja ka teistele riikidele müüb. Satelliidi radari prototüüp on arendatud ja ehitatud Aalto ülikoolis.

Aalto-1 pardal olnud pisike spektraalkaamera on töötanud välja VTT uurimisinstituudis. Pärast Aalto-1 lendu on VTT arendanud sellest miniatuursest hüperspektraaltehnoloogiast terve perekonna kosmosekaameraid. VTT kaamerad on kasutatud mitmel kuupsatelliidil ja ka Euroopa kosmoseagentuuri teadusmissioonil.

Ülejärgmisel aastal saadab ESA kosmosesondi Hera lähemalt uurima asteroidi Didymos süsteemi. Didymose ümber tiirleva Dimorphose orbiiti õnnestus septembris kokkupõrkega veidi nihutada NASA kosmosesondil DART. Heral kasutatavad Aalto-1 spektraalkaamera järglased kuvavad DART-i tekitatud põrkekraatri keemilist koostist.

Ka hüperspektraalse kaugseirega tegelev Kuva Space kasutab VTT hüperspektraaltehnoloogiat.

Soomes on kosmosetehnoloogia vallas kauaaegsed kogemused. Kas tudengisatelliidiprogramm on aidanud selle valdkonna arengule kaasa?

Loomulikult. Meie laborist on kasvanud välja ICEYE, mis oma 500 töötajaga on praegu Soome suurim kosmosefirma. Neil on õnnestunud koguda 300 miljoni euro ulatuses investeeringuid ning ettevõtte väärtus läheneb üksisarviku tasemele ehk miljardile eurole. Võiks öelda, et ka meie tippkeskus on tudengisatelliidi järglane. Ka paljud teised Soome ülikoolid ehitavad satelliite. Näiteks Vaasa ja Oulu ülikoolis on käsil projektid.

Nii nagu Eestis andis ka Soome tudengisatelliidiprogramm väga olulise tõe nii-öelda *new-space*'i valdkonna tekkele ja arengule. Loomulikult poleks Soome või Eesti *new-space* saanud tekkida, kui ka mujal maailmas poleks olnud kiiresti arenevat väikesatelliidibuumi. See turg on kiiresti kasvanud ja kasvab hoogsalt edasi.

Eestis ja Soomes on areng olnud veidi erinev. Pärast Aalto-1 lähetust võttis Soome kiiresti vastu oma esimese kosmoseseaduse ning hakkas seda ala reguleerima. Tehti ka esimesed New Space'i rahastusprogrammid ja väikesatelliidid kuulutati riikliku strateegia osaks. See aitas tugevalt kaasa ICEYE edule. Ka ESA-ga seotud projektid ja koostöövõimalused olid juba olemas ja toetasid paindlikult seda arengut. Eestis andis ESTCube-1 tegemine tõe sellele, et riik üldse liituks ESA-ga. Seega on Eestis tulnud palju laiemalt süsteemi ehitada. Tänu sellele tööle on nüüd ka Eestis loodud edukad kosmoses valdkonnas tegutsevad firmad ja ala kasvab mühinal.

ESA on oluline riiklik kosmosetehnoloogia arendaja. ESA liikmemaks investeeritakse peaaegu tervenisti kodumaal kosmosetehnoloogiasse. Kui Soome maksab ESA liikmelisuse eest aastas 27 miljonit eurot, siis sellest vähemalt 25 miljonit kasutatakse kosmosetehnoloogia ja kaugseire arendamiseks Soome firmades ja instituutides. Seega, ESA liikmeks olemine tähendab turgu firmadele, kes tegelevad tehnoloogia arendamisega.



Jaan Praks tänavu aprillis satelliiti Foresail-1 esitleval pressikonverentsil. Mais kosmosesse jõudnud satelliidi lennumudel on näha tema kõrval olevas läbipaistvas karbis

Eesti liikmemaks jääb paari miljoni kanti ja see panus on aidanud oluliselt kosmetehnoloogia valdkonda arendada. ESA toetab ka kasvavaid idufirmasid. Nii mõnigi ESA rahastusest välja kasvanud ettevõtmine on suutnud hakata pakuma enda tooteid ka erakapitali põhisel.

ESTCube-1 ehitajad olid Eesti kosmetehnoloogia ala esimene lai põlvkond. Varem see valdkond Eestis puudus, nüüd tegutsevad sel uuel alal ministeeriumides ja teistes organisatsioonides nimelt ESTCube'i vilistlased. Selles mõttes oli ESTCube-1 Eestile palju määravama tähtsusega sündmus: see oli esimene tõsine kosmosespetsialistide koolitusprogramm. Nüüd juhib see põlvkond kosmosevaldkonna arengut ja tegevust tõenäoliselt paar aastakümnet.

Kas kosmetehnoloogia on teie ülikoolis populaarne eriala?

Kosmeteadust saab Soomes õppida ka mujal, aga kosmetehnoloogiat ainult Aalto ülikoolis. Selleks on Aaltos omaette eriala. Magistrantide hulk pole suur, keskmiselt on neid

Kõrgtehnoloogilise ühiskonna toimimist ei saa enam ette kujutada ilma kosmetehnoloogiata ja nii on meil vaja ka selle ala spetsialiste.

aastas kümnekond. Oleme üks elektroonika ja nanotehnoloogia magistriprogrammi haru – kosmoseteadus ja -tehnoloogia. Selles väikeses harus tegutseb ainult kolm professorit: mina, Esa Kallio ja Anne Lähtenmäki. Mina töötan väikeste kuupsatelliitide ja nende platvormitehnoloogiatega ning mikrolainekaugseirega. Esa töötab plasmafüüsika uuringutega seotud missioonidega ja Anne on raadioastronoom. Nendel erialadel koolitame magistreid ja doktoreid. Mingit suuremat organisatsiooni meil ei ole.

Tegelikult ei peagi asutus tingimata suur olema, et selle töö laiemalt silma paistaks.

Mina näeks hea meelega, et Soome riik panustaks kosmosevaldkonda ja vastavasse koolitusse senisest natuke rohkem. Me ju näeme, kuivõrd keske ja strateegiline on kosmosevaldkond juba praegu. Ajaga muutub see veelgi olulisemaks. Kui vaatame, mida näiteks Elon Musk kosmoses teeb, siis võib arvata, et oluline osa sidetaristust kolib peagi kosmosesse. Ka navigatsioon, kaugseire ja laiem teabe hankimine põhineb satelliitidel ja kosmetehnoloogiatel. Soomes arenevadki asjad juba selles suunas, et kosmosesse panustatakse tulevikus oluliselt rohkem. Kõrgtehnoloogilise ühiskonna toimimist ei saa enam ette kujutada ilma kosmetehnoloogiata ja nii on meil vaja ka selle ala spetsialiste.



Soome esimese tudengisatelliidi Aalto-1 meeskond rõõmustab 2016. aastal satelliidi valmistamise üle. Jaan Praks hoiab käes satelliidi varumodelit, temast vasakul seisab meeskonna liige Janne Kuhno ning paremal on Antti Kestilä ja Tuomas Tikka. Ees kabis on Aalto-1 lennumudel

Nii Eesti kui ka Soome kuuluvad Euroopa kosmosetööstuse sektorisse. Tänu Euroopa strateegilisele koostööle on Euroopal oma sõltumatu satelliitnavigatsioonisüsteem Galileo, Copernicuse satelliitkaugseiresüsteem, oma teadusmissioonid ja oma raketid: Ariane 5 ja Vega C. Tugevas konkurentsies eemalduvad praegu maailmas üksteisest Ameerika-Euroopa, Hiina ja Venemaa sektor. Ukraina sõda on näidanud, kui võrd tähtis on omada teistest sõltumatuid süsteeme: vaatame selles valguses kas või Starlinki sidesatelliitide võrku või Ukrainas töötavaid navigatsioonisüsteeme. Tulevikus võib olla määrava tähtsusega oma satelliidisüsteemi olemasolu.

Kuivõrd tihed on teie töörühma lähikäimine Tõravere kolleegidega?

Kuna olen Tartu ülikooli vilistlane, on meie suhted väga tihedad. Juba ESTCube-1 päevil olin projekti suve- ja sügiskoolide sagedas külaline. Üks ESTCube-1 meeskonna võtmevõtte Andris Slavinskis oli järel doktorantuuri ajal kaks ja pool aastat meie meeskonnas. Seega just vanemat ESTCube'i meeskonda tunnen üsna hästi.

Praegu oleme Tõravere teadlastega koos ESA Comet Interceptor'i ehk komeedipüüduriprojektis. Tõraveres tehakse Mihkel Pajusalu juhtimisel sellele missioonile Opiku-nimelist kaamerasüsteemi ja meie omakorda töötame selle pilditöötlemise tarkvaraga.

Ka ESTCube-2 rühmaga teeme koostööd. Näiteks selle satelliidi pardale tuleva elektripurje seade on osaliselt välja töötatud Foresail-1 projekti käigus ja niimoodi sattus ESTCube'i pardale ka meie loodud lahendusi.

Aeg-ajalt käime üksteisel külas ning kui Eestis on satelliidi ehitamisel midagi puudu, siis ikka aitame. Hiljuti oli ESTCube'i tiimil vaja elektroonikaplaatide katmiseks kosmoseskindlat lakki ja me saime neile seda kohe oma varudest saata. Kui oskame, siis aitame, ja õpime üksteiselt.

Tulevikus võib olla määrava tähtsusega oma satelliidisüsteemi olemasolu.

Peale satelliitide ehitamise on teie teadustöö keskendunud kaugseirele. Millega täpsemalt olete sel alal tegelema?

Olen juba kaua tegelema tehis-avaradari kaugseirega, mida saab teha n-ö ICEYE-tüüpi radarsatelliitidega. Peale kaugseire metsanduslike kasutusvõimaluste olen tegelema lume ja jää radarkaugseirega.

Metsade kaugseirega hakkasin tegelema juba sellal, kui töötasin tudengina Tartu observatooriumis Tiit Nilsoni ja Andres Kuuse töörühmas. Metsade kaugseires kasutatakse peamiselt kahte tüüpi andmeid: radaripilte ja optilisi pilte. Optilise seirevahendiga on võimalik hästi eristada näiteks metsas kasvavaid puuliike. Puude kõrgusest ja biomassist saab jällegi hea ülevaate radariandmete abil.

Eesti radarkaugseirega tegeleva seltskonnaga olen olnud siiani väga tihedalt seotud. Kaupo Voormansik oli järel doktorandina mõnda aega minu rühmas ja hiljem juhendajana temaga koos Aire Oleski doktoritööd. Praegu juhivad Kaupo oma radarkaugseirealal tegutsevat idufirmat Kappa-Zeta. Sel suvel kaitses minu kaasjuhendamisel Tartu ülikoolis radarkaugseire alal doktoritöö Tauri Tampuu. Tauri uuris, kuidas saab kosmosest rabade „hingamist“ mõõta. Nimelt liigub raba pind sesoonselt üles ja alla. Sellest on näha, kui palju on rabas vett. Tauri leidis, et seda võib ka satelliidilt mõõta, olgugi et liikumine on vaid mõned sentimeetrid nädalas.

Kuidas te Tõravere Aalto ülikooli praegusele ametipostile jõudsite?

Elu koosneb paljudest juhustest. Minu abikaasa on soomlane. Õppisime mõlemad Tartu ülikoolis, mina füüsikat ja tema arstiteadust. Soomes kehtiva arstilitsentsi saamiseks pidi ta praktika tegema Soomes. Nõnda me koos Soome tulla ja jääme siia. Mina astusin Helsingi tehnikaülikoolis doktorantuuri ja sattusin täiesti juhuslikult kosmosetehnoloogia laborisse. Seal alustasin ka Aalto-1 projektiga. Kui 2013. aastal, mil meil oli juba käsil Aalto-1 ehitamine, kuulutati välja konkurs labori kaasprofessori kohale, siis otsustasin kandideerida. Nõnda saigi minust professor. Oma töörühmaga olen teinud valmis kolm kuupsatelliiti: Aalto-1, Aalto-2 ja Foresail-1. Samas olen olnud seotud ka teiste Soome, Norra ja Rootsi satelliitide ehitamisega. •

TELESKOOP.EE

VÕTA PAREM TELESKOOP

Sky-Watcher®



Bresser Messier AR-90/900 Exos-1

- D = 90 mm
 - F = 900 mm (f/10)
 - 6x30 optiline otsija
 - 1,25" diagonaal
 - 26 mm Plössl okulaar (suurendus 34x) maksimaalne teoreetiline suurendus 180x
 - Exos-1 ekvaatoriline monteerimine
 - stabiilne terastorudest kolmjaljal
 - päikesefilter
- 449 €

SkyWatcher Evostar 102/1000

- EQ3-2 ekvaatorilisel monteerimisel
Klassikaline akromaatiline
lätsteleskoop
- D=102 mm
 - F=1000 mm
 - 2" diagonaal
 - 25 mm ja 10 mm okulaar
 - 6x30 optiline sihik-otsija
 - EQ3-2 ekvaatoriline monteerimine alumiiniumist kolmjaljal
- 579 €



Skywatcher Explorer 200P

Newtoni skeemiga peegelteleskoop
paraboloitse peapeegli

- D= 200 mm
- F=1000 mm
- suhteline ava F/5
- 2" sujuv fokuseerija
- 9x50 otsija
- 10 mm ja 25 mm okulaarid
- 2x Deluxe Barlow-läätis
- kaamera ühendus

EQ5 - 849 €

EQ5 SynScan - 1389 €

HEQ5 Pro - 1789 € (pildil)

CO₂ indikaator

ruumi siseõhu kvaliteedi
hindamiseks



Juhtmevaba (komplektis on
laetavad Li-ion akud).
Mälu ja tarkvara andmete
analüüsimiseks.
Mõõdud: 250 x 160 x 65 mm.
189 €



Magamistoa, kabineti jne õhu
kvaliteedi hindamiseks.

Mõõdud: 110x33x123 mm.

119 €

Võta julgelt ühendust!

Ostueelne
ja -järgne
nõustamine
eesti keeles.

Klassiruumi, elutoa ja muu suurema
ruumi õhu kvaliteedi hindamiseks.

Mõõdud: 388 x 43 x 288 mm.

229 €

- **CO₂ indikaator**, mis annab märku, kui on vaja ruumi tuulutada
- ühik on ppm (*parts per million*), mille näit võiks jääda alla 1000 ppm; selle näidu ületamisel tuleb ruumi tuulutada
- lisaks näitab seade õhutemperatuuri ja suhtelist õhuniiskust



Biolux LCD Touch HDMI

Uus puutetundliku ekraaniga mikroskoop, mille pildi saad
otse ekraanile kuvada (mikro-HDMI)! Suurendus 30x-1125x.
5 Mpix CMOS sensor.
335 €



Mikroskoop Biolux NV

Suurendus 20-1280x. Kohver ja vajalikud
tööriistad, PC okulaar (1280x720 px), pealt- ja
altvalgustus, peennihikuga slaidihoidik
Sobilik lapsele ja koolile!

159 €



Stereomikroskoop Analyth STR 10x-40x

Suurendus 10x, 20x, 40x. Toide AA patareidelt,
USB kaabliga või vooluvõrgust.
Putukad, kahjurid, mineraalid, margid, mündid,
trükkplaadid jne

249 €

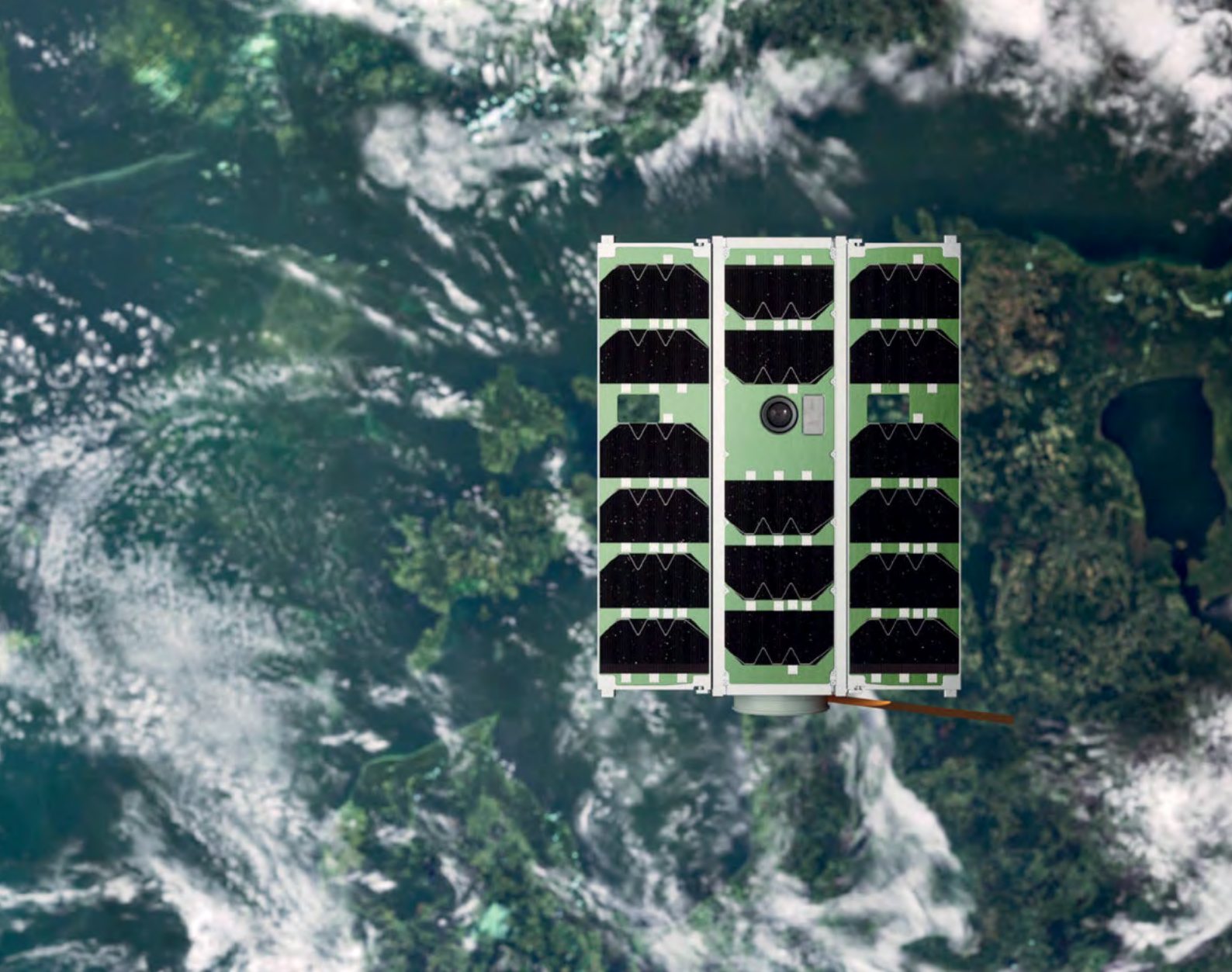
E-pood: teleskoop.ee

Helista: 528 9895

Kirjuta: taevatoru@teleskoop.ee

facebook.com/teleskoop.ee

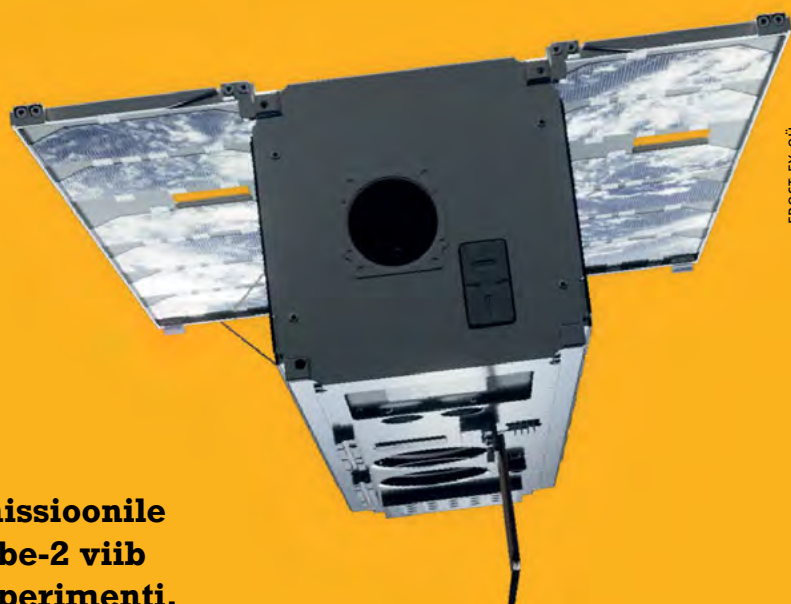
Taust: NASA/JPL-Caltech/UCLA



HANS TERAS

HIIGLASTE ÕLGADEL. ESTCube-2

Tuleva aasta alguses kosmosemissioonile suunduv tudengisatelliit ESTCube-2 viib orbiidile mitu uudset teaduseksperimenti, mida avakosmoses tehakse esimest korda.



FROST FX OÜ

Pildid on kujutatud ESTCube-2-te sooritamas tulevase maavaatluse Eesti metsadest ja põldudest. Satelliidi maavaatluseksperiment vältab terve esimese missioonista

Peagi möödub kümme aastat Eesti esimese satelliidi ESTCube-1 kosmoselennust. Tema kuulsusrikas tähelend algas Lõuna-Ameerikast Guajaana kosmosekeskusest 7. mail 2013. aastal ning pälvis sadade tuhandete inimeste tähelepanu. Loodetavasti andis see tuhandetele noortele inimestele ja teadlastele inspiratsiooni ja kinnitas, et Eestiski tehakse imetusväärseid kosmoseseadmeid. Sümboliliselt oli ESTCube-1 õnnestunud kosmosereisi mõni aasta hiljem justkui heerold ka Eesti täisliikmesuse saavutamisel Euroopa kosmosesagentuuris (ESA).

Projektist tuult tiibadesse saanud kogukond liikus edasi kiirendatud tempos: asutati mitu satelliidi arendusest võrsunud idufirmat, paljud läksid tänu heale kogemuspagasile mujale tehnoloogiaettevõtetesse või jätkasid

akadeemilist tööd prestiižsetes asutustes, nagu NASA või MIT. Riigiaparaadis lisandus tähtsaid töökohti seetõttu, et Eesti oli äsja saanud Euroopa kosmosesagentuuri liikmeks. Löödi kaasa üle-euroopalise tudengisatelliidi ESEO ehitamises, mille tarbeks valmistati kaks kosmosekaamerat.

Samuti seadis see generatsioon endale sihi laiendada ülikoolides pakutavaid kosmosetehnoloogia õppealasid ning jagada noortele oma kogemusi. Nii tekkis näiteks Tartu ülikooli arvutitehnika ja robotika magistriõppes võimalus spetsialiseeruda täielikult kosmosetehnoloogiale.

Teadusmissioon

Nagu paljude kuupsatelliitide ülesanne on ka ESTCube-2 otstarve esimesena katsetada uudistehnoloogiaid kosmoses. Erinevalt oma kosmosesuutlikkust näidanud eelkäijast on see pilgeni pungil teaduseksperimente ja muid katsetusi. Kõige selle tarbeks on ESTCube-2 suuruseks valitud kolm kuupsatelliidi ühikut ehk 3U.

ESTCube-2-1 tuleb kaheaastasel kosmosemissioonil saavutada kaks põhilist teaduseesmärki. Esiteks on satelliidi pardal kaks suurt maavaatluskaamerat, mis on valmistatud Tartu observatooriumis ning mille otstarve

on koguda maapinnast pilte korraga kahes valgusspektri osas: infrapunases ja punases valguses. Nende piltide infot kõrvatades on võimalik määrata maapinna vegetatsiooniindeks igas punktis ehk mõista, kas ja kuidas on jaotunud maapinnal roheline biomass. Põhjalikuma analüüsiga saab seejärel eristada näiteks metsatüüpe, põllukultuure ja muud. Samuti saab koguda andmeid põudade ja talviste olude muutuse kohta.

Kaamerad teevad pilte neljamegapiksliste sensoritega ja optika oodatav maapinna eraldusvõime on 20–30 meetrit piksli kohta. Seejuures ei ole need kaks spektriosa valitud juhuslikult, vaid matkivad võimalikult hästi Euroopa suure Sentinel-2 maavaatlus-satelliidi üht instrumenti. Kui kõrvaltada meie kogutud andmeid tolle sadu miljoneid maksva satelliidi andmetega, saame anda hinnangu oma piskese instrumendi täpsuse ning hinna ja kvaliteedi suhte kohta. Samuti on meil suurem kontroll oma satelliidi operatsioonide üle ning saame palju tihedamini teha eri alade lisavaatlusi.

Esimesel tööaastal kosmoses on satelliidi põhitegevusala kasutada maavaatluskaameraid. Tasub teada, et satelliidi kosmosesse saatmise ning tööleasumise vahele on arvestatud

PROJEKTIST PROGRAMMIKS

Kui küsida, millal algas ESTCube-2 projekt, siis võib öelda, et erikujulisena on selle idee olemas olnud alates 2012. aastast, seega juba aasta enne Eesti esimese satelliidi lennutamist kosmosesse. Reaalse teadustööna sai sellest üht-teist kirja pandud alles 2014. aastal, kui ilmus esimene konkreetselt ESTCube-2 alamsüsteemi prototüüpi käsitlev lõputöö. See on loogiline: ESTCube-1 valmimisele järgnev aasta võimaldas selle mehaanikutele ja elektroonikutele asuda põhjalikumalt avastama uusi jahimaid. Ent puudu oli selge ja tugev visioon järgmise projekti alustalade kohta: kuidas anda teatavalt edukalt üle uuele põlvkonnale? Lahtine oli ka üle-eestilise tudengiprojekti juriidiline kuuluvus ja õiguslik seisund. Seni pelgalt käputäie noorte motivatsioonituhinal põhinev projekt vajab mitmekülgsemaks arenguks konkreetsemat vormi ja tuge: mismoodi teenida ülikoolide ainepunkte või jagada tublimatele stipendiume? Kuidas üldse rahastada järgmist, üle kolme korra suuremat satelliiti tema teadusmissioonil?

Seesuguses *limbo's* elati kuni 2016. aasta alguseni, kui uuele projektile õnnestus leida heatahtlik sponsor, ettevõtja Ahti Heinla. Samal aastal asutati Eesti Tudengisatelliidi sihtasutus, mille ülesanne on projekti juriidiliselt hallata. Nüüd sai hakata reaalselt süsteemi ülesehitust ja sihte täpsustama. Ka seda võib pidada ESTCube-2 alguseks, sest esimest korda tekkis selge visioon satelliidi missioonist, arendusele kuluvast ajast ja ülesannetest ning kogu projekti sai uue hingamise.

Kuue aasta jooksul on ESTCube-2 projektis lõõnud kaasa ligemale 500 õppurit ja üliõpilast – põhikooliõpilastest doktorantideni. Projekti kohta on avaldatud kümneid lõputöid ning selle arendustegevust ja lahendusi on põhjalikult analüüsitud mitmel rahvusvahelisel konverentsil. •

mitmekuuline puhverperiood, mille jooksul saab satelliidi meeskond esmalt korda seada kõik süsteemikontrollid ja lisakalibratsioonid.

ESTCube-2 teine ja perspektiivilt tähtsamgi teaduseksperiment algab satelliidi planeeritud missiooni viimase kuue kuu jooksul. Nagu tema eelkäijalgi tuleb tal teha Soome meteoroloogiasstituudi elektrilise päikesepurje eksperiment, mida ei ole tehniliste viperuste tõttu õnnestunud täide viia ei ESTCube-1-l ega ole senini õnnestunud ka soomlaste satelliidil Aalto-1.

Selles missioonifaasis lõpetab satelliit maavaatlusülesanded ja asub koguma piisavalt suurt pöörlemiskiirust, et kerida tsentripetaaljõu abil välja satelliidi ühes otsas paiknev juuspeen elektripurjetraat. Selle, 50 mikromeetri paksuse traadi elektrilisel laadimisel on võimalik ära kasutada elektrostaatilist vastastikmõju keskkonnaga ning tekib satelliidi liikumist mõjutav hõõrdejõud.

Maa madalorbiidil, mis on ESTCube-2 sihtkoht, on laetud keskkonnaks

ionosfääris asuvad vabad laetud osakesed ehk plasma. Kuna läbi paksu „plasmasupi“ ujumine pidurdab satelliiti, kutsubki meie tiim seda eksperimenti lihtsalt „plasmapiduriks“. Plasmapidur on oluline, kuna selle tehnoloogia lisamine tulevastele satelliitidele annab meile võimaluse need missiooni lõpul ilma lisakütusega orbiiidil alla tuua, ning nõnda vähendaksime tunduvalt inimkonna kosmilist jalajälge ehk kosmoseprügi teket (vt tekstikasti lk 61).

Maast kaugemal, väljaspool meie kaitsvat magnetvälja, eksisteerib aga pidev laetud osakeste, põhiliselt oma elektroni kaotanud ja laetud vesiniku voog, mis lendab Päikesest eemale. Tulevastes missioonides saaks elektrilist päikesepurje kasutada vastastikmõjus selle „päikesetuulega“ ning seilata selle tõukava jõu abil ilma kütusega teiste kaugete planeetide ja tähtedeni. Ent kõik see nõuab, et õpiksime uut tehnoloogiat tundma esmalt plasmapidurina, lahendades samal ajal kosmoseprügi probleemi, ning alles pärast küpseks saamist asume uusi takistusi ületama.

Lisäülesanded

Peale kahe suurema teaduseksperimenti, mis hõlmavad enamiku satelliidi lastiruumist, on kosmoseparaadi missiooniga seotud hulk väiksemaid eksperimente ja ettevõtmisi.

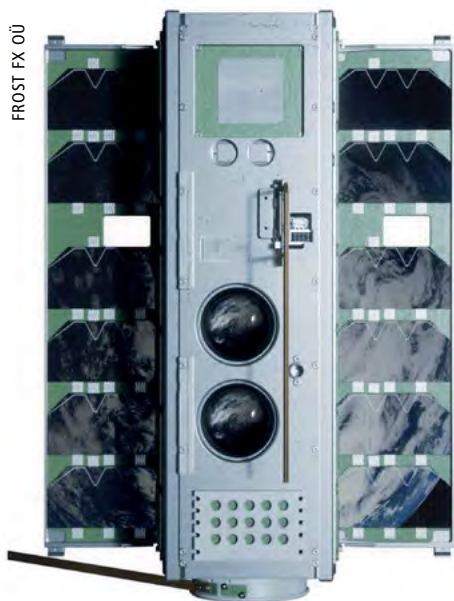
Tartu ülikoolist võrsunud ettevõtte Captain Corrosion saadab ESTCube-2 välisküljel kosmosesse väikese katetusplaadi. Sellele on kantud tosikond korrosioonivastast pinnakatet, mille otstarve on tulevikus kosmosesse saatetavaid materjale paremini kaitsta kosmilise kiirguse ja atomaarse hapniku eest. Selle eksperimenti kohta on meil võimalik reaajas andmeid koguda, vaadeldes materjalide all oleva metalli takistuse muutumist ajas: takistus suureneb seda kiiremini, mida kiiremini materjali kaitsev mõju kaob ja metall korrodeeruma hakkab.

Kahe maavaatluskaamera iga üsna mahuka pildi allalaadimine satelliidi põhiliste sideantennide kaudu võtaks aega päevi või nädalaid. Sestap on osa satelliidi ruumist eraldatud spetsiaalsele kiirkommunikatsioonimoodulile, mis kasutab palju võimsamat ja suu-



MARIA-LIISA PLATS

Üliõpilased Tartu observatooriumis satelliidi kallal nokitsemas. ESTCube-2 projektis on kaasa löönud ligi 500 üliõpilast ja õppurit igalt õppeastmelt



ESTCube-2 portreepilt. Nähtaval on kõik kolm sideantenni (allervas, vertikaalselt keskel ja plaadike ülaotsas). Samuti asub siin kaks suurt maavaatluskaamerat ja auguline plaat korrosioonivastaste katsete eksperimendiga

natud pindantenni, et saavutada piltide alla laadimiseks meile tuttavam 4G mobiilsidevõrgu kiirus. Originaalis Ventspilsi kõrgkooli üliõpilasprojekti- na arendatud kiirkommunikatsiooni- moodul on arendus- ja tarnetõrgete tõttu kahjuks asendatud veidi teist- suguse kommertsimooduliga, kuid selle tööpõhimõte on sama.

ESTCube-2 meeskond teeb tihe- dat koostööd küberturbeettevõttega CybExer, nõnda arendatakse ESTCube-2 süsteemide näitel välja küberturbe- liivakast (ingl *sandbox*). Sellises paind- likus raamistikus saavad tulevased süsteemioperaatorid ja küberturbe- ettevõtted harjutada varade paremat kaitsmist pahavara ja halbade kavat- suste häkkerite eest.

Et satelliidi asukohta ja asendit orbiidil paremini määrata, arendavad väikesed töörühmad meie meeskon- nas välja asjakohaseid eksperimente. Näiteks katsetame ESTCube-2 pardal raadiopõhist kauguste hindamise süs- teemi, mis justkui pahempidine GPS- süsteem kasutaks ühe satelliidi asu- koha määramiseks sünkroonset sidet paljude maajaamadega. Ühtlasi on sa- telliidi juhtmooduli sügavusse ehitat- tud veel üks minikaamera, mille ees- märk on jälgida tähistaevast ning tuvastada sealt tähekaartide põhjal tähtkujusid ja tähekombinatsioone. See informatsioon aitab meil täpsusta- da üldiselt radaritega määratud satel-

KUIDAS VÄLTIDA KOSMOSEPRÜGI TEKET?

ESTCube-2 teadusmissioonist rääkides tuleb ühtlasi üle vaadata mõned põhitõed kosmose- prügi kohta. Esiteks, kosmos on väga tühi ja lausa lõputult ruumikas. Kahjuks pole aga kogu see ruum läbinisti kasutuskõlblik ega kasulik. Inimesele on olulised kosmoses olevad kindlad rajad, mida nimetatakse orbiitideks. Need on justkui üksikud läbi lõputu tühermaa rajatud maanteed, mis on hädavajalikud, et kaup ja info liiguksid.

Üks tähtsamaid nendest orbiitidest asub 35 000 kilomeetri kõrgusel ekvaatori kohal. See suur hularõngas ümber Maa on meie geostatsionaarne orbiit, millel reisivad satelliidid püsi- vad täpselt kaasas allpool pöörleva Maaga. Kõik satelliidid, mis reisivad sellest rõngast kau- gemal eemal, jäävad meie pöörlemisest maha, ja kõik, mis on madalamal, kihutavad ette- poole. See võimaldab geostatsionaarsetel satelliitidel lakkamatult suhelda Maa peal ühes punktis asuvate antennidega ja pakkuda näiteks telekommunikatsiooniteenuseid mõnele regioonile. Manöövrite ja kütusevaru tõttu võib olla keerukas ja kulukas jõuda kindlale orbiit- dile, kuid seal püsida on odav, isegi lõputu hulk aega. Nii on see ka geostatsionaarsel orbiidil. Ent kui satelliitide missioon ja käitumisga hakkab lõpule jõudma, kerkib küsimus, mida teha sõidu lõpetanud vana aparaadiga. Kas jätta see sinnasamasse tühermaad läbiva maantee serva või tuleb juba missiooni algul arvestada lisakütusega, et sõidutada see mõnikümend meetrit eemale kõnnumaale? Mis aga saab satelliitidest, mida ei saa tehnilise rikke tõttu enam liigutada? Tuhandete samal teekonnal varem sõitnud ja sõidu lõpetanud satelliitide tõttu on tekkinud oht, et ainus kasulik maantee ummistub peagi roostetanud romudest. See- pärast on järeltulevate satelliitide teekond palju riskantsem.

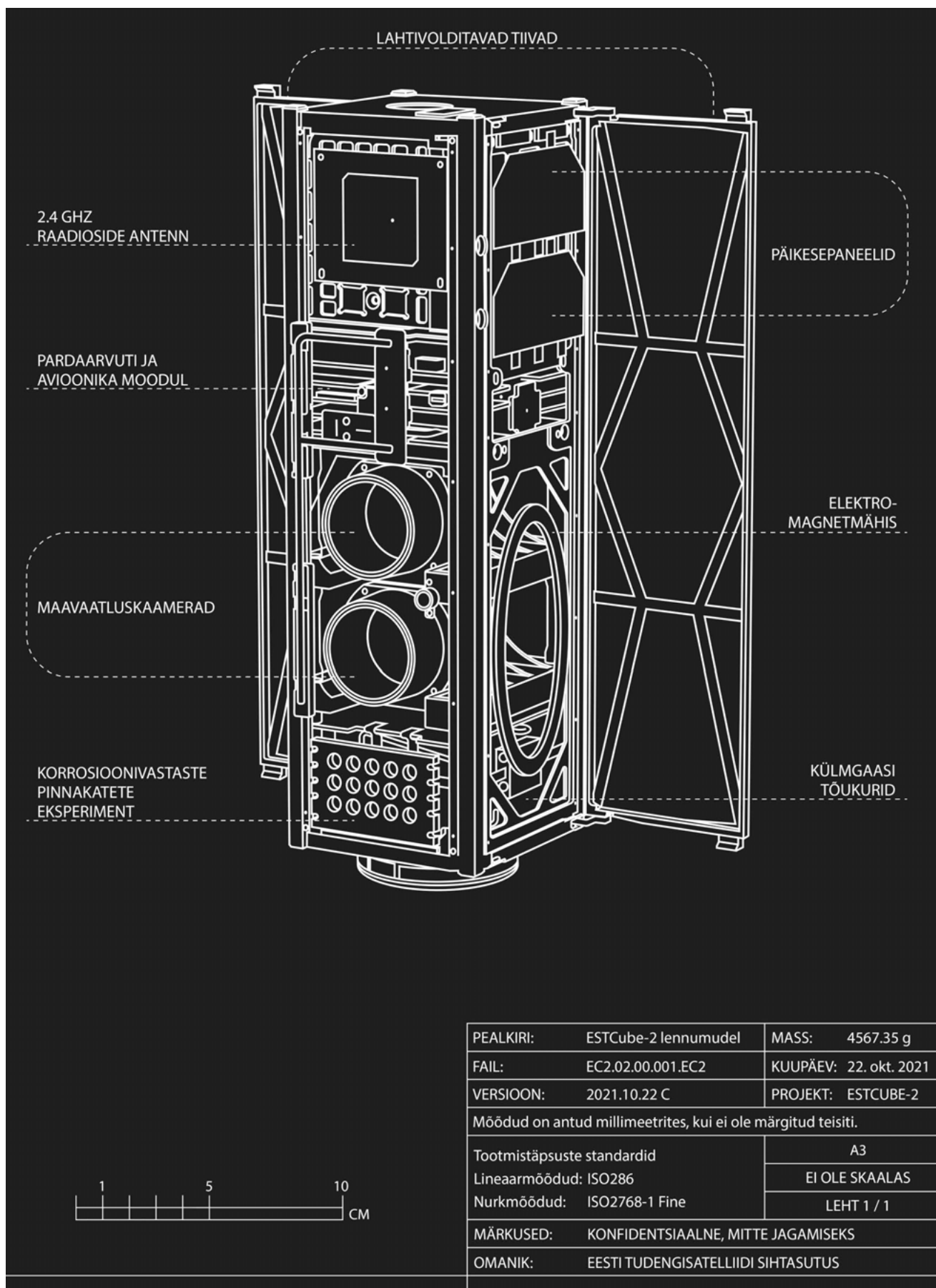
Õnneks mõisteti geostatsionaarse orbiidi tähtsust varakult. Välja on töötatud ranged rah- vusvahelised seadustikud, mis juhivad satelliitide kasutamisega sel orbiidil ning näevad ette lisakütusevaru, et sõidutada missiooni lõpetanud satelliit veidi eemale, vabastades hinnalise piiratud laiusga teeriba uutele tulijatele.

Kahjuks valitseb Maa madalorbiitidel (200–1000 km kõrgusel), kuhu suundub ka ESTCube-2, pigem reguleerimata metsik lääs. Olukorda raskendab asjaolu, et erinevalt kõr- gest ja aeglasest geostatsionaarsest orbiidist kasutatakse madalamal ka risti üle pooluste minevaid polaarorbiite. Kiirelt üle pooluste lendavad satelliidid teevad seal Maa ümber tiire, sellal kui maakera end nende all aeglaselt pöörab, andes neile võimaluse skannida ühel või teisel hetkel ära kogu maapind. Samuti on tarvilusel suur osa orbiite, mis jäävad diagonaalsel ekvaatoriorbiidi ja polaarorbiidi vahele, näiteks lendab sellisel rahvusvaheline kosmosejaam (ISS). Tähelepanelikum lugeja võib juba mõista, et kõik need hularõngad-orbiidid peavad kusagil omavahel kokku saama, ajendades satelliitide vahel üha suuremaid kokkupõrkeriske. Võrreldes geostatsionaarsest orbiiti ühe maanteega, on Maa madalorbiidil terve teerägistik lõputute ristmikuga, mille liiklust tuleb pidevalt reguleerida, kiirendada või pidurdada, et vältida kokkupõrkeid.

Ligemale 70 aastat raketi- ja satelliidistarte ning muid katsetusi on jätnud Maa madal- orbiidile tiirlema hulgaliselt vana sodi. Tõsi, olenevalt kõrgusest mõjub sealgi veel imeväike õhutakistus, mis seda prügi aegamisi pidurdab ja lõpuks alla kukutab, kuid ajaskaalal, millest me räägime, ulatuvad kümnetest aastatest sadadesse. Kõige ohtlikum hetk saabub siis, kui kaks satelliiti omavahel mõnel ristmikul kokku põrkavad, kiirusel kuni 8000 m/s. Kahest jälgitavast objektist saab selle tagajärjel tuhat jälgimatut, kuid sama kiiresti vuhise- vat prügitükki ettearvatutel liikumisteedel. Kui needki prügitükid tekitaksid ahelreakt- sioonina järjest uusi kokkupõrkeid, saaks teoks inimkonna kõige süngem stsenaarium: Kessleri sündroom, millega me end tuhandeteks aastateks Maa pinnale löksu sulgeksime. Õnneks ei lähe see stsenaarium täide veel niipea, kuid vaadates plaanitud kümneid tuhandeid satelliite liikumas üksi või parvedena, tuleb selle murega tegeleda pigem kohe kui hiljem.

Praegu on rahvusvaheline üldsus seadnud reegli, et ükski satelliit ei tohi missiooni lõp- pedes jääda madalorbiidile üle 25 aasta, kuid viimaste uuringute põhjal ei piisa sellestki. Näiteks kehtestas Ameerika Ühendriikides kosmosevaldkonda haldav Föderaalne Kommuni- katsioonikomisjon (FCC) hiljuti eeskirja, et ükski nende lipu all sõitev satelliit ei tohi Maa madalorbiidile pidama jääda enam kui viieks aastaks pärast missiooni lõppu.

Igal juhul saab nõue aparaadid kosmosest alla kukutada peagi oluliseks piirajaks paljude- le väiksematele missioonidele, mis ei suuda saata satelliiti teele piisava kütuse ja pidurdava raketimootoriga. Selleks et leida väljapääs, on tarvis uue põlvkonna lahendusi, nagu pisike- sed ioon-elektrilised mootorid või eri tüüpi päikesepurjed. •



PEALKIRI:	ESTCube-2 lennumudel	MASS:	4567.35 g
FAIL:	EC2.02.00.001.EC2	KUUPÄEV:	22. okt. 2021
VERSIOON:	2021.10.22 C	PROJEKT:	ESTCUBE-2
Mõõdud on antud millimeetrites, kui ei ole märgitud teisiti.			
Tootmistäpsuste standardid		A3	
Lineaarmõõdud: ISO286		EI OLE SKAALAS	
Nurkmõõdud: ISO2768-1 Fine		LEHT 1 / 1	
MÄRKUSED:	KONFIDENTSIAALNE, MITTE JAGAMISEKS		
OMANIK:	EESTI TUDENGISATELLIIDI SIHTASUTUS		

Satelliidi tehniline joonis



LAILA KAASIK

Projekti liikmed ja Tartu observatooriumi esindajad satelliidimissiooni pressikonverentsil selle aasta jaanuaris

liitide orbiidiparameetreid, mis muudab meie missiooni täpsemaks ja efektiivsemaks ning annab teada, kuhu satelliit parasjagu vaatab ning isegi seda, kui kiiresti ta keerleb.

Tulevikusihid

Põhiolemuselt on paljud satelliidid väga sarnased: nii ESTCube-1 kui ka hiljuti startinud James Webbi kosmoteleskoop peidavad endas pardaarvutit, kommunikatsioonivahendeid, energiaallikat ja selle haldussüsteemi, satelliidi juhtimise tarvikuid ja teaduspagasit. Satelliidist võiks lausa mõelda kui suurest ookeanilaevast, mille kere, kaptenisild ja mootoriruum moodustavad juhtmooduli ning ülejäänud lastiruum täidetakse kasulike eksperimentidega. On selge, et mida vähem ruumi võtab juhtmoodul, seda rohkem kasulikku lasti saab laev või satelliit vedada. See aspekt muutub eriti oluliseks väike- ja nanosatelliitide korral, mis on viimase sentimeetrini tehnikat täis, et tekitada võimalikult palju lastiruumi teaduseksperimentidele.

ESTCube-2 disain on algusest peale juhitud mitmest tugevast juhtmõttest. Kuna peame peadpööritava kiirusel keereldes väljutama elektrilise päikesepurje, tuleb satelliit, tema kommunikatsiooni- ja kontrollsüsteemid teha piisavalt robustsed, et tagada

täielik töökindlus. Juhtmoodul on kujundatud võimalikult väikese ja eraldiseisvana, et meie välja tootatud ja täisfunktsionaalset komplekti saaks hiljem lihtsasti kasutada teistes missioonides või kuupsatelliitides.

Mõlemad põhieksperimentid eeldavad satelliidilt väga võimekat asendikontrolli, et saada teravad kaamerapildid ning saavutada piisav pöörlemiskiirus ja hoida seda päikesepurje katse ajal. Selle tulemusena on meie pisike satelliit tõenäoliselt üks võimekama asendikontrollisüsteemiga nanosatelliit terves maailmas.

Üks levinumaid viise väikesatelliite Maa madalorbiidil juhtida on kasutada elektromagneteid, mis koostöös Maa magnetväljaga satelliidi õigesse suunda väänavad. Ka ESTCube-2 pardal on komplekt selliseid magnetväändureid, mis on missiooni tagatis: nendega on tõenäoliselt võimalik kogu praegune missioon täide viia, kuid see ei jäta meile kuigi palju mänguruumi. Selleks et saavutada suurem asendikontroll, on satelliidi pardal mitu komplekti pisikesi hoorattaid, mille pöörlema panemine sunnib tänu füüsikaseadustele satelliidi ise teistpidi pöörlema.

Kuna kosmoses mõjutavad satelliite mitmesugused efektid, nagu valgusrõhk, õhutakistus ja raskusjõu gradient, mis kõik lisavad satelliitidele

veidi pöörlemiskiirust, ei piisa ainuüksi hoorattast selle peatamiseks. Saaksime kasutada magnetväändureid, et omakorda aeglustada pöörlevaid hoorattaid, kuid siit tulenebki meie viimane tõdemus: ESTCube-2 on mõeldud prototüübina järgmisele, Maast eemale süvakosmosesse lendavale satelliidile, mis kihutab oma elektrilist päikesepurje katsetama Kuu juurde või kaugemalegi.


Setap hõlmabki viimase kuuendiku meie satelliidi lastiruumist üks nanosatelliitides üsna ootamatu asendikontrollivahend – külmgasitõukur, mis kuumutatud butaani sirtsude abil aitab satelliiti kosmoses õigesse asendisse liigutada. See on hädavajalik Maast ja selle magnetväljast eemal olles, kus magnetväändureid ei saa satelliidi kontrolliks kasutada.

Satelliidi käikulaskmine

Kuni 2022. aasta novembrini pesitseb kosmosekõlblik ESTCube-2 lennumudel Tartu observatooriumi laborites, olles teinud läbi kõik mehaanilised ja kosmosekeskkonnast tingitud katsed, ning meie meeskond töötab veel pardatarkvara kallal. Novembris viiakse satelliit Tšehhis Brnos asuvasse kosmose tehnoloogialaboritesse, kus satelliit paigutatakse Vega-C raketi lastimoodulisse. Kui kõik väikereisijad on kokku kogutud, lendab lastimoodul Lõuna-Ameerikasse Kourou lähedal asuvasse Guajaana kosmosekeskusesse. Seal tuleb ligi kuu aja jooksul rakett ja last lõplikult ja terviklikult stardiks ette valmistada.

Start on viimase info kohaselt kavas 20. jaanuaril. ESTCube-2 kosmosemissiooni toetab Euroopa Komisjoni uudsete tehnoloogialahenduste programm „In-Orbit Demonstration/Validation (IOD/IOV)“, mida haldab Euroopa Kosmoseagentuur.

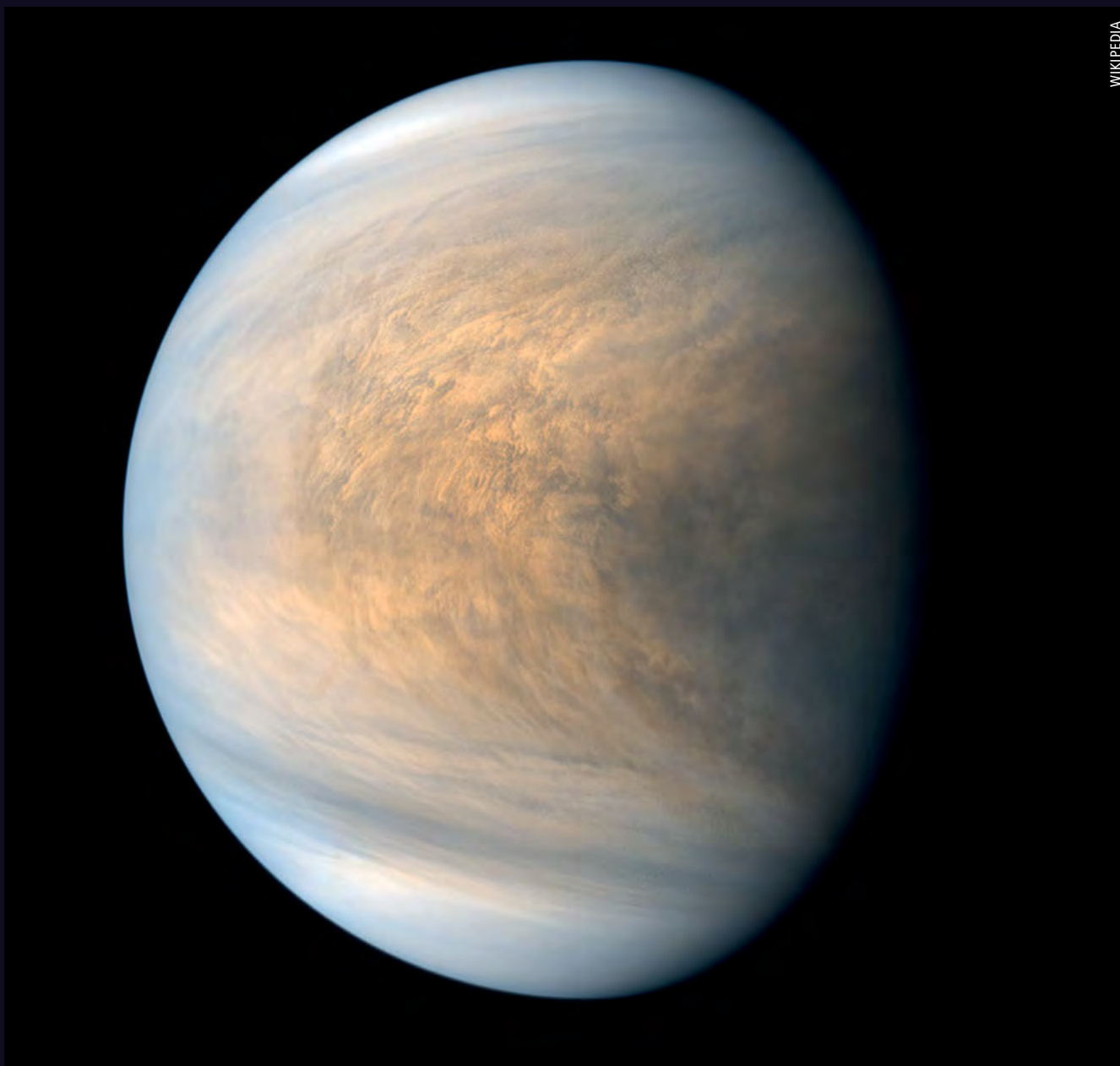
Kui kosmosemissioon on alanud, ootab kogu tiim nii Tartu observatooriumis Tõraveres kui ka Prantsuse Guajaanas pikisilmi esimest piiksu, mille kosmoses käivitunud satelliit meile saadab. Siis algavadki pikk teadustöö ja eksperimentid kosmoseavarustes.

 **Hans Teras** (1994) on Tartu observatooriumi kosmose tehnoloogia nooremteadur, keskendunud füüsika ja kosmose tehnoloogia probleemide lahendamisele arvutisimulatsioonide abil. Juhib ESTCube-2 projekti ja lööb kaasa mitmes Euroopa Kosmoseagentuuri projektis, arendamaks näiteks tulevase kuukulgureid.

MIHKEL PAJUSALU

TÕRAVERE KOSMOSETEHNOLOOGIA SIHIB VEENUST, KUUD, MARSSI JA KOMEETE

Kuidas osalevad Tartu ülikooli Tartu observatooriumi teadlased kosmose hõlvamisel? Eesti kosmosetehnoloogide haare on lai: lüüakse kaasa missioonides Veenusele, Kuule, Marsile ja Maa lähiorbiidile ning ka komeetide juurde.



WIKIPEDIA

Veenus, üks uusimaid Tartu observatooriumi teadlaste sihtmärke

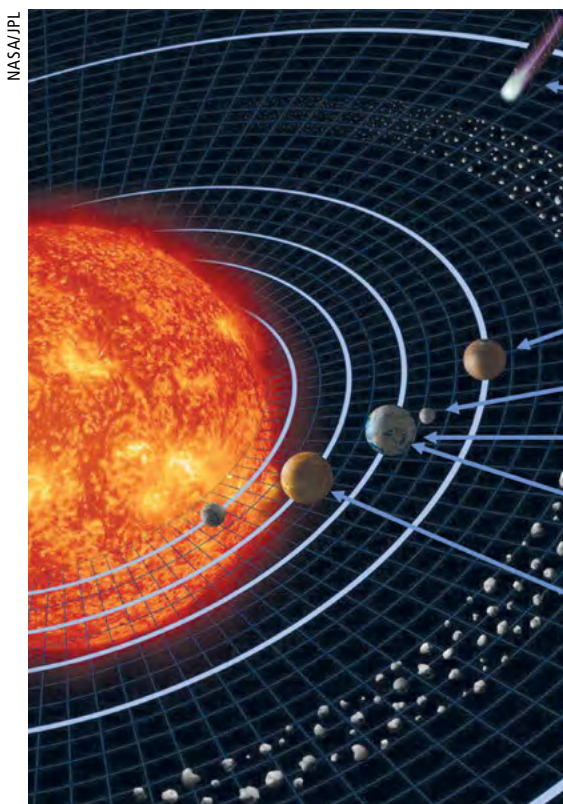
Eestis on pikka aega arendatud kosmosetehnoloogiat. Tõraveres on sellega tegeldud juba alates 1970. aastatest. Tõraverest pärit tele-radiomeeter SFM-4 startis kosmosesse 1971. aastal maailma esimese kosmosejaama Saljut 1 pardal. Seejärel instrumendid kuuel järgmisel Nõukogude Liidu kosmosejaamal. Viimane oli tele-radiomeeter FAZA, mida ajavahemikul 1987–2001 rakendati kosmosejaamas Mir.

Teine kosmosetehnoloogia laine algas Tõraveres 2007. aastal, kui Mart Noorma juhatusel hakati mõtlema Eesti esimese satelliidi ehitamise peale. Pärast satelliidi ESTCube-1 valmimist (õigupoolest selle lõppfaasis) algas töö järgmiste projektidega. Laiendati tööd kosmosetehnoloogia vallas, millest kasvasid välja ESTCube-2 (vt Hans Terasse artiklit selles Horisondis) ja teised projektid. Praegu arendatakse Tartu ülikooli Tartu observatooriumis Tõraveres missioone Veenusele, Maa lähiorbiidile, Kuule, Marsile, asteroidivöösse ja komeetide juurde. Kosmoseinstrumentide tehnoloogiaid rakendame ka Maal tööstusrobotika projektides.

Veenus

2020. aastal tuvastati Veenuse atmosfäärist fosfaani jääke (vt Mihkel Pajusalu artiklit „Kuidas otsida elu: miks fosfaan ja Veenus?“, Horisont 2021, nr 2). Huvi Veenuse vastu on viimastel aastatel üha kasvanud, sinna on plaanitud mitu kosmosemissiooni, näiteks NASA VERITAS (Venus Emissivity, Radio Science, InSAR, Topography, and Spectroscopy), DAVINCI+ (Deep Atmosphere Venus Investigation of Noble gases, Chemistry, and Imaging) ja ESA EnVision. Veenusele suunduva missiooniga on seotud ka Tartu observatoorium: osaleme missioonisarjas Venus Life Finder (VLF), mida juhib Massachusettsi tehnoloogiainstituut (MIT). Tasub märkida, et VLF on esimene teisele planeedile suunduvate kosmosemissioonide sari, mis ei olene kosmoseagentuuridest. Loodetavasti aitab see tulevikus kosmosele paremini ligi pääseda ja vähendab sõltuvust kosmoseagentuuridest.

VLF-i eesmärk on selle ja järgneva kümnendi jooksul uurida mitme sondiga Veenuse pilvedes toimuvat. Kuigi teadaolevalt on Veenuse pind eluks kõlbmatu, leidub seal pilvedes piirkond, kus temperatuur ja rõhk jäävad



Pika perioodiga komeedid:
komeedipüüdu F-klassi missioon (Eesti esimene süvakosmose instrument)

Asteroidivöö:
Multi-Asteroid Touringi kontseptsioon

Mars:
missioonijuhtimistarkvara

Kuu:
kuuluguri eeluuring Milremiga, kaamerad CrystalSpace'iga

Maa lähiorbiidid:
ESTCube-1 ja ESTCube-2

Maa pind:
tööstusrobotika, haridus jm valdkonnad

Veenus:
Venus Life Finderi missioonid

Tõraveres arendatavad kosmosetehnoloogia valdkonnad

vahemikku, milles on võimalik elu Maal. Seni on arvatud, et Veenuse pilvede happesus on äärmiselt suur ja seal leidub väga vähe kättesaadavat vett: levinud teooriate järgi koosnevad Veenuse pilvetilgad peaaegu kontsentreeritud väävelhapest. Ent need teooriad on kahtluse alla seadnud mõned uuemad modelleerimised, mille põhjal jääb happesus vahemikku, kus organismid oleks Maa peal suutelised elama. Peale selle on Veenuse atmosfäärist avastatud teisi anomaaliaid.

Ehkki elu pole Veenuselt leitud, toimub seal midagi, mida on praeguste teadmiste piires raske seletada. Näiteks neelavad Veenuse pilved ultraviolettkiirgust, mis võib viidata mingi orgaanilise ühendi olemasolule. Samuti on sealt peale fosfaani tehtud kindlaks ammoniaaki, hapnikku ja vesiniksulfiidi, mida seal leiduda ei tohiks, ning osa tilku ei ole sfäärilised, vaid keerukama kujuga, mis võib viidata tolmule tilkade sees.

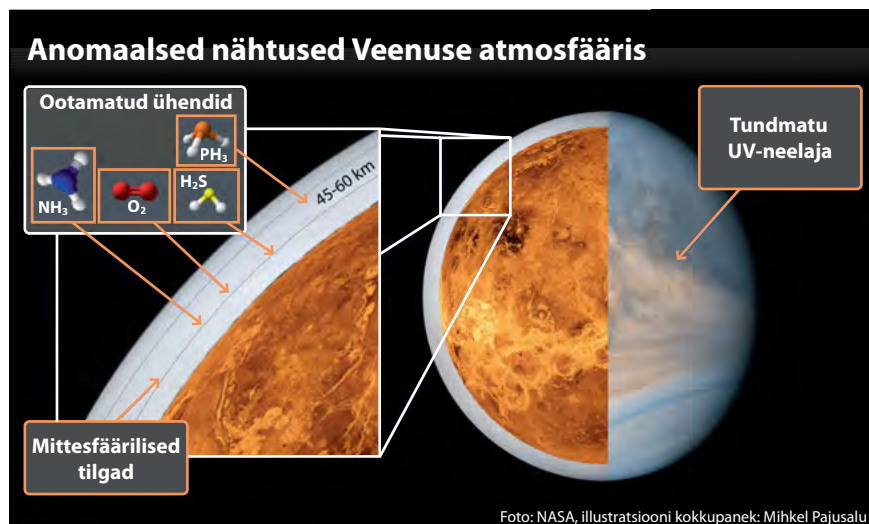


Foto: NASA, illustratsiooni kokkupanek: Mihkel Pajusalu

Seega on plaanis uurida Veenuse pilvi missioonide sarjas, et korraldada pilvedes järjest keerukamaid katseid. Juba järgmisel aastal peaks startima VLF-i esimene missioon, mida juhib USA erafirma Rocket Lab. Esimese missiooni pardal on seade, mis mõõdab tilkade helendust, suurust ja kuju. 2026. aastal peaks startima teine missioon, mis võimaldaks pilvetilku veelgi põhjalikumalt uurida. Tegemist on sondiga, mis langeb kas langevarjuga läbi Veenuse pilvede või hõljub seal õhupalliga. Teise sondi pardal suundub Veenusele ka Tartu observatooriumis arendatav happesuse sensor, mis mõõdab, kui happelised on Veenuse pilvetilgad. Sensor põhineb fluorestseeruvale värvainel, mis muudab oma helendust olenevalt keskkonnast. Kui kinnitada see värvaine pinnale sobivasse polümeerkihtesse, võimaldab see mõõta pilvetilkade tabamusi. Kolmas missioon peaks Veenuse atmosfäärist võetud proovi Maale tooma.

Praegu on Tartus arendatav sensor tööpõhimõtet demonstreeriva esialgse prototüübi faasis, alles hiljuti on selle kohta avaldatud esimene teadusartikkel. Eeluuringut rahastas USA erafond Breakthrough Initiatives, rahastust vahendas MIT. Järgmiseks hakkame ehitama seadme integreeritud prototüüpi, mille kõik komponendid on ligikaudu õige suurusega, kasutamaks neid missioonil.

Maa pind

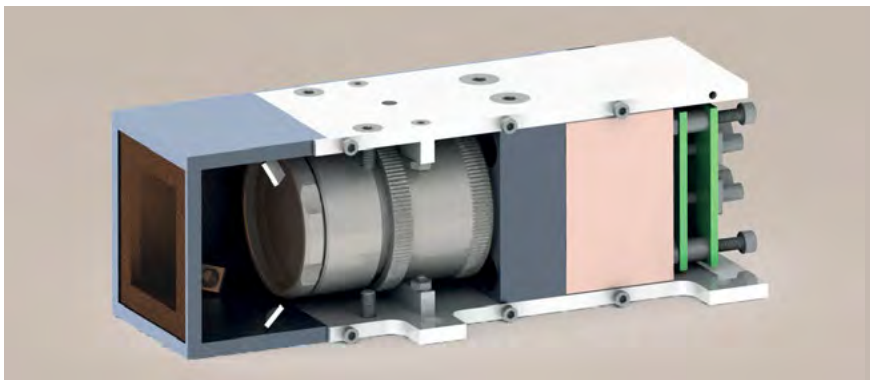
Katsetame kosmosetehnoloogiaid ka maapealse tööstuse huvides. Näiteks on meil Eesti ettevõtte Milrem Robotics tellimisel käsil projekt Nutikas Metsarobot (rahastab Euroopa regionaalarengu fondi kaudu riigi tugiteenuste keskus), mille raames arendame autonoomiamooduseid, istutamaks ja hooldamiseks metsa robotite abil. Lahendused, mida sellised süsteemid vajavad, on kasulikud ka kosmose kontekstis ja kasutavad ühtlasi ära kosmoses asuvat taristut, näiteks globaalsete positsioneerimisüsteeme. Projekti käigus oleme kasutanud näiteks satelliidipilte, et luua Tõravere piirkonnast 3D-mudel.

Uus suund Tõraveres on küberturvalisus, nimelt osaleme koos küberjulgeoleku ettevõttega Cybexer projektis, mille eesmärk on kasutada satelliiti ESTCube-2 küberturvalisuse mudelina. Küberturvalisus on olnud kosmose kontekstis alati tähtis ja see aina suu-



MIHKEL PAJUSALU

Õhupalliga sond Veenuse atmosfääris: üks võimalik kontseptsioon sondist, mille pardale peaks jõudma Tartu observatooriumis arendatav happesuse sensor



MIHKEL PAJUSALU

Veenusele saadetava happesuse sensori kavand

reneb, kui inimtegevus kosmoses laieneb.

Mõistagi asuvad Maa pinnal ka kõik Tartu observatooriumi laborid, kus kosmoseaparaate ehitatakse ja enne kosmosesse minekut katsetatakse. Tartu observatooriumi laborite teenuseid kasutavad paljud kliendid nii Eestist kui ka välismaalt, et katsetada näiteks aparaate vaakumis või mõõta, kui hästi need vibratsioonile vastu peavad.

Maa lähiorbiit

2013. aastal saatsime Maa lähiorbiidile satelliidi ESTCube-1, mis töötas seal 2015. aastani. Selle aasta lõpus antakse kosmosesse saatmiseks üle järgmine Eesti satelliit ESTCube-2. Vahepeal on arendatud välja kaamerad ESEO (European Student Earth Orbiter) jaoks ja praegu on käsil miniatuurse maavaatluskaamera Theia projekti lõpetamine.

Kuu

Taas on inimkonna huviorbiiti tõusnud Kuu: pärast poole sajandi pikkust vaheaega tehakse uuesti plaane saata inimene Kuule. Tänavu peaks startima NASA Artemis-1 mehitamata missioon, mida on tehniliste probleemide tõttu edasi lükatud. NASA missioonidega on läinud kaasa paljud erafirmad ja NASA ise on loonud programmi CLPS (Commercial Lunar Payload Services), mille eesmärk on rahastada erafirmade kosmosemissioone.

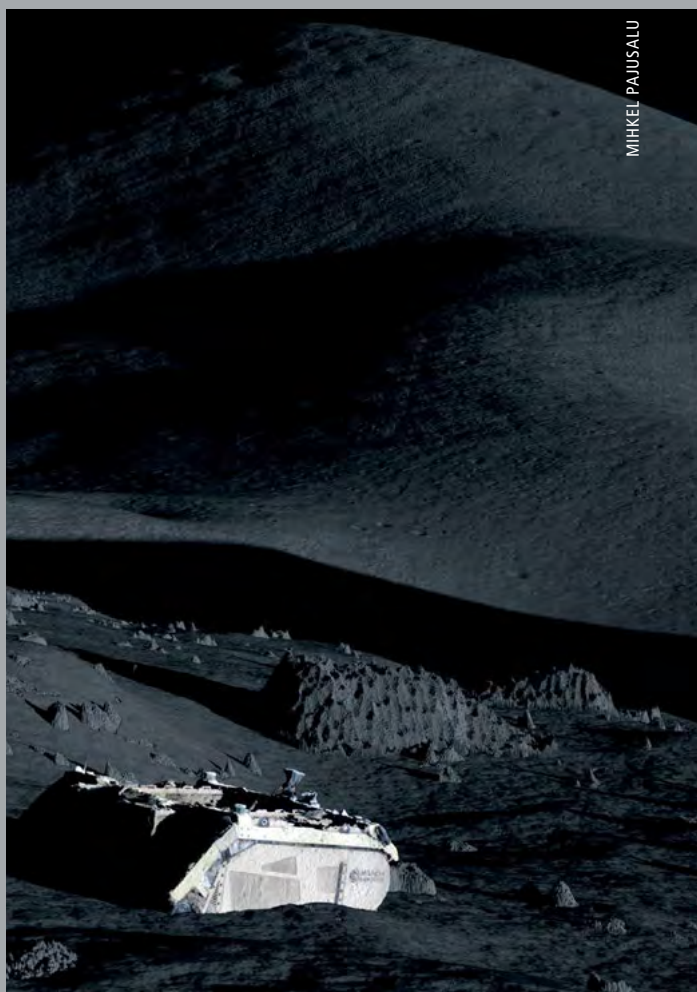
Kuule naasmise põhieesmärk on luua seal püsiasustus ja kasutada Kuud Marsile mineku tehnoloogiate katsetamiseks, sest Kuu on Maale märksa lähemal ning sinna jõuab kohale märksa odavamalt ja kiiremini.

Muu hulgas uuritakse Kuu pinnase kaevandamise tehnoloogiat, millega on seotud ka Tartu observatoorium. Nimelt valmisid 2021. aastal Crystal-



MIHKEL PAJUSALU

Illustratsioon Crystalspace'i Kuule minevatest kaameratest kulguri robotkäpa küljes koos valgusallikatega



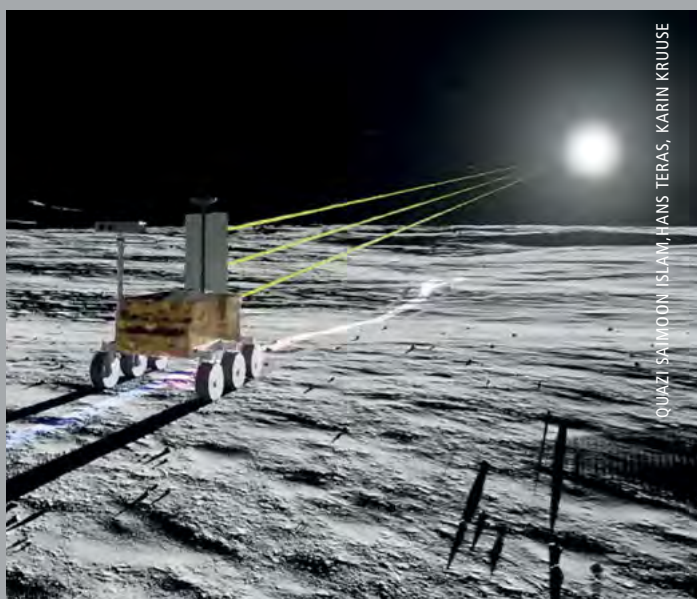
MIHKEL PAJUSALU

Milrem Roboticsi kulgur Kuul (illustratiivne)



LAILA KAASIK

Robotkulgur sõitmas kosmosemissioonide simuleerimise keskses



QUAZI SA'WOOD, ISLAM, HANS TERAS, KARIN KRUUSE

Väljund Kuu missioonide simuleerimise keskkonnast, mida Tartu observatooriumis arendatakse. Pildil sõidab kulgur mööda Kuu pinnale planeeritud trajektoori ja simuleeritakse päikesepaneelide energiatootlikkust

space'i, Tartu observatooriumi ja teiste Eesti firmade koostöös stereokaamerad, mis hakkavad jälgima Kuu pinda kaevandava robotkäe tegevust NASA eksperimendi SAMPLR käigus (pidid algal Kuule sõitma 2023. aastal, kuid praegu on start edasi lükatud).

Samal ajal on töötatud välja planeetaarkulgureid. Nõnda sai 2021. aastal alguse kuukulguritele mõeldud juhtimistarkvara projekt Milrem Roboticsi ja ESAGA (ESA projekt tuli Milrem Roboticsile, Tartu observatoorium oli alltöövõtja). Projekt lõppes edukalt 2022. aasta septembris. Valminud on tööriist, mis võimaldab planeerida robotite liikumist 3D-maastikumudelil, võttes aluseks kaugseireandmed. Katsetusi tegime nii Milrem Roboticsi robotitega kui ka simulaatoris. Praegu vormistatakse jätkuprojekti ja hangitakse raha.

Et asjaomast tööd toetada, avasime 2022. aasta juulis Tartu observatooriumi kosmosemissioonide simuleerimise keskuse, mida lühidalt nimetatakse „kosmosepunkriks“. Seni kasutuseta olnud ruum on renoveeritud ja põrand kaetud liivaga, et jäljendada Kuu pinnast. Ruumi seinad on värvitud mustaks ja üles pandud võimas valgusallikas, mis võimaldab tekitada väga tugevaid varje.

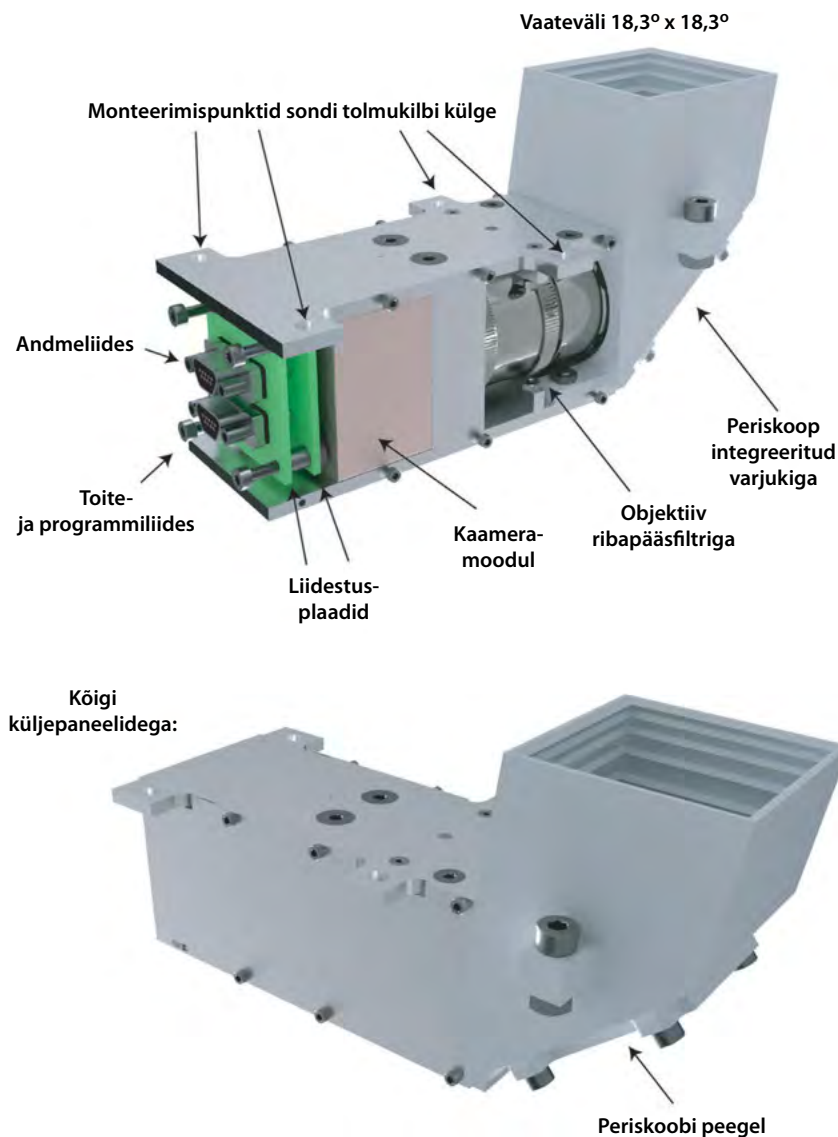
Kuna kõike ei saa Maa peal imiteerida, oleme arendanud Kuul liikumise simulaatorit, kasutades arvutimängumootorit Unreal Engine 5: Kuu pinna mudelid on kujundatud üheks suureks keskkonnaks ja teisedki keskkonnaparameetrid seatud Kuu omade sarnaseks. Ühtlasi on loodud kuukulguri mudel, mida saab juhtida missiooniplaneerimistööriistaga.

Marss

Algse plaani järgi pidi juba sel aastal Marsile lendama Euroopa Marsi missioon ExoMars 2022, millega pidi kaasa minema kulgur Rosamund Franklin. Missioon pidi toimuma koostöös Venemaaga ja on praegu sõja tõttu edasi lükatud. Eeldatavasti saab see siiski kunagi teoks, kas siis üksnes Euroopa projektina või koostöös mõne välispartneriga.

Kuu-missioonide juhtimise tarkvara arendades oleme suhelnud „ExoMars 2022“ seltskonnaga ja võimalik, et meie tarkvara jõuab sellelegi missioonile. Marsi missiooni planeerimine ja marsruutide valik oleneb ju samuti seireandmetest.

OPICu 3D mudel koos olulisemate komponentidega



MIHKEL PAJUSALU, IAROSLAV IAKUBIVSKIY

Komeedid

Tartu observatooriumi teadlased on alates 2018. aastast osalenud Comet Interceptor'i ehk komeedipüüduri missiooni ettevalmistamisel. 2019. aastal valis ESA selle missiooni välja arenduse tarbeks ja 2022. aastal suvel kinnitati lõplikult kõigi sondide ehitamise kava. Praeguse seisuga startib kanderakett selle missiooniga 2029. aastal.

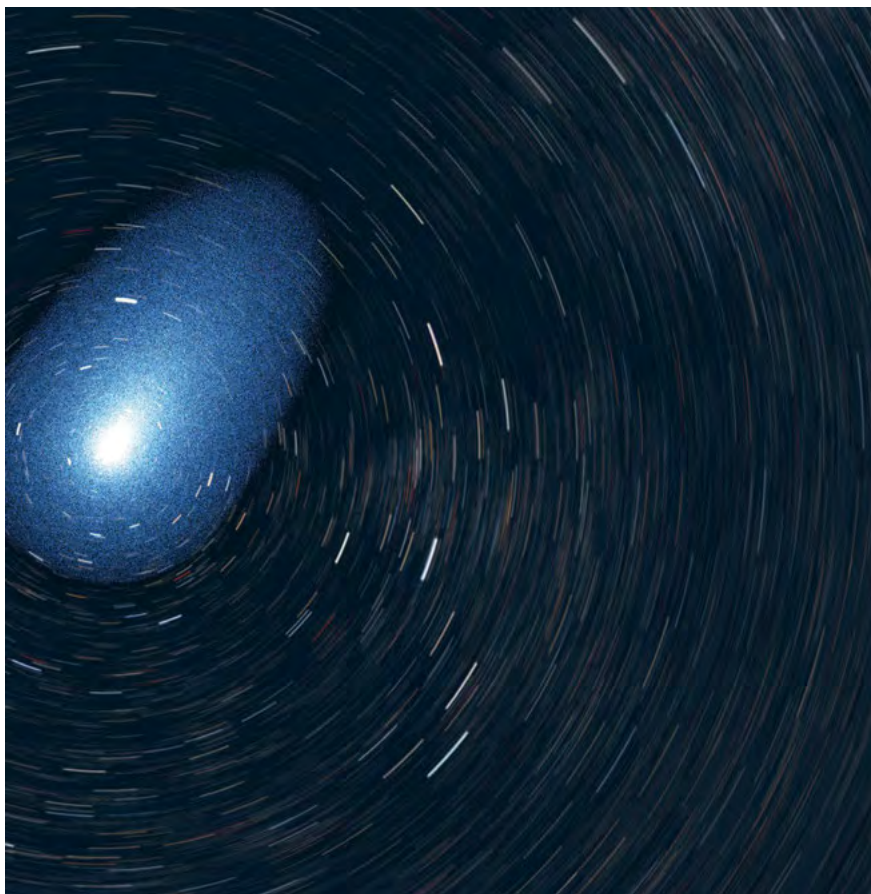
Tartus arendatakse selle missiooni jaoks kaamerasüsteemi OPIC (Optical Periscopic Imager for Comets). Süsteemi nimetus on inspiratsiooni saanud Ernst Öpikust, kelle nime kandvast Öpiku-Oorti pilvest võib pärineda ka missiooni sihtmärk. See on esimene kord, kui ESA teadusmissiooni jaoks arendatakse riistvara Eestis, samuti esimene kord, kui siin arendatakse

süvakosmosesse mineku instrumenti (kaugemale kui Maa-Kuu süsteem).

Komeedipüüduri missiooni eesmärk on uurida objekti, mis siseneb esimest korda Päikesesüsteemi sisealadele ja mida Päike seega esimest korda mõjustab. Sellised objektid võivad olla säilinud üsna muutumatu kujul oma tekkest Päikesesüsteemi algusaegadel, olles justkui ajakapslid toonasest ajast.

Missioon koosneb kolmest sondist, mis lendavad objektist mööda samal ajal. Kaks neist (missiooni emalaev ja sond B2) on Euroopa kosmoseagentuurilt, üks (sond B1) aga Jaapani kosmoseagentuurilt. OPIC on sondi B2 pardal, mis pannakse möödalennu stabiliseerimiseks pöörlema nagu güroskoop.

Missiooni muudab keeruliseks väga



MIHKEL PAJUSALU


suur möödalennukiirus, mis võib olla isegi kuni 70 km/s. Selliste kiiruste korral on isegi mikroskoopilisel tolmuteral sama palju energiat kui püssikuulil, mis tähendab, et kosmoselaev võib iga hetk hävida. Suure kiiruse tõttu on ka möödalend väga lühike. Kommunikatsiooniviivituse tõttu ei saa operatsioone juhtida otse Maalt, seetõttu peab pildistamine olema täiesti autonoomne.

Seepärast keskendubki enamik OPIC-u arendusi autonoomiaalgoritmide väljatöötamisele ja katsetamisele. Oleme välja arendanud ka simulatsioonisüsteemi SISPO (Space Imaging Simulator for Proximity Operations), millega saame enne lendu simuleerida realistlikke pilte ja seejärel kontrollida nendega algoritmide töökindlust.

Asteroidid ja muu

Peale selle arendatakse Tõraveres hajutatud missioone asteroidide juurde ning tegeldakse ka teiste teemadega, mis vaatavad kaugemale tulevikku ega ole praegu käsil eriti pingeliselt. •

Simuleeritud OPIC-u kaamera foto komeedile lähenedes. Kosmosesondi pöörlemise tõttu muutuvad taustal olevad tähed triipudeks

 **Mihkel Pajusalu** (1986) on Tartu ülikooli Tartu observatooriumi kosmosetehnoloogia osakonna juhataja ja kosmosetehnoloogia kaasprofessor.



Vandeadvokaat Jaan Teemant (1872–1941?) oli neljakordne riigivanem ja pikaajaline Eesti tegevpoliitik. Ta oli ka 1905. aasta revolutsiooni käremeelne rahva juht, poliitiline pagulane ja vabadussõjalaste kaitsja. Tema CV-se mahtusid veel ametid nagu Maanõukogu aseesimees, Eesti Vabariigi prokurör ja Eesti Vabariigi usaldusmees Saksa usaldusvalitsuse juures, kui nimetada ainult mõned. Silmapaistvad positsioonid kombineerituna Teemanti jõulise natuuri ja keevalise temperamendiga, millest said osa kõik kaasaegsed, teevad temast Eesti Vabariigi rajajate põlvkonna ühe omapärasema ja värvikama isiksuse.

Ajaloodoktor Mari-Leen Tammela biograafia Jaan Teemantist on esimene põhjalik akadeemiline ülevaade seni peaaegu unustusehõlma vajunud riigimehe elust ja tegevusest. Mitmekülgse allikalise materjali põhjal kirjutatud elulugu pakub Eesti ajaloo 20. sajandi tõmbetuulte taustal ja Teemanti poliitilise tegevuse kõrval sissevaadet ka tema ühiskondlikku tegevusse, suhtlusringkonda ja perekonna ellu.



Rohkem trükiseid Rahvusarhiivi kirjastuselt leiate

www.ra.ee/pood

autoriõigus MTÜ Loodusajakiri

ANDI HEKTOR, KRISTJAN KANNIKE

KOSMILISTE MÜÜONITEGA SAAB MATERJALE LÄBI VALGUSTADA

Tänapäeval kulub sageli hulk aastakümneid, enne kui mõni ulmeline eesliinitehnoloogia võetakse tavakasutusse. Ent siinsamas Eestis võib see üllatuslikult juhtuda palju kiiremini. Aastakümne tagasi Šveitsis osakestefüüsika tippkeskuses CERN tarvitusele võetud tipp tehnoloogia jõuab kodumaises iduettevõttes GScan turva- ja ehitusseadmesse juba aasta lõpuks ning sel kümnendil ka meditsiinivaldkonda. Need seadmed – kosmilise kiirguse tomograafid ehk skannerid – valgustavad asju läbi kosmiliste müüonite abil.

Kui sa, lugeja, sirutad välja peopesa, läbivad seda igas sekundis mõned kosmilised müüonid. Need osakesed ei pärine otse kosmosest, vaid tekivad atmosfääri ülemistes kihtides, kui kosmilised protonid põrkuvad atmosfäärigaaside aatomitega. Kuigi paigal seisa müüoni eluiga on tüürike, kõigest 2,2 mikrosekundit, jõuavad ligi valguse kiirusega lendavad osakesed aja relativistliku aeglustumise tõttu siiski maapinnale ja kõige energilisemad neist isegi kilomeetrite sügavusele maa alla.

Aastal 1936 uurisid Ameerika füüsikud Carl D. Anderson ja Seth Neddermeyer tollal väga salapäraseid kosmilisi kiiri. Nad avastasid ühe raskema laetud osakese, mille liikumistrajektor kõverdus magnetväljas tunduvalt vähem kui elektronide jäetud jäljed. See kopsakas elektroni sugulane sai lõpuks nime müüon.

Peale 207 korda suurema massi näib müüon kõige muu pooldest olevat igati elektroni sarnane: tal on sama elektrilaeng ja spinn. Muide, just suurema massi tõttu on müüon väga põnev osake: see võib anda meile märku seni tundmatutest osakestest! Oleme Horisondis kahel korral kirjutanud sellest, et müüoni magnetvälja tugevuse ja spinni suhe näikse erinevat osakestefüüsika standardmudeli ennustuse omast (vt Horisont 2020, nr 1 ja 2021, nr 3).

Kopsakas mass on kasulik ka muus mõttes. Tänu sellele suudavad müüonid hästi läbistada materjale ja nende saab nagu röntgenikiirtega läbi valgustada esemeid ja inimesi. Näiteks lennujaamade röntgenskanerites kasutatav kiirgus neeldub sentimeetrisest teraskihis. Võimsamate gammaskannerite kiirgus, millega riigipiiridel uuritakse näiteks merekonteinereid, neeldub mõnekümne sentimeetri paksuses terase-, vedeliku- ja klaasikihis.



Eesti ettevõtte GScan ja meie ülikoolide teadlaste loodud maailma esimene kompaktne atmosfäärikiirguse tomograaf, millel on suur nurklahutus. Erinevalt eelkäijatest saab sellega läbi valgustada ka kergetest materjalidest esemeid, näiteks pappkarpe, ja nende koostist kindlaks teha. Siniselt kumavad kiud on tehtud valgust juhtivast plastist, milles tekib laetud osakese läbimineku pisike valgussähvatus. Nendega saab mõõta looduslikku müüoni- ja elektronivoogu, mis läbib uuritavat objekti. Selles voos toimunud väikeste muutuste abil on võimalik näha esemete sisse ja määrata kindlaks nende koostis. Seadme kokkupanekut ja katsetamist juhtisid aastal 2020 kiirgusfüüsik Madis Kiisk (GScani ja Tartu ülikooli füüsika instituudi esindajana) ja tehnoloogiaekspert Märt Mägi (GScani esindajana).

See-eest müüonid suudavad edukalt läbistada ka sadu meetreid betooni, terast ja vedelikke.

Suure energiaga elektronid lähevad ainekst läbi üsna halvasti, kuna nad kiirgavad aatomituumade elektriväljas oma energia üsna kiiresti ära. Müüoni massiivsuse tõttu kaotab see osake aines energiat aeglaselt, peaaegu kaks miljardit korda aeglasemalt kui elektron! (Täpsemalt, energiakadu on pöördvõrdeline osakese massiga neljandas astmes.) Elektronidega saab läbi valgustada õhukesti materjale, aga kosmilisi müüoneid leidub isegi kaevandusesügavustes.

Gammaskannerite kiirgus, millega riigipiiridel uuritakse näiteks merekonteinereid, neeldub mõnekümne sentimeetri paksuses terase-, vedeliku- ja klaasikihis. Müüonid suudavad edukalt läbistada ka sadu meetreid betooni, terast ja vedelikke.

Tegelikult ei koosne kosmiline kiirgus maapinnal ainult müüonitest. See on segu müüonitest ja müüonite tekitatud elektronidest ja positronidest. Igas minutis läbib ruutmeetrit pinnast umbkaudu 10 000 müüonit ning umbes sama palju elektrone ja positrone. Seda müüonite, elektronide ja positronide segu kutsutakse ka looduslikuks atmosfäärikiirguseks. Kui müüonite energia on tavaliselt 1–5 gigaelektronvolti (GeV), siis elektronidel on see üldjuhul 10 kuni 100 korda väiksem. Võrdluseks, röntgenlambivalgustusel on kiirte energia üle 1000 korra väiksem kui kosmilise müüoni oma.

Kuna müüonid neelduvad halvasti ja n-õ saavad alla üsna juhuslikest suundadest taevas, on müüonlambivalgustus keerulisem röntgeni omast. Röntgenikiirguse korral on täpselt teada kiirguse allika asukoht ja mõeldakse selle neeldumist. Selle põhjal pannakse enamasti kokku kahemõõtmeline pilt. Tuletagi meelde viimast kopsupilti, mille olete arsti (radioloogi) juures teinud. Müüonite abil saab pilti teha kahel moel: mõõtes müüoni-

te väga väikest neeldumist või mõõtes müüonite liikumise väikseid muudatusi läbivalgustatava objekti sees. Esimene moodus võtab rohkesti aega, sest neeldumine on väike ja seega tuleb mõõta väga palju müüoneid. Esimesed sellised katsetused tehti juba 1950. aastatel ühes Austraalia kaevanduses. Müüoneid tuli püüda kuude kaupa, et saada üks hägune „foto“ kaevanduskäikudest. Nüüd kasutatakse sama meetodit näiteks Egiptuse püramiidide, vulkaanide jms uurimisel.

Teise meetodi, s.o müüontomograafia, esitasid alles aastal 2003 Los Alamoses füüsikud Konstantin N. Borozdin ja kaastööliselised. See meetod vajab ulmeliselt täpset, aga samas odavat laetud osakeste detektorit. Näiteks kuupmeetriselise objekti läbivalgustamiseks tuleks see katta vähemalt ülevaalt, alt ja kahelt küljelt detektorplaatide ehk hodoskoopidega, et mõõta täpselt ära objekti sisenevate ja sealt väljuvate müüonite liikumine. Seega peaks hodoskoopide pindala olema tervelt kaheksa ruutmeetrit. Tõlkal oleks selline seade maksnud mõnikümmend miljonit eurot! Ühtlasi peab seade suutma eristada müüoneid ja elektrone, kuna muidu tekitaksid elektronid detektoris segavat müra. See tõstaks aga veelgi seadme hinda. Viimaks on müüontomograafia korral vaja lahendada väga keeruline matemaatiline arvutusülesanne, et panna mõõdetud andmetest kokku objekti kolmemõõtmeline pilt. Aastal 2003 oli selleks vaja väikest superarvutit.

Huvi säärse seadme loomise vastu oli aga väga suur. Erinevalt röntgenikiirgusest pole selline tomograaf inimesele ohtlik ja annab palju rohkem infot läbivalgustatavate materjalide kohta. Hoolimata kõigist raskustest suutsid Ühendriikide teadlased juba 2008. aastal luua esimese katseseadme. Aastal 2015 sai sealne ettevõtte Decision Sciences valmis esimese müüigiversiooni. Siiski on tegu majasuuruse masinaga, mis läheb maksma 10 miljonit dollarit ja selle paigaldus omakorda palju miljoneid.

Meie õnneks pole teaduse ja tehnoloogia areng lineaarne. Aastatel 2010–2015 uuendati CERN-is eksperimenti LHCb. Selle jaoks töötasid kaks ettevõtet välja plaststintillaatorkiud – odavad peenikesed valgusjuhid, mis tuvastavad laetud osakese väikse valgussälvatusega ja juhivad tekkiva valguse kiu otsas asuvasse valgussensorisse. Jõudsalt arenesid ka arvutustehnoloogia, masinõpe ja tehisisintellekt. „Heureka!“ ütlesid seepeale mõned

Eesti teadlased, tehnoloogid ja ettevõtjad (sh üks selle kirjutise autor Andi Hektor), „kui paneks kaks asja kokku ja ehitaks ühe kompaktsel, kerge ja täpse kosmilise kiirguse tomograafi!“

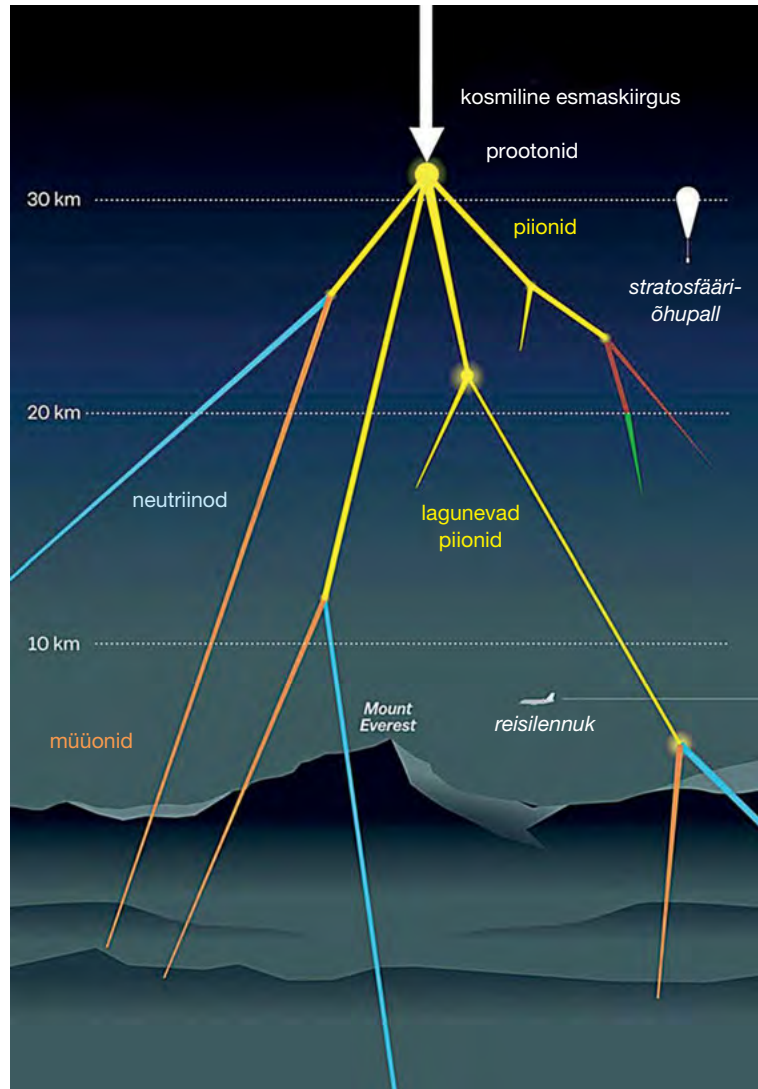
Nii loodi aastal 2018 iduettevõtte OÜ GScan ja algas raske teekond tähtede ehk siis seadme loomise poole. Kõigest kaks aastat hiljem sai valmis esimene laboriversioon. Ent iga arendaja teab, et see ei ole mitte finiš, vaid startijoon. Nüüd tuleb luua tootmistehnoloogia ahel, läbi rääkida sisendkomponentide tootjatega nii tehniliste kui ka rahaliste detailide üle, optimeerida ja disainida seadet lõppkasutaja tarvis jne. Et anda lugejale ettekujutus: praeguseks töötab kõige selle kalal üle 30 inimese, palkadele ja materjalidele on kulunud üle nelja miljoni euro. Esimest tööstuslikult toodetud

tomograafi loodame näha 2023. aasta esimesel poolel.

Tuleb ülipõnev aasta, kus meie osakestefüüsikute, elektroonikute, inseneride, matemaatikute, IT- ja andmeteaduse spetsialistide ning projekti- ja ärijuhtide töö jõuab lõpuks sinnamaale, kus me saame ühe päris suure objekti – miks mitte inimese – oma masinasse pista ning täiesti ohutult ja looduslikult läbi valgustada! •

Andi Hektor (1975) on ettevõtte OÜ GScan juhatuse esimees ning keemilise ja bioloogilise füüsika instituudi vanemteadur. Ta tegeleb astro-osakestefüüsika ja müüontomograafiaga.

Kristjan Kannike (1978) on keemilise ja bioloogilise füüsika instituudi vanemteadur. Tema teadustöö põhisuunad on osakestefüüsika, kosmoloogia ja varajase universumi füüsika.



Kosmiline esmaskiirgus koosneb prootonitest, elektronidest, röntgeni- ja gamma-kiirtest. Kui esmaskiirguse prootonid pörkuvad lämmastiku või hapniku aatomituumadega, siis tekivad piionid, mis omakorda lagunevad müüoniteks ja neutriinodeks. Maapinnani jõudev teisene ehk sekundaarne kosmiline kiirgus on seega segu müüonitest, elektronidest, positronidest ja neutriinodest. Seda kutsutakse ka looduslikuks atmosfäärikiirguseks

TAAVI TUVIKENE

MAAILMA SUURIMAD OPTILISED TELESKOOBID AVARDAVAD ARUSAAMA UNIVERSUMIST

Alates leiutamisest on teleskoobid olnud kogu inimkonnale olulised, et uurida ja mõista meie universumit. Viimase saja aasta vältel on suurima optilise teleskoobi tiitel kuulunud viiele vaatlusinstrumendile: 1917. aastal tööd alustanud 2,54-meetrise Hookeri teleskoobile järgnesid 1948. aastal 5,1-meetrine Hale'i teleskoop, 1976. aastal 6-meetrine Bolšoi Teleskop Alt-azimutalnõi (BTA-6), 1993. aastal 10-meetrine Keck 1 ja 2009. aastal 10,4-meetrine Gran Telescopio Canarias (GTC). Lähema viie kuni kümne aasta jooksul lisandub uus erakordselt suurte teleskoopide põlvkond, mis võimaldab vaadelda veel kaugemaid ja nõrgemaid valgusallikaid, jäädvustada veelgi teravamaid kujutisi ja seeläbi meie arusaamist universumist märgatavalt avardada.

Teleskoobi suurusest rääkides tuleb tegelikult silmas pidada kahte mõõtu: valgust koguva elemendi läbimõõtu ja pindala. Kui teleskoobi peapeegel on ringikujuline, on rehendus lihtne. Kui aga peapeegel koosneb mitmest suuremast üksikpeeglist või suurest hulgast väiksematest paneelidest, tuleb arvesse võtta ka peapeegli kuju. Nimelt oleneb teleskoobi lahutusvõime läbimõõdust: kui peapeegli läbimõõt ühest servast teiseni on kaks korda suurem, saab taevast eristada objekte, mille nurkkaugus üksteisest on kaks korda väiksem. Näiteks vaadeldes kaugelid galaktikaid, saame suurema teleskoobiga detailsema pildi. Teleskoobi küündivus oleneb jällegi peegli pindalast: kaks korda suurema peeglipindalaga teleskoop võimaldab tähistaevas vaadelda kaks korda nõrgemat objekti.

Mis siis takistab ehitada järjest suuremaid teleskoobe? Piirid seavad tehnoloogilised raskused ja rahakoti pakus. Tutvume kõigepealt praegusaja suurimate teleskoopide põlvkonnaga ning seejärel vaatame, kuidas õnnestub teha samm veelgi suuremate vaatlusinstrumentide poole.

Väga suured teleskoobid

Tänapäeva suurimad teleskoobid on 8–10-meetrise peapeegliga. Selliseid teleskoobe on maailmas kolmteist ja 2023. aastal alustab tööd neljateistkümnes. Lähtudes Euroopa lõuna-

observatooriumi (ESO) lipulaeva Very Large Telescope'i (VLT) nimetusest, võime neid kõiki kutsuda väga suurteks teleskoopideks.

Selleks et teleskoobiga saadav kujutis oleks võimalikult hea, peab peegli pind olema erakordselt sile ja peegli kuju püsima ideaalilähedasena ka siis, kui teleskoopi eri nurkade all pööratakse. Seega peab konstruktsioon olema piisavalt jäik, mis omakorda tähendab suuremat kaalu. Suurte üksikpeeglite valmistamise tehnoloogiline piir on ligikaudu kaheksa meetrit, sest suurem peegel kaaluks ebapraktiliselt palju. Suurimate monoliitsete peeglitega teleskoobid on USA-s Arizona osariigis Mount Grahami mäetipus asuv Large Binocular Telescope (LBT), millel on kaks 8,4-meetrist ja 16 tonni kaaluvat peeglit, Hawaiiil Mauna Kea mäetipus paiknev Jaapani Subaru teleskoop, mille peapeegel on 8,2-meetrise läbimõõduga ja kaalub ligi 23 tonni, ning neli Tšiili Paranal observatooriumi VLT koosseisu kuuluvat 8,2-meetrist teleskoopi. Vaid kümne sentimeetriga jäävad maha 8,1-meetrised Gemini North ja Gemini South, millest esimene asub Hawaiiil ja teine Tšiilis.

Veelgi suurema peapeegli saamiseks on olemas elegantne moodus: peegel tuleb kokku monteerida väiksematest osadest. Enamasti kasutatakse ühe- kuni kahemeetrise läbimõõduga kuusnurkseid segmente. Näiteks 10,4-meetrise GTC peapeegel koosneb 36 kuusnurksest segmentist, millest igaüks on 1,9-meetrise läbimõõduga, ning Kecki kahe teleskoobi peapeeglid on samuti kokku pandud 36 segmentist, igaüks 1,8-meetrise läbimõõduga. Selliselt saab valmistada õhemaid peegleid ja kogukaal tuleb väiksem, jäädes näiteks Kecki teleskoopide puhul 15 tonni ligidale.

Tänapäeva suurimad teleskoobid on 8–10-meetrise peapeegliga. Selliseid teleskoobe on maailmas kolmteist ja 2023. aastal alustab tööd neljateistkümnes.

Kunstniku nägemus Euroopa lõuna-observatooriumi rajatavast teleskoobist ELT (Extremely Large Telescope). 2027. aastal loodetakse esimene valgus püüda Tšiilis Atacama kõrbesse Cerro Armazonese mäetippu kerkiva 39,3-meetrise teleskoobiga. Sellest saab maailma suurim optiline ja infrapunasilm kosmosesse

Teleskoobi maksumust saab vähendada erilise disaini abil. USA-s Texase osariigis McDonaldi observatooriumis asuv Hobby-Eberly teleskoop (HET) konstrueeriti nõnda, et saaks koguda võimalikult palju tähevalgust võimalikult väikese maksumusega. HET-i peapeegel on valmistatud 91 ühemeetrise läbimõõduga kuusnurksest segmentist, üldmõõtudega 11,1 × 9,8 meetrit ja efektiivse avaga 10 meetrit. Suurim kokkuhoid tuleneb asjaolust, et HET-i peapeegel on fikseeritud kindla nurga all maapinna suhtes ja seda saab pöörata ainult ümber vertikaalse telje. Võrreldes teiste sama suurte teleskoopidega õnnestus kulusid kokku hoida umbes viis korda, kuid järeleandmisi tuli teha vaadeldavas taeva-alas ja kujutise kvaliteedis. Viimane ei ole spektroskoopiliste vaatluste korral eriti tähtis. Täpselt samasugust tehnoloogiat kasutati Aafrika suurima teleskoobi, Lõuna-Aafrika Vabariigis asuva Southern African Large Telescope'i (SALT) ehitamisel.

Et säilitada suurte peeglite täpset kuju, rakendatakse aktiivoptikat. Peapeegli tagaküljele paigaldatakse aktuaatorid, millest igaüks muudab vajadust mööda õige pisut peegli kuju. Nii kompenseeritakse teleskoobi asendist, temperatuuri muutumisest või muudest teguritest tingitud deformatsioone. Õigupoolest tegigi aktiivoptika kasutuselevõtt võimalikuks kuuest meetrist suuremate teleskoopide ehitamise.

Kuid isegi ideaalse peegli teleskoopi mõjutab Maa atmosfäär, mille turbulentsne liikumine paneb tähed vilkuma ja moonutab kujutisi. Suured teleskoobid rajatakse parima astrokliimaga paikadesse, kus taevast on peaaegu kogu aasta jooksul selge ja tähekujutised võimalikult teravad. Sellised paigad on enamasti ookeanide läheduses olevad mäetipud, nagu Mauna Kea Hawaii saarestikus, Cerro Armazones ja Cerro Paranal Tšiilis või Kanaaride saarestikku kuuluva La Palma vulkaaniline tipp Roque de los Muchachos. Veelgi teravama kujutise saamiseks on välja töötatud adaptiivoptika meetod: laserikiirtega tekitatud tehistähtede järgi deformeeritakse üht teleskoobi väiksematest peeglitest niimoodi, et

Aktiivoptika kasutuselevõtt on teinud võimalikuks kuuest meetrist suuremate teleskoopide ehitamise.

teleskoobi fookuses tekib ilma moonutusteta kujutis. Nõnda on tänapäeval võimalik saavutada teleskoobi pea-peegli läbimõõdule vastav lahutusvõime.

Selleks et astronoomid saaksid huvipakkuvaid objekte uurida, ei piisa üksnes suurepärasest kujutisest, vaid tarvis on ka seadmeid, millega fookusesse kogutud valgust analüüsida ja jäädvustada. Sellised instrumendid on spektrograafid, millega saab uurida

valguse intensiivsust eri lainepikkustel, ja kaamerad, mis jäädvustavad vaateväljas olevad kujutised, enamasti mitmesuguseid filtreid kasutades. Suurteil teleskoopidel on tihti terve hulk instrumente ning tavapärastelt on igaühel oma lühendnimetus. Kõigi nende instrumentide tutvustamiseks siinse artikli mahust paraku ei piisa.

Suurte teleskoopide loetelust ilmneb, et mõni neist on rajatud kahe- või lausa neljakaupa. See ei ole sugugi



TAAVI TUVIKENE

Lõuna-Aafrika vabariigis asuva 10-meetrise teleskoobi SALT kuppel on avatud vaatlusteks ja särab kuuvalguses



ESO / G. HÜDEPOHL

Tšiilis Paranalil mäel asuvat Euroopa lõunaobservatooriumi teleskoopi VLT peetakse praegu parimaks maapealseks kohaks, kus teha astronoomilisi vaatlusi. Fotol on näha VLT nelja 8,2-meetrise peateleskoopi, nelja väiksemat 1,8-meetrise abiteleskoopi ja uuringuteleskoopi VST (parempoolne mastiga hoone)

ELT ja teiste maailma suurimate teleskoobikuplite suuruste võrdlus



juhuslik: taotlus on üksikute teleskoopide valgus ühte instrumenti kokku suunata. Sedasi loodud süsteemi nimetatakse interferomeetriks ja sel juhul on saavutatav lahutusvõime määratud süsteemi kahe kõige äärmise teleskoobi vahelkaugusega. Näiteks ESO VLT neli 8,2-meetrist või nende kõrval neli liigutatavat 1,8-meetrist teleskoopi saab ühendada VLTI interferomeetriks, kus teleskoopidevahelised kaugused ulatuvad 8 meetrist 205 meetrini. Kaks teineteise kõrval olevat Kecki teleskoopi saab ühendada 85-meetrise baasiga interferomeetriks ja kahe peeglina LBT võimaldab kasutada 22,8-meetrist baasi. Interferomeetritega tehakse selliseid uurimusi, kus on vaja suurt lahutusvõimet, aga suur kүүndivus ei ole esmatähtis. Näiteks uuritakse tähti ümbritsevat tolmu, planeetide teket gaasi ja tolmu sisaldavates ketastes, tähtede pinnastruktuuri ning aktiivseid galaktikatuumi.

Teedrajavad uurimused

Ligi kolme aastakümne jooksul, mil 8–10-meetriste teleskoobid on astronoomide käsutuses olnud, on nendega tehtud arvestataval hulgal teedrajavaid uurimusi. Iga suure teleskoobi portfooliosse kuulub avastusi, mida uhkusega oma teleskoopi tutvustavates materjalides eksponeeritakse. Näiteks on VLT-ga tehtud esimene pilt eksoplaneedist ja registreeritud esimene spekter Maa-sarnase planeedi atmosfäärist. Kecki teleskoobiga on tehtud esimene pilt tähe ümber tiirlevast planeedisüsteemist ja pildistatud Päikese-

Ligi kolme aastakümne jooksul, mil 8–10-meetriste teleskoobid on astronoomide käsutuses olnud, on nendega tehtud arvestataval hulgal teedrajavaid uurimusi.

süsteemi äärealadel tiiruvat kääbusplaneeti Eris koos tema kaaslasega. Nii VLT-ga kui ka Keckiga on vaadeldud tähtede liikumist Linnutee keskel oleva ülimassiivse musta augu ümber ja panustatud kaugele supernoovade vaatlustesse, mille põhjal on tehtud kindlaks universumi kiirenev paisumine. Tänu suurele valguskogumismõjule on GTC teleskoobiga tehtud kõige sügavam pilt nõrkadest galaktikatest, kүүndides 31,5 tähesuuruseni ruutkaaresekundi kohta. Need on vaid väga üksikud näited; hindamiseks teleskoopide kogupanust, peaks seda käsitlema statistiliselt.

Üks võimalus hinnata teleskoobi töö tulemuslikkust on lugeda kokku kõik teadusartiklid, mis on avaldatud konkreetse teleskoobiga kogutud andmete põhjal. Mõju hindamiseks võib kokku rehkendada ka viited nendele artiklitele mitme aasta jooksul: need näitavad seda, kui palju teised astronoomid on neid artikleid oma töös kasutanud. See kõik on vaevaline, nõuab tuhandete artiklite läbitöötamist. Üks selline uurimus on avaldatud 2010. aastal, vaadeldud on 2008. aastal ilmunud artikleid. Selgus, et kõige produktiivsem maapealne observatoorium oli VLT, talle järgnes Keck. Sama tulemus on saadud 2011. aasta uurimuses ajavahemiku 2000–2009 artiklite kohta, nimelt osutus taas produktiivsemaks VLT, ehkki Kecki puhul oli tootlikkus ühe teleskoobi kohta pisut parem. Gemini ja Subaru jäid liidritest veidi maha, kuid HET andis oma suuruse kohta väga vähe artikleid. Ehkki uuemaid sellelaadseid uurimusi ei ole astronoomia- kirjanduses silma hakanud, kinnitab VLT koduleht, et VLT on ka praegusel ajal kõige produktiivsem maapealne observatoorium: keskeltläbi üle ühe eelretsenseeritud teadusartikli päevas.

Iga avastuse ja uurimusega kaasnevad uued küsimused, ent kõigile neile

ei saa praeguste teleskoopidega vastuseid. Ligikaudu 20 aastat on astronoomid pidanud aru järgmise põlvkonna teleskoopide rajamise üle. Viimase kümmekonna aasta jooksul on see olnud üks maapealse astronoomia arendamise peaeesmärke.

Erakordselt suured teleskoobid

Järgmise põlvkonna suurimad teleskoobid on kõik üle 20-meetrise peapeeglina. Ehitusjärgus või ettevalmistamisel on kolm uut teleskoopi: Euroopa lõunaobservatooriumi 39,3-meetrine Extremely Large Telescope (ELT) Tšiilis, USA eestvõttel 24,5-meetrise avaga Giant Magellan Telescope (GMT) samuti Tšiilis ning Hawaiiile soovitakse ehitada 30-meetrine Thirty Meter Telescope (TMT). Jällegi sobib kasutada ESO ELT nimetuse otsetõlget ning nimetada kogu rajatavat järgmist põlvkonda erakordselt suurte teleskoopide põlvkonnaks.

Miks on tulevased suurimad teleskoobid just selliste suurustega? Kui VLT-ga pildistati esimest korda eksoplaneeti, oli see viie Jupiteri massiga hiidplaneet, mis tiirutab pruuni kääbuse ümber. Üks ELT esmaeesmärke on vaadelda Maa-sarnaseid planeete Päikese-sarnaste tähtede juures. Selleks peab suutma eristada tähest kõigest 0,1 kaaresekundi kaugusel olevat planeeditäpikest, mille heledus on tähega võrreldes üle miljardi korra väiksem. Arvutused näitavad, et vaja läheb vähemalt 39-meetrise teleskoobi kүүndivust ja suurepärase adaptiivoptikaga saavutatavat lahutusvõimet.

Maa-sarnased eksoplaneedid ja nende atmosfäärid on erakordselt suurte teleskoopide esmane uurimisvaldkond, ent äärmiselt oluline on mõista ka esimeste tähtede ja galaktikate teket ja arengut ning uurida universumi kõige salapärasemat koostisosa tumeenergiat. ELT abil loodetakse esimest korda mõõta kaugele objektide



Kunstniku nägemus Hawaii saarele Mauna Kea otsa plaanitud 30-meetrise teleskoobist TMT. Taamal on näha Mauna Kea observatoorium. Uue põlvkonna teleskoopidest oleks uus vaatlusinstrument ainus, mis asuks põhjapoolkeral ja saaks vaadelda põhjataeva objekte

punanihke muutumist ajas, mis annaks meile infot Universumi paisumiskiiruse muutumise kohta. Kaugele kvasarite spektrivaatluste abil saaks jällegi uurida, kas füüsika põhikonsandid muutuvad ajas või ei muutu. Linnutee keskel oleva ülimateerilise musta augu läheduses tiirutavaid tähti saab avastada ja jälgida mustale augule mitu korda lähemalt kui praeguste teleskoopidega ning seeläbi saab kontrollida füüsikateooriaid.

ELT konstrueerimisel kasutatakse uutset viiest peeglist koosnevat disaini. Peapeegel luuakse 1,45-meetristest kuusnurksetest segmentidest, millest igaüks kaalub koos toetusega 250 kg. Kokku on selliseid segmente 798, mis

Maa-sarnased eksoplaneedid ja nende atmosfäärid on erakordselt suurte teleskoopide esmane uurimisvaldkond. Äärmiselt oluline on mõista ka esimeste tähtede ja galaktikate teket ja arengut ning uurida universumi kõige salapärasemat koostisosa tumeenergiat.

teeb ainuüksi peapeegli kaaluks ligi 200 tonni. Kui teleskoop töötab, on plaanis iga päev asendada kaks segmenti ja katta uue peegeldava kihiga: nii hoitakse peapeegli kvaliteet suurepärasena. Kompenseerimaks atmosfääri põhjustatud moonutusi, suunatakse taevasse kaheksa heledat laserkiirt, mis tekitavad atmosfääri ülakihitidesse kaheksa tehistähte. Nende jälgimisel muudetakse 2,4-meetrise läbimõõduga neljanda peegli kuju igas sekundis 1000 korda ja mõnekümne nanomeetrise täpsusega. Nii saavutatakse viiemillikaaresekundiline lahutusvõime. Kogu teleskoopi ümbritseb suurim kuppel, mis on eales teleskoopidele ehitatud: kuppel ulatub maapinnast 74 meetri kõrgusele ja selle läbimõõt on 86 meetrit.

Hiiglasliku ELT ehitus algas Tšiilis Cerro Armazonese mäetipus 2014. aastal ja praegu loodetakse esimene valgus selle teleskoobiga püüda 2027. aastal.

Kaks aastat hiljem ehk 2029 peaks Tšiilis Las Campanase observatooriumis valmis saama GMT. Selle teleskoobi disain on sootuks erinev: ühele monteeringule kinnitatakse seitse 8,4-meetrise monoliitpeeglit, mis kokku meenutab kuue kroonlehega lilleõit.

Kõnealuse teleskoobi lahutusvõime vastab 24,5-meetrise peegli omale, aga valgust kogub ta nagu 22-meetrine üksikpeegel.

Kolmanda erakordselt suure teleskoobi TMT saatus on praegu lahtine. Selle ehitamist Mauna Kea mäetippu alustati juba 2014. aastal, kuid aasta hiljem ehitus kohaliku kogukonna protestide tõttu peatati ning on seisnud tänini. Võiks ju arvata, et kahest hiiglasuurest vaatlusinstrumendist astronoomidele piisab, kuid TMT oleks uue põlvkonna teleskoopidest ainus, mis asuks põhjapoolkeral ja saaks vaadelda põhjataeva objekte.

Uute avastuste ootel

Igaüks erakordselt suurtest teleskoopidest hakkab meie maailmapilti avardama, ent tõelise panuse annavad nad üheskoos teiste vaatlusprojektidega. Suurt sünergiat nähakse millimeeterlainelas külma universumit vaatleva ALMA interferomeetriga ning mitme taevast kaardistava projektiga, nagu LSST, Pan-STARRS, Gaia ja ka 4MOST. Väga põnevaid tulemusi oodatakse sellest, kui astronoomid ühendavad oma uurimistöödes James Webbi kosmoseteleskoobi ja suurimate maapeal-



Artikli autor Taavi Tuvikene 2005. aastal Cerro Armazonese tipus, näidates sõrmega umbes 20 km kaugusel asuvale Paranal mäele, kus on neli tänapäeva suurimate hulka kuuluvat VLT teleskoopi. Pisut paremal on näha madalam mäetipp neljameetrise VISTA teleskoobiga

sete teleskoopide tugevaimad küljed.

Ehkki astronoomid on rohkesti kirja pannud oodatavaid tulemusi, tehakse suuri avastusi ikkagi ootamatult. Astronoomia ajalugu on näidanud, et avastused kaasnevad tihti sellega, kui lisandub uus parameetrite ruum, kus uurimusi teha. Erakordselt

suurte teleskoopide põlvkond suurendab tohutult vaatluste tundlikkust ja ruumilist lahutusvõimet ning sellele lisanduvad instrumentide arendamise edusammud. Kõik see avab võimaluse vaadata sinna, kuhu keegi pole varem vaadanud. Ootame põnevusega uusi avastusi. •

Taavi Tuvikene (1978) on astrofüüsik, Tartu ülikooli Tartu observatooriumi galaktikate füüsika ja kosmoloogia osakonna teadur. 2012. aastal Belgias Brüsseli vabas ülikoolis kaitsnud doktoritöös uurinud muutlike tähe-
liste valgusalikate fotomeetriaat.


www.kl24.ee


www.helmic.ee

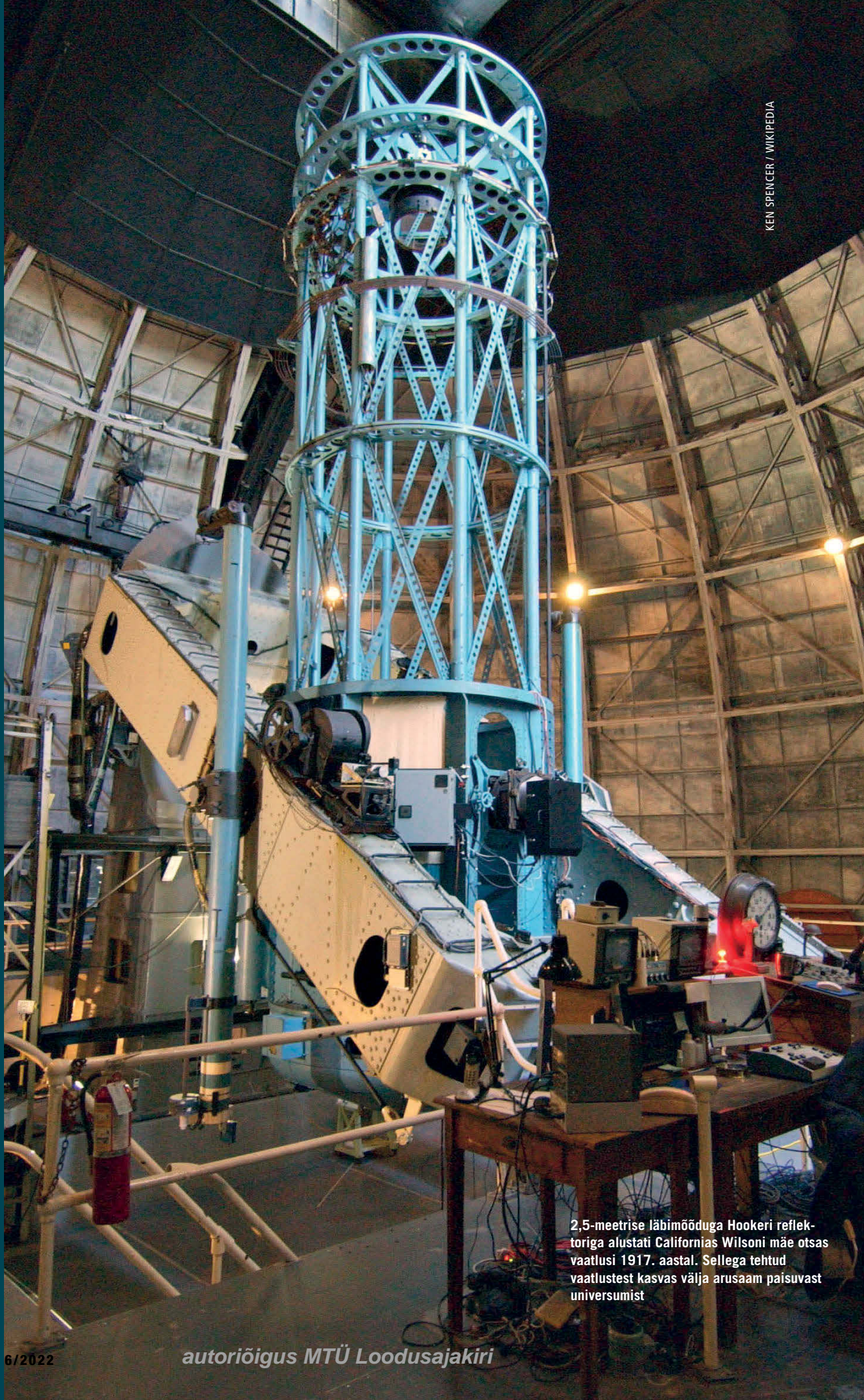
KÄSITÖÖSÖBRA KAUBAMAJA
24H SINU ARVUTIS
kokku üle 120 000 toote

UUED SOKILÕNGAD

OTSE MAALETOOJALT KARNALUKS OÜ LAOS,
 HERMANNI 1, C-TREPIKODA, TALLINN

Laurits Leedjärv

Kui Ernst Öpik saaks kasutada James Webbi teleskoopi



KEN SPENCER / WIKIPEDIA

2,5-meetrise läbimõõduga Hookeri reflektoriga alustati Californias Wilsoni mäe otsas vaatlusi 1917. aastal. Sellega tehtud vaatlustest kasvas välja arusaam paisuvast universumist

Kui Ernst Öpik sadakond aastat tagasi Andromeeda udu kauguse määras, oli maailma suurim teleskoop Californias Wilsoni mäel asuv 2,5-meetrise läbimõõduga Hookeri reflektor. Edwin Hubble järeltas sellega tehtud vaatluste põhjal, et universum paisub. Nagu Taavi Tuvikene on eelnevas artiklis kirjeldanud, küünivad nüüdise aja suurimad maapealsed teleskoobid umbkaudu kümne meetrini ning Tšiilis ehitatakse koguni 39-meetrist hiiglast. Kosmoses on juba üle 30 aasta tiirutanud Hubble'i teleskoop, millele tänavusest alates pakub seltsi ja konkurentsi 6,5-meetrise mosaiikpeegli James Webbi kosmoseteleskoop. Milline koht võinuks selle pakutavatel uutel võimalustel olla Öpiku töös?

Kõige alus on vaatlused

Astronoomia on saanud alguse viie tuhande aasta tagusest Mesopotamiast. Kuigi tollane taeva uurimine oli pigem astroloogia, peetakse astronoomiat maailma vanimaks teaduseks. Tuhandeid aastaid oli ainus taevasse vaatamise vahend inimsilm. Vana-Kreeka tsivilisatsioon leiutas astrolaabi, millest kasvasid välja keskaegsed kvadrandid ja sekstandid, millega sai nurki täpsemalt mõõta. Ent need riistad ei võimendanud taevakehadelt tulevat nõrka valgust. Nüüdseks tubli 400 aastat kestnud teleskoobiajastule on pannud aluse suur Itaalia õpetlane Galileo Galilei: saanud teada Hollandi prillimeistri Hans Lippershey pikksilmast, proovis ta seda järele teha ja oli teadaolevalt esimene, kellel tuli mõte see riistapuu taeva poole pöörata.

Järgmine suur murrang oli 20. sajandi keskpaiku. Varemgi oli tehtud katseid püüda kinni kosmilist raadioja infrapunakiirgust, kuid kosmoseajastu algus 1957. aastal avas inimese silmad lühemalainelisele kiirgusele, mille Maa atmosfäär kiivalt kinni peab. See on hea, sest ultraviolet-, röntgeni- ja gammakiirgus mõjuvad suuremale osale maisele elule, sealhulgas astronoomidele, hävitavalt. Ent kui saata teleskoobid kosmosesse, on võimalik loodust üle kavaldata ja informatsioon taevakehadelt kätte saada. Astronoomia on muutunud kõi-

gelaineliseks ehk panspektraalseks, põhimõtteliselt saab vaadelda kogu elektromagnetlainete spektrit.

Vaatlused on astronoomia esmane ja peamine teabeallikas. Me ei saa topida täheplasmast katseklaasi või uurida tumeainet elektronmikroskoobiga. Peaaegu kõik, mida me universumist teame, on meieni jõudnud elektromagnetkiirgusena. Vähest lisa annavad neutriinod, gravitatsioonilained ja Maale ise saabunud (meteoriidid) või toodud taevakehade osad (Kuu kiviimid, asteroidid- ja komeetid). Kuid nagu teistes teadustes eksperimenti rolli, ei saa astronoomias vaatlusi üle tähtsustada. Ilma adekvaatse teooriaga ja sellele toetuvate mudeliteta oleks vaatlusandmeid raske mõista ja lahti mõtestada.

Sajakordne kasv saja aastaga

Ernst Öpik alustas astronoomi teed ajal, kui vaatlusvõimalused olid praegustega võrreldes ääretult tagasihoidlikud. Avalauses mainitud 2,5-meetrine teleskoop läks käiku 1917. aastal. Umbes 30 aastat hiljem sai suurimaks teleskoobiks viiemeetrine Hale'i teleskoop Palomari mäel. Kulus veel peaaegu kolmkümmend aastat, kuni toonane Nõukogude Liit suutis viiele meetrile ühe lisada ning pani Põhja-Kaukaasias Zelentsükis tööle kuue-meetrise teleskoobi BTA. Suurem hüpe õnnestus teha 20. sajandi viimasel kümnendil, kui võeti kasutusele mosaiikpeeglid ning kaks identset Kecki teleskoopi Mauna Kea kustunud vulkaani tipus Hawaiiil krooniti maailma suurimaiks: nende läbimõõt on 10 meetrit. Nii mõnigi samas suurusjär- guses teleskoop on nüüdseks lisandunud.

Paarkümmend aastat tagasi analüüsis Kanada teadlane René Racine optiliste teleskoopide ajaloolist arengut. Jättes kõrvale mõned väikesed nüansid ning erinevused reflektorite ja refraktorite vahel – refraktorite karjäär lõppes 20. sajandi algul –, võib ühe põhijäreldusena tõdeda, et Galilei aegadest praeguseni on suuremate teleskoopide läbimõõt üsna püsivalt

Galilei aegadest praeguseni on suuremate teleskoopide läbimõõt üsna püsivalt kahekordistunud umbes iga 50 aasta tagant.

kahekordistunud umbes iga 50 aasta tagant.

Õigupoolest annab teleskoobi võimsusest ja võimest valgust koguda täpsema pildi peapeegli pindala, mis ümmarguste esemete puhul on teatavasti võrdeline läbimõõdu ruuduga. Olenevalt teleskoobi ehitusest on efektiivne valguse kogumise pindala täisringi omast mõnevõrra väiksem, aga järgnevates ligikaudsetes hinnangutes jätame selle detaili arvestamata. Öpiku noorpõlves oli maailma suurima teleskoobi peegli pindala 4,9 m². Väiksemad teleskoobid lisasid sellele võib-olla viis, võib-olla kümnekond ruutmeetrit; igal juhul oli astronoomide käsutuses olev summaarne peeglipind ühe väikese toa suurune. Sama suurus praegusajal hinnates võib eraldi esile tuua 10 meetri klassi teleskoobid, mis annavad kokku umbes 420 m². Peeglid 8–10 meetrini lisavad teist sama palju ning 4–6,5-meetrised umbes 210 m². Vahemik 3–4 meetrit lisab veel 180 m² jagu peeglipinda.

Nõnda saame kokku tubli 1200 m² ehk peaaegu viie tenniseväljaku mõõdu. Veel väiksemaid teleskoope – muu hulgas meie Tõravere oma 1,5-meetrise läbimõõdu ja 1,7-ruutmeetrisse pindalaga – on raske kokku lugeda. Väga ligikaudse hinnangu järgi lisavad need umbkaudu 300 m² summaarset pinda. Saja aastaga on teleskoobipeeglite pindala suurenenud vähemalt sada korda, siinjuures on kõne all ainult maapealsed optilised teleskoobid. Raadioteleskoobid, mille läbimõõt võib ulatuda sadadesse meetritesse, arvesse ei tule. Arvestatud pole ka kosmoseteleskoobe, mille panus pindalase on küll väike (Hubble 4,5 m² ja Webb 33 m²), aga mis atmosfääri segava mõju puudumise tõttu on oma maapealsetest analoogidest palju kor- di efektiivsemad.

Lähitulevikus lisandub kosmilisi footoneid koguvat peeglipinda vähemalt sama palju, kui seda praegu Maal leidub. Kui kõik läheb plaanipäraselt, näeb Euroopa lõunaobservatooriumi rajatav hiigelteleskoop ELT (Extremely Large Telescope) Tšiilis Armazonese mäel esimest valgust 2027. aastal. Kavandatud mosaiikpeegli pindala on 1190 m². Ameerikas algatatud 30-meetrise teleskoobi ehitus on mõnevõrra ootamatutel asjaoludel peatunud (vt artiklit ajakirjas Akadeemia, 2020, nr 8), aga kui seegi suur pikksilm kord valmis saab, lisandub peegli-

pinda 700 m² jagu. Sadu ruutmeetrit lisab ka Tšiilis Las Campanase observatooriumis loodetavasti 2029. aastal valmistatav Giant Magellan Telescope, mis on omapärane kombinatsioon seitsmest 8,4-meetrise läbimõõduga peeglist.

Teleskoobid, arvutid ja ajud

Iga suur teleskoop on ainulaadne väga kallis teadusinstrument, mida on aeganõudev projekterida ja ehitada. Kulukas on ka teleskoobe käigus hoida ja neil vaadelda. Üldjuhul ei küsita vaatlevatelt astronoomidelt või nende koduinstituutidelt otseselt raha – kuigi vahel seda võimalust kasutatakse ja näib, et aina rohkem –, nii on konkurents vaatlusaja saamiseks väga tihe. Suurte teleskoopide vaatlusaeg on enamasti jagatud väikesteks kildudeks, mille jooksul vaadeldakse kellegi soovitud konkreetseid objekte.

Aga astronoomid on ikka unistanud ka sellistest vaatlustest, kus kogu taevast pidevalt läbi kammitakse ja huvitavaid muutusi otsitakse. See unistus peaks täituma paari aasta pärast, kui pilgu taevasse suunab veel üks 8,4-meetrise peapeegli teleskoop, mida esialgu kutsuti suureks sünoptiliseks ülevaateteleskoobiks (Large Synoptic Survey Telescope ehk LSST), kuid nüüdne nimi on antud Ungari päritolu miljardäri Charles Simonyi ja tema abikaasa Lisa auks: Simonyi Survey Telescope. See hakkab tööle Vera Rubini observatooriumis. Seekord pärineb nimi tuntud astronoomilt, keda meie vanameister Jaan Einasto kõrval peetakse üheks tumeaine avastajaks.

Kadunud pole ka lühend LSST, see on ümber mõtestatud kui Legacy Survey of Space and Time. Ja kõik see saab teoks jälle Tšiilis Cerro Pachóni mäel, 2663 meetrit üle merepinna. Kümne aasta jooksul käiakse kogu vaatluskohast kättesaadav 18 000 ruutkraadi taevast vähemalt 825 korda üle maailma suurima CCD-kaameraga, millel on 3,2 miljardit pikslit. Nagu arvata võib, koguneb sellistest vaatlustest tohutu hulk andmeid, mille talletamine ja töötlus nõuab tarkvaraarendajate pingutusi. Praegustel hinnangutel peaks LSST andmetega toimetulekut tagav arvutusvõimsus olema 250 terafloppi ehk 250 triljonit tehet sekundis. Kümne aasta jooksul koguneb andmeid umbes 100 petabaiti.



LSST CAMERA PROJECT / T. LANGE / NOIRLAB

Insenerid seavad katsetamiseks valmis Tšiilis Cerro Pachóni mäele kerkiva teleskoobi LSST kaamerasüsteemi. See maailma suurim CCD-kaamera koosneb 201 andurist, tugielektronikast ning vaakum- ja jahutussüsteemist

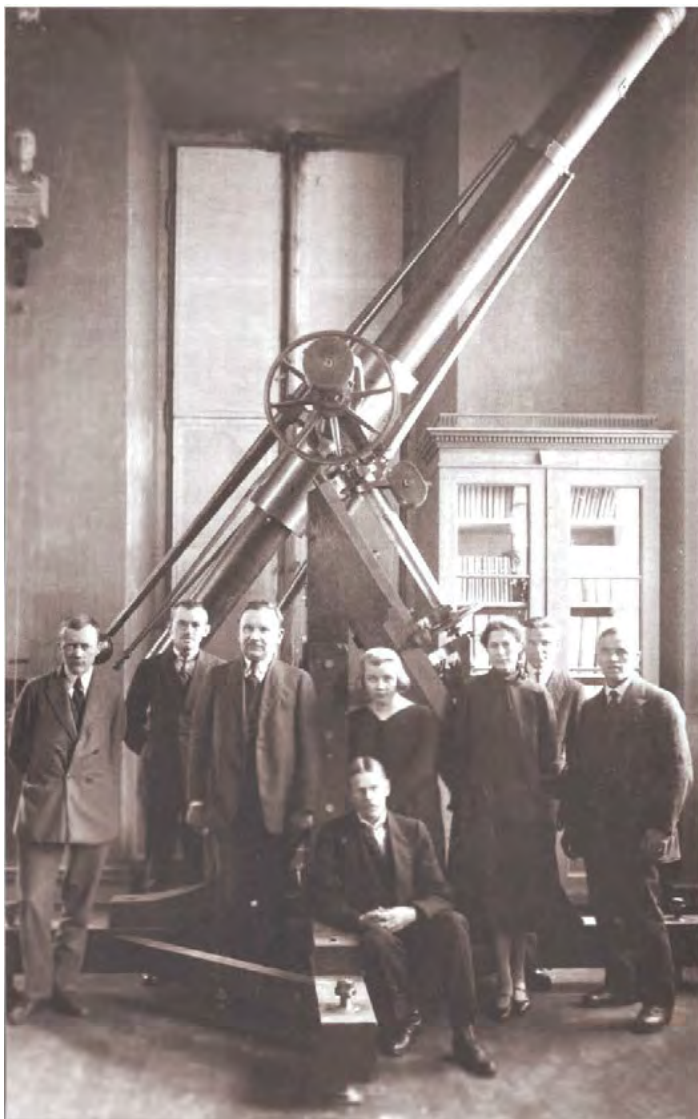
Ernst Öpik elas pika ja viljaka elu. Tema seitsekümmend aastat kestnud teadustöö ajal toimusid astronoomias suured muutused. Korduvalt mainitud Tšiilis, Hawaii ja Kanaari saartel, Arizona kõrbes jm hakati teleskoobe paigutama kohtadesse, kus need – enamasti pilvedest kõrgemal – näevad peaaegu kogu aeg selget taevast. Kosmoseajastu algus võimaldas teha Päikesesüsteemi kehade lähiuuringuid ja panspektraalseid vaatlusi. Sellesse aega jäi ka arvutite võidukäik.

Arvutitega olevat Öpikul olnud eriline suhe. Räägitakse, et kui soliidses eas Öpikult küsitud, kas ta ei tahaks oma töös arvutit kasutada, olevat ta vastanud: „Milleks mulle arvuti? Mul on ju aju“. Tõepoolest, ilma inimajuta

pole ükskõik kui võimsast arvutist teaduses palju kasu. Loomulikult poleks suurte andmehulkade haldamine ja analüüs arvutiteta mõeldav, aga algoritmid ja programmid koostab ikkagi inimene. Tehisnärvivõrgud, masinõpe, iseõppivad programmid ja kõik muu tehisintellektiga seotu on alguse saanud inimajust.

Spetsialistid ja kõiketeadjad

Ernst Öpikut on nimetatud viimaseks suureks kõiketeadjaks. Kui kujutleksime noort energilist Ernst Öpikut suurte teleskoopide ja andmehulkade ajastul, kas suudaks ta praegugi olla kõiketeadja ja tegelda kõigi astronoomiaharudega? Sellele ei saa olla lihtsaid vastuseid. Aga Öpiku käsitlusviis lu-



Ernst Öpik (kõige vasakpoolsem) seisab koos Tartu tähetorni töötajatega Fraunhoferi refraktori ees. Keskul seisab Öpiku abikaasa Alide. Foto on tehtud 1929. aastal

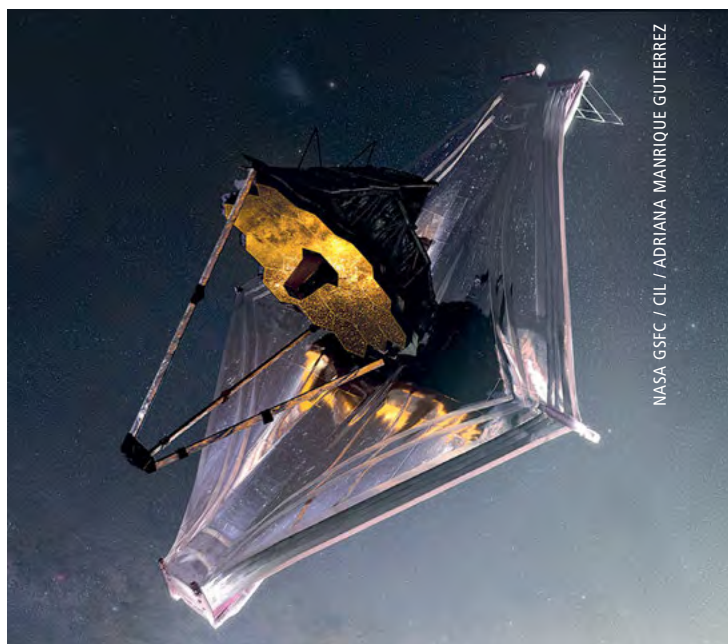
bab arvata, et ta saaks hakkama kõigi suurte nüüdisprobleemidega.

Oma artiklis „Märkmeid kosmosefüüsikast“ on Öpik eristanud spetsialiseeritud ja morfoloogilist uurimistööd. Esimene on kitsalt orienteeritud töö, milles kasutatakse keerukaid tehnilisi termineid ja mida Öpik võrdleb skalpelliga kirurgi käes, kelle üksik-asjalikud teadmised mingist elundist võimaldavad tal sooritada operatsiooni. Morfoloogilises uurimistöös „vaadeldakse kitsalt piiritletud üksikprob-

Ernst Öpik ja James Webb (teleskoobina) ei oleks ehk südamesõbrad, vaid koostööpartnerid, kes teineteise häid külgi ära kasutavad.

leemi vastastikuseid mõjusid ja suhteid – üldiselt öeldes – kogu ülejäänud universumiga“. See meetod „.. annab üldised piirjooned katsetele, vaatlustele ja spetsialiseeritud uurimistöö teoreetilistele mudelitele. Tundmata mingi kindla elundi ja ülejäänud keha omavahelisi mõjusid, ei ole võimalik edukalt sooritada ühtki operatsiooni“.

Öpiku morfoloogiline käsitlusviis tagas tema edu ja kõiketeadmise. Nüüdisaegses olukorras Öpik tõenäoliselt ei kulutaks liiga palju aega sellele, et kirjutada suurte teleskoopide vaatlustaotlusi ja analüüsida oma vaatlusi. Pigem leiaks ta avalikest andmebaasidest ja avaldatud teadustöödest need lahtised niidiotsad, mida kokku sõlmitades muutub universumi gobelään järjest terviklikumaks ja kõikekatvamaks.



Kunstniku nägemus James Webbi teleskoobist kosmoses, Maast 1,5 miljoni kilomeetri kaugusel orbiidil. Teleskoobil on tuulelohe-kujuline hõbedane päikesekaitse ja suur kuusnurkadest koosnev kuldne peegel. Peegli ees on kolm pikka tugiposti, mille otsas on väiksem abipeegel. Peapeegli keskel on must ninakoonus, mille kaudu siseneb valgus peegli taga olevatesse seadmetesse


Ernst Öpik ja James Webb (teleskoobina) ei oleks ehk südamesõbrad, vaid koostööpartnerid, kes teineteise häid külgi ära kasutavad. Juba tsiteeritud artiklis on Öpik muu hulgas kirjutanud: „Loodus on liiga keeruline, et seda saaks tõlgendada otse ja tervikuna. Piirangud, skeemid ja abstraktsioonid on vajalikud sammud, mis viivad edule“. Teadus vajab nii üksikasjadele pühenduvaid „skeemitajaid“ kui ka üldistavaid kõiketeadajaid. Ja inimkond vajab teadust, mis avardab meie maailmapilti nii, nagu seda on teinud Ernst Öpik, ja nii, nagu seda kindlasti teeb James Webbi kosmoseteleskoop.

LOE LISAKS:

Leedjärv, Laurits 2020. Raske tee tähtede poole. – Akadeemia 32 (8), 1399–1433.

Racine, René 2004. The Historical Growth of Telescope Aperture. – Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 116, 1, 77–83.

Öpik, Ernst 2004. Märkmeid kosmosefüüsikast. Meie kosmilise saatus. Ilmamaa, Tartu, 165–170 (esmaltp ilmunud 1969 inglise keeles ajakirjas The Irish Astronomical Journal).

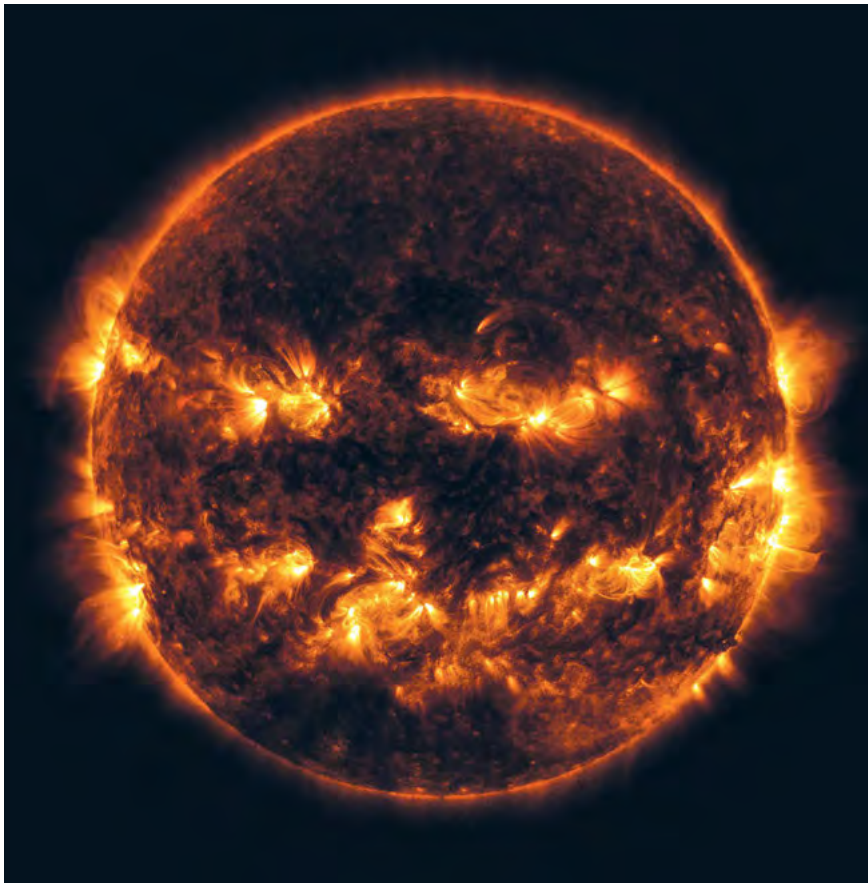
 Laurits Leedjärv (1960) on astronoom, Tartu ülikooli Tartu observatooriumi tähefüüsikaosakonna kaksiktähtede kaasprofessor. 1999–2010 observatooriumi direktor. Uurinud kaksiktähti, nende ehitust ja evolutsiooni ning tähtede rolli universumis.

ILM JA KOSMOS

Tee kosmosesse on sillutatud rehadega. (NASA vanasõna) „Isa, miks pilved liiguvad?“ – „Kas sa päikesetuulest oled kuulnud?“

Sünonüümisõnastiku põhjal on „kosmos“ ilmaruum. Ainult et see, mida mõistame „kosmose- ilma“ all, erineb tunduvalt sellest ilmast, mida näeme ja tunneme planeet Maa atmosfääri alumises osas troposfääris.

NASA/GSFC/SDO



Päikese kurikaval nägu 8. oktoobril 2014. Heledamana paistavad aktiivsemad Päikese-piirkonnad, mis kiirgavad rohkem valgust ja energiat

„Kõige eest, mis on Maal head, võlgne me tänu Päikesele,“ on öelnud astronoom Laurits Leedjärv. Kuigi „see täht, mis paistab päeval“, on Universumi mastaabis üksnes kollane kääbus, tegutseb ta meie mätta otsast vaadatu na ikkagi siinse kosmilise ilmateatri peanäitejuhina. Ja sellega peame alati arvestama.

Muidugi võiks Päike oma positsiooni ja vanust arvesse võttes – ikkagi neli ja pool miljardit aastat – käituda tunduvalt soliidsemalt. Mitte nagu ulakas poisike, kes aeg-ajalt pahanduste vahel korraks hinge tõmbab ning hakkab jälle ägedalt pihta. Teatavasti kestab Päikese aktiivsustsükkel keskel läbi 11

aastat, selle intensiivsust iseloomustab nn päikeseplekkide arv.

Mis meil nendest plekkidest?

„Päikeseplekkidel on tõepoolest suur tähendus. Ükskord ka ilmus päikesele sihuke plekk ja veel samal päeval sain ma Nusles „Banzeti“ kõrtsis peksta“. Tänu Josef Švejki tähelepanekuile teavad miljonid kirjandussõbrad jälgida taevaseid märke.

Päikesega on lugu nii, nagu inimes-tegagi: kui nägu tõmbub laiguliseks, on oodata raevupurset. Ent pursked Päikesel – protuberantsid, loited –, on vahetevahel säärased, nagu plahvataks korraga miljon 100-megatonnist tuu-

mapommi! Aineosakesed, mis tavaliselt liiguvad nn päikesetuulena tähest eemale kiirusega 300 km/s, paiskuvad siis ilmaruumi mitu korda suurema hooga.

Õnneks on meie Maa Päikeselt tuleva liigse ultraviolettkiirguse eest päris hästi kaitstud osoonikihi ja kosmilise kiirguse eest magnetväljaga. Tugevate kosmosetormide korral murravad aga suure energiaga osakeste vood Maa magnetpooluste lähedal sügavemale atmosfääri ning võivad tekitada palju pahandust elektrivõrkude haldajatele ja isegi kosmoseagentuuridele. 1847. aastal seiskus magnetormi ajal Inglismaal telegraafiühendus, kahteist aastat hiljem kordus sama kogu Euroopas ja USA-s.

Tänapäevased hiigelsuured energiovõrgud toimivad tormide ajal tohutute antennidena, indutseerides omakorda elektrivoolu. 1989. aasta märtsis läks Kanadas Quebeci provintsis kõrbe võimas trafo, jättes üle kuue miljoni inimese üheksaks tunniks vooluta. Poole sajandiga on saanud rängalt kahjustada mitmekümne kosmoseaparaadi töö.

Magnetormide aegu peavad orbidil töötavad kosmo-, astro- ja taikonaudid varjuma kosmoselaevade magamissektsioonidesse, mis on paksema seinaga. Päikese pahade päevade aegu ei pääse nad ka avakosmosesse, sest see oleks kindel surm.

Siiski kaasneb magnetormidega ka midagi ilusat. Need on virmalised. Peale kena veikleva „diskovalguse“ olevat virmalistest isegi kasu: nimelt usuvad jaapanlased, et taevase vaatamängu ajal tehtud tited tulevat üliandekad. Huvitav, kui palju on eskimote seast võrsunud Nobeli auhinna laureaate?

Mida karta?

Tihti võib lugeda või kuulda, et magnetormid mõjutavad meie tervist ka Maa peal. Tõepoolest, on andmeid, et sel ajal halveneb paljudel enesetunne,

ägenevad kroonilised haigused, eriti südametõved.

Astronoom Peep Kalv on soovitanud: „Jälgige ennast: kui tunnete end vahel halvasti, siis pange päev kirja. Ärge kuu aega lugege magnetilisi ennustusi ja vaadake tagantjärele, kas magnetormipäevad ja päevad, mil ennast kehvasti tundsite, langevad kokku“.

Magnetormide ennustusi võib leida internetist õige mitmest kohast. Näiteks edastab neid NOAA kosmoseilma ennustuskeskus iga 10 minuti tagant (vt swpc.noaa.gov). Paljud inimesed tunnevad ennast seepärast halvasti, et võimalik oht püsib silme ees, teistele on see aga suur lohutus samamoodi nagu astroloogiline horoskoop.

Võrreldes tavaliste ilmaennustustega on magnetormi prognoose kaugelt riskantsem teha. Mitmel korral on kõige vägevamad kosmoserajud jäänud hoopis ette kuulutamata.

Eestlased peavad olema uhked: nende piigad on nii ilusad, et isegi Päike ja Kuu on neil kosjas käinud (vt „Kalevipoeg“, esimene lugu). Paraku peab Linda- ja Salme-nimeliste kaunitaride korviandmistest pärast kannatama kogu inimsugu. Kui Kuu ärapõlgamise tõttu vaevlevad ainult naisterahvad ja sedagi periooditi, siis vihase Päikese, kes „läks puhkides lävelta“ – ilma viide päikesetuulele –, tekitatud magnetormid on tänini mõjutanud kogu planeedi inimeste eluolu. Mis sa teed: ülikõrgel kohal olivad on tavaliselt üksiti ülitundlikud.

Arvatakse, et Päikese aktiivsuse tase mõjutab ka ühiskondlikke liikumisi. Vaid üks näide: 1917. aastal 15. tsükli maksimumi ajal alanud kommunismi võidukäik sai kabelimatsu 22. tsükli



NASA/JPL

14. märtsil 2012 õnnestus NASA kosmosesondil Mars Reconnaissance Orbiter pildistada Marsi põhjaosas Amazonis Planitia piirkonnas tornaadot, mille kõrgus oli umbes 20 kilomeetrit ja läbimõõt 70 meetrit

maksimumi ajal 1991. aasta augustis (M. Jõeveer, Eesti Loodus 1993, nr 5–6).

Kui astroloogiausklikud mõrtsukad valivad kuuldavasti atentaatideks kaduneljapäevi, siis poliitikud peaksid võimuhaaramisi planeerima samuti sobivate kosmiliste näitajatega aegadel. Alati see siiski ei toimi, näiteks riigikukutamiseks pole viimased aastad olnud eriti sobivad (päikeseaktiivsuse 24. tsükli maksimum aastail 2012–2014 on olnud saja aasta nõrgim), kuid Araabia kevaded, nagu ka Ukraina rahvalikumine, on siiski hoo-
gustunud just sel perioodil.

Praegu on paramine aeg võidelda võimu pärast: päikeseaktiivsus suureneb (maksimum saabub NASA ennustuste kohaselt küll alles aastal 2026)!

Millised on ilmaolud teistel planeetidel?


Tulevased marssijad, neptuunijad jt peavad arvestama sealsete tugevate rajudega. Näiteks liiguvad Veenuse taevas väävelhappepilved ligi 100 m/s ja Neptuunil vesiniku-heeliumi omad peaaegu ühelikiirusega, isegi 600 m/s, Marsil jällegi kestavad tolmutormid (tornaadodega!) kuid. Ka sealset temperatuuriolud kipuvad käima meile, Maa-inimestele, üle mõistuse.

Mida kardab NASA?

Alatasa kerkivad kosmoseuuringute keskuste kohale mustad pilved. Mis ei ole alati sugugi rahakärped või astronautide streigiähvardused, vaid tõelised vihma ja elektrit täis äikesepilved. Tugeva tuule kõrval on sellistes teaduskeskustes kõige kardetum ilmastikunähtus pikne. Ainult üks näide. 1987. aasta märtsis startis Canaverali neemelt võimas raket Atlas-Centaur 67, et viia orbiidile sidesatelliit. Kohe pärast starti tabas raketti lähedal olevast rünkpilvest välgunool. See rikkus aparatuuri sedavõrd, et sihitult lendav monstrum koos 160 miljonit maksva satelliidiga tuli halvima ärahoidmiseks hävitada.

Pärast mitmeid sääraseid äpardusi anti NASA meestele kuri käsk arvestada ilmaruumilendude korral rohkem ka Maa-pealseid ilmu.

Ja kõige lõpuks küsimus. Kõik me teame, milline on ilus ilm. Aga mis on „ilmailu“? Õige vastus: 'lennundus' soome keeles. •

 **Ain Kallis** (1942) on meteoroloog, klimatoloog ja publitsist. Tema peamine uurimisvaldkond on Eesti kiirguskliima. Töötab peaspetsialistina Eesti keskkonnaagentuuris.

PEXELS



Magnetormidega kaasnevad ilusad virmalised

EDIT TALPSEPP

KUIDAS MÄÄRATLETAKSE ELU ASTROBIOLOOGIAS

Elusloodust uurivates valdkondades, nagu bioloogia ja selle alamdistsipliinid, on „elu“ loomulikult üks fundamentaalseid mõisteid. Mismoodi eristada elusorganisme elututest objektidest? Teadlastele ja tihti ka maailma üle juurdlevatele tavainimestele on see üks probleeme, mis ei tundu olevat aja jooksul selgemaks saanud. Teaduse ja tehniliste võimuste arenedes näib see isegi muutuvat püüdmatumaks ja üha mitmetahulisemaks.

Astrobioloogia on valdkondadeülene teadusharu, mis uurib elu algust, varast evolutsiooni, elu tulevikku ja võimalikke asukohti universumis. Elu määratlemine ja oskus seda ära tunda on astrobioloogia võtmes oluline seetõttu, et uurimaks maaväliselt elu kosmoses, peaks meil esmalt olema ettekujutus sellest, millistele märkidele elu olemasolu tõenditena üleüldse tähelepanu pöörata või mida otsida.

Ulmekirjandus ja -filmid on aidanud luua kujutlust maavälisest elust kui teistel planeetidel kohatavatest humanoididest või siis vähem inimesekujulistest olevustest, kes on siiski mõneti võimalised olema ratsionaalsed, ning agressiivsema meelestatuse korral võiksid meie planeedile koguni ohtu kujutada. Tegelikult on siiski märksa proosalisem. 1994. aastal peetud NASA komitee koosolekul kiideti heaks Ameerika astronoomi ja teaduse populariseerija Carl Sagani ettepanek, mille kohaselt defineeriti „elu“ kui „ise-toimiv keemiline süsteem, mis on võimaline darvinistlikuks evolutsiooniks“.

Terminit „darwinistlik evolutsioon“ kasutati lühidalt protsessi kohta, mis hõlmab ebatäiuslikult replitseeruvat molekulaargeneetilist süsteemi (Maal on see pärilikkusaine DNA). Seejuures võivad niisugusest ebatäiuslikkusest tulenevad vead ise samuti replitseeruda ning eri replitseerujatel on eripärane kohasus. Näiteks naatriumkloraadi kristall on küll suuteline „paljune-ma“, st pulbristatuna olema „seemneks“ teiste naatriumkloraadikristallide kasvule, ent originaalkristalli defektid sel viisil edasi ei „pärandu“. Seega pole säärane süsteem võimaline darvinistlikuks evolutsiooniks.

Nii et humanoidide asemel otsitakse kosmosest elu või selle biomarkeritena pigem aineühendeid või keemilisi reaktsioone, mis arvatakse olevat iseloomulikud elussüsteemidele. Ste-



NASA VIKING IMAGE ARCHIVE

Pildil on näha koht, kust Marsi maandur Viking 1 võttis pinnasest võimalike elumärkide otsimiseks proove

ven A. Benner viitab elu astrobioloogilist määrangut käsitledes kolmele katsele, mis tehti 1976. aastal Viking 1 ja Viking 2 missioonidel, tõestamaks elu olemasolu Marsil. Kolme katse käigus loodeti Marsi pinnasest leida ilminguid sealse ainevahetuse, st selleks võimaliste eluvormide kohta.

Ühe katse käigus pandi Marsi pinnasetükki radiosüsiniku orgaaniliste ühendite vesilahusesse: eeldatavasti pidi radioaktiivse süsinikdioksiidi teke tõestama ainevahetuselaadse protsessi olemasolu. Teises katses asetati Marsi pinnasetükki samuti söötmelahusesse, et tuvastada fotosünteesi, mille toimimise tõestuseks pidi olema molekulaarse hapniku teke. Kolmandas katses juhiti päikesevalguse oludes Marsi pinnale radioaktiivset süsinikdioksiidi ja -monoksiidi. Samamoodi kui Maal pinnal kasvavad taimed, oleks Marsi pinnases leiduv elu pidanud siduma nendest gaasidest süsiniku oma orgaaniliste ühenditega. Kõik need Marsi pinnases ainevahetust tõendama pidanud katsed andsid positiivseid tulemusi, ent teadlased siiski otsustasid, et Marsil pole elu. Seda põhjusel, et Marsi pinnase stüvaanalüüsil ei leitud mingeid eeldatavasti elusorganismide

ehitusse kuuluvaid orgaanilisi süsinikuühendeid ning kirjeldatud reaktsioonid pidid toimuma orgaanilise süsiniku osaluseta.

Oletused Marsil leiduva elu kohta said taas hoogu juurde, kui Antarktikast Allan Hillsi lähedalt leitud Marsi päritolu meteoriidilt avastati 1996. aastal rakulaadseid osakesi. Suuruse poolest sarnanesid need Maal leiduvate nanobakteritega, mis on väikseimad rakuseinaga objektid. Hüpoteesid selle kohta, et Allan Hillsi meteoriidilt leitud objektid on mikrofossiilid ehk Marsil leidunud elu mikrokoopilised jäänused, lükati siiski samuti ümber. Nimelt viidati, et need osakesed on liiga väikesed, mahutamaks ribosoomi, mis Maa-pealsetes rakkudes võimaldavad DNA replikatsiooni ja valkude sünteesi.

Nukleiinhapete (DNA või viiruste puhul RNA) replikatsiooni kätkevat paljunemist on samuti peetud üheks elu tunnuseks. Ent enam ei peeta nanobaktereidki üsna üksmeelselt elusolenditeks, vaid mingil muul moel „paljunevateks“ kristalliseerunud mineraalideks ja orgaanilisteks molekulideks. Selle põhjus on tõik, et eeldatavasti on ka nanobakterid liiga väike-

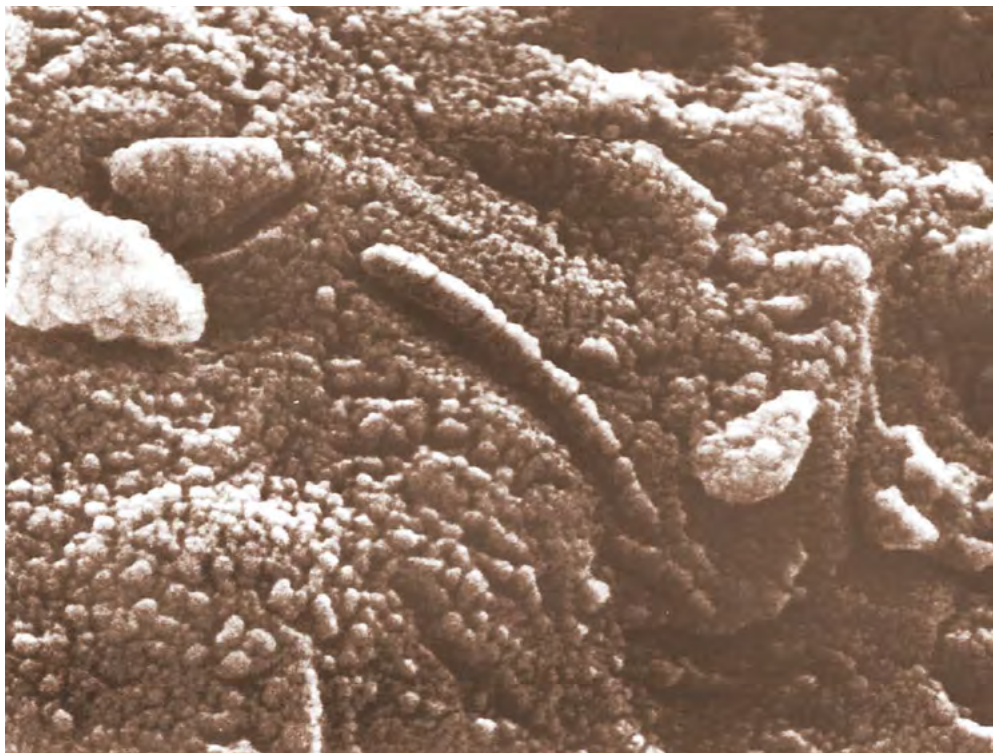
sed, et nad saaksid sisaldada DNA replikatsiooni võimaldavaid rakustruktuure. Säilib küll hüpoteetiline võimalus, et nii Marsil kui ka enne DNA evolutsioonilist teket Maa peal etendas RNA nii DNA kui ka valkude rolli, st talletas geneetilist infot ja katalüüsis keemilisi protsesse primitiivsetes rakkudes. Niisuguste RNA-organismide rakkudel poleks ribosome vajagi ning seega pelgalt väikseuse argumentid ei piisaks, et Allan Hillsi meteoriidilt leitud osakesed Marsil leiduva elu biomarkeritena kõrvale lükata.

Ühe filosoofilise nüansina tahaks esile tuua selle, et NASA elumääratlused põhinevad Maa-kesksetel teooriatel selle kohta, mis iseloomustab elu ja elusorganismi. Pole mõeldamatu, et kosmoses leitakse darvinistlikuks evolutsiooniks võimelisi eluvorme tingimustes, kus meie planeedile tüüpilised eluvormid elada ei saaks, kuna see poleks keemiliselt võimalik – lihtsalt selliste eluvormide keemiline koostis peaks olema oludele vastav. Esiteks võiksime ette kujutada orgaanilise süsiniku osaluseta toimuvaid ainevahetuselaadseid termodünaamilisi protsesse. Teiseks, nagu juba viidatud, on teoreetiliselt võimalik ka RNA-, mitte DNA-replikatsiooni hõlmav paljunemine. Ning kolmandaks: mõne autori väitel ei pruugi darvinistliku evolutsiooni toimumiseks üleüldse DNA- või RNA-laadseid biopolümeere vaja minna, vaid darvinistlik evolutsioon võib kulgeda näiteks mineraalikomplekside või muude selliste struktuuridega, mis võivad „paljuneda“ ilma biopolümeeride replikatsioonita. Seega kerkibki küsimus, kas ja mil määral on õigustatud eeldus, et kosmoses elussüsteemideks peetu keemiline koostis peab vastama Maa-kesksele etkujutusele orgaanikast.

Mis juhtuks siis, kui kohtaksime kosmoses tõepoolest olevusi, kellel on küll olemas mingid ilmsed elu tunnused, ent kes ei vasta NASA elumääratluse tehnilistele tingimustele? Benner viitab säärase hüpoteetiliste olevuste näidetena Star Treki meeskonna kohatavatele n-õ kontseptuaalsetele tulnukatele. Mõned nendest on „mittekeemilised“, näiteks pelgalt informatsioonilised (arvutiviiruselaadsed olevused) või tehtud puhtast energiast, teised küll keemiliselt kirjeldatavad, ent võimetud darvinistlikuks evolutsiooniks.

Samuti viitab Benner Fred Hoyle'i

NASA



Elektronmikroskoobipildi keskel on näha Allan Hillsi leitud ebatavaline torukujuline osake, mis on avastatud Marsi päritolu meteoriidil. Teadlased leidsid, et see siiski pole mõne pisikese eluvormi jäänus

ulmeloo „Must pilv“ samanimelise väljamõeldud „peategelase“, mis tungib meie Päikesesüsteemi ning tõkestab maalaste eest päikesevalguse. Kui must pilv mõistab, et Maa peal elavad mõistulikud eluvormid, tõmbab ta end viisakalt koomale ja vabandab. Benner märgib, et kui me kosmoses tõepoolest kohtaksime kõnelevaid musti pilvi või mõistusega olevusi, mis koosnevad puhtast energiast, oleksime sunnitud ilmselt oma elumääratlust korrigeerima.

Kuna NASA eludefinitsioon põhineb sellel, mis usutakse realistlikult võimalik olevat, ei hakata senist elumääratlust niisuguste hüpoteetiliste olevuste kohtamise hirmus või lootuses siiski muutma. Kosmoseulmes üsna levinud humanoidsete robotite kohta ütleb Benner, et kui neil pole darvinistlikku evolutsioonilist minevikku, ei peeta neid elusolenditeks. Ka maist päritolu tehisintellekti peetakse samal põhjusel pelgalt elusolevuste loodud biomarkeriks, mitte isenesest elusaks.

Üks küsimus kerkib ka selle kohta, kas üleüldse on adekvaatne kirjeldada darvinistlikku evolutsiooni peamiselt juhuslikele mutatsioonidele rakendatava loodusliku valiku kaudu toimuv

vana. Näiteks Benner väidab, et kosmoses inimintelligentsiga võrdväärse mõistusega olevuste leidmise tõenäosus on väike, kuna selliste olevuste evolutsiooniline areng juhuslikkudel põhineva loodusliku valiku teel võtab liiga kaua aega, et enamiku planeetide vanus oleks seda võimaldada saanud.

Samas viitavad paljud viimase aja evolutsioonibioloogid ja bioloogiafilosoofid (mitte ainult inimese, vaid ka loomade puhul) n-õ kiiretele evolutsioonilistele protsessidele, nagu epigeenetika, kultuurievolutsioon, sotsiaalne pärandumine jne, mis kätkevad evolutsiooni mittejuhuslikku ja koguni kavatsuslikku tahku ning kirjeldavad evolutsioonilisi arenguhüppeid varem arvatust märksa kiiremate ja järsematena. Kui selline kiire evolutsioon võis toimuda meie planeedil, siis miks poleks võinud see juhtuda ka mõnes muus Päikesesüsteemi osas? Nii et tegelikult algab see, mida me usume kosmoses kohatava elu võimalikkuse kohta, meie Maa-kesksete elumääratluste juurde kuuluvate põhimõistete ja -protsesside defineerimisest, mõistmisest ja mõtestamisest. •

✍ **Edit Talpsepp** (1981) on Tartu ülikooli teadusfilosoofia teadur.

LEA LEPPIK

TARTU TÄHETORNIS SÜNDINUD ASTRONOOMIAPILDID

Tänapäeval teevad astronoomid ja astrofüüsikud suure osa tööst fotode vahendusel, kuid enne fotograafia leiutamist tuli hakkama saada joonistustega. Pildid on aidanud ette kujutada universumi ehitust ja taevakehade liikumist ning jäädvustada erilisi sündmusi, näiteks päikesevarjutusi.

Astronoomia ajaloost on teada mitu maailmakuulsat pilti, näiteks esimesed jäädvustused päikeseplekkidest või teleskoobiga nähtud Kuu-kraatritest, rääkimata Schiaparelli Marsi-kanalist. Mõned pildid on muutunud pea-aegu popkultuuri osaks.

19. sajandil Tartus loodud ja astronoomia ajalukku läinud piltidest tasub eelkõige esile tõsta Struve kaksiktähtede kataloogi juurde kuulunud taevakaarti ja Mädleri Marsi-jooniseid.

Struve taevakaart

1824. aastal sai Tartu tähetorn Fraunhoferi suure refraktori ehk läätsteleekoobi ja oli seetõttu varustuse poolest mõnda aega maailma parim. Toonasel tähetorni direktoril Friedrich Wilhelm Struvel oli oskust ja õnne edukalt rakendada tema kasutuses olnud riistvara, uurimaks just selliseid teemasid, mis võimaldasid saavutada häid teadustulemusi. Üks Struve tehtud hiigeltöid, mille tõttu läks nii tema ise kui ka Tartu tähetorn igaveseks teadusajaluks, oli kaksiktähtede kataloog. Seni oli olnud teada umbes 800 kaksiktähte, kuid nüüd suurenes nende arv üle 3000 (kataloogis oli 3112 kaksiktähte).

Selle tööga käsikäs mõõtis Struve mikromeetriga Veega parallaksi ehk aastase nihke teise, kaugema tähe suhtes ja arvutas sellest omakorda välja Veega kauguse Maast. Nõnda kuulus Struve kolme esimese teadlase sekka, kellel oli õnnestunud mõõta tähe kaugust (ülejäanud olid Bessel Königsbergis ja Henderson Kaplinnas).

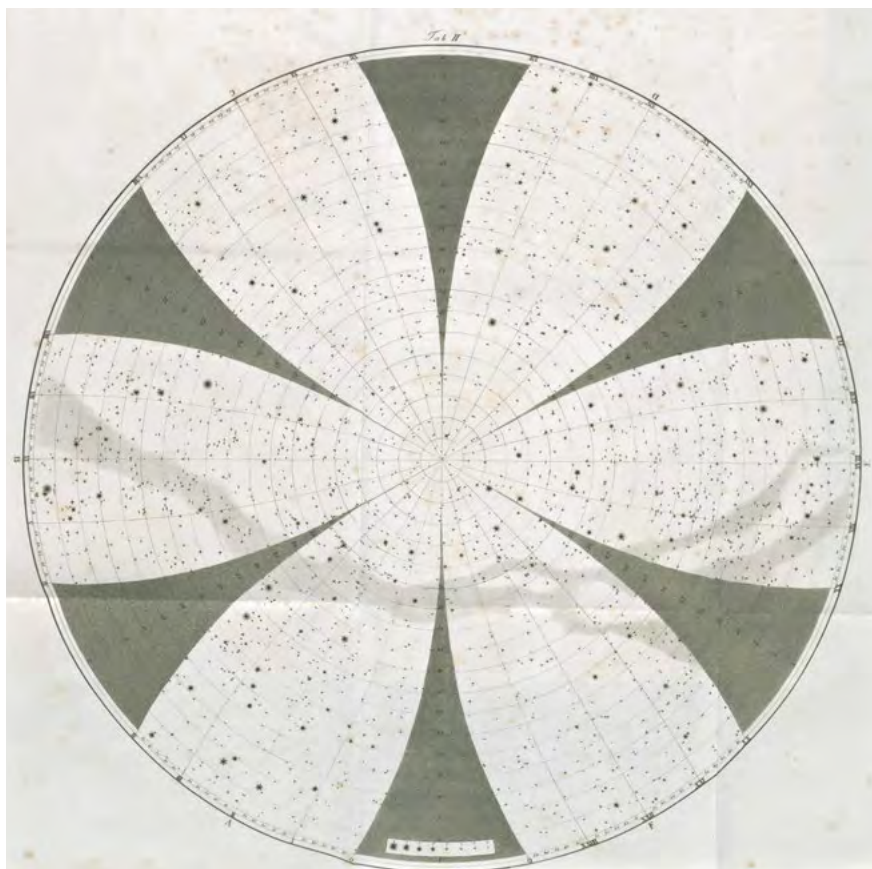
Struve otsis kaksiktähti kataloogi koondades ühtlasi vastust küsimusele, kuidas nad taevas paiknevad ja kas selles võib täheldada kindlat mustrit. Parim moodus oli koostada kaart, mille Struve lisas oma kaksiktähtede kataloogile. See ilmus 1827. aastal, keiserliku Tartu ülikooli 25. aastapäevaks.

Kaheksa tähesuurust on kaardil tähistatud eri märkidega, kõik tähed on kantud hoolikalt koordinaatvõrgustikule. Et äärtel tekkivaid moonutusi vähendada, on kaart jaotatud siiludeks. Hoolimata sellisest meetodilisest käsitlusest jäi tähtede paiknemise selge muster siiski leidmata. Struve jõudis järeldusele, et „kaksiktähti leidub kõigis suundades, kuid vähem on neid seal, kus tähti üldse vähem näha on“. Loomulikult on seegi tulemus. Nii täitis kaart küll oma rolli meetodilise vahendina, kuid seda pole hiljem kuigi palju populariseeritud.

Kaheksa tähesuurust on kaardil tähistatud eri märkidega, kõik tähed on kantud hoolikalt koordinaatvõrgustikule. Et äärtel tekkivaid moonutusi vähendada, on kaart jaotatud siiludeks. Hoolimata sellisest meetodilisest käsitlusest jäi tähtede paiknemise selge muster siiski leidmata. Struve jõudis järeldusele, et „kaksiktähti leidub kõigis suundades, kuid vähem on neid seal, kus tähti üldse vähem näha on“. Loomulikult on seegi tulemus. Nii täitis kaart küll oma rolli meetodilise vahendina, kuid seda pole hiljem kuigi palju populariseeritud.

Mädleri Marsi-joonised

Järgmine Tartu ülikooli astronoomia-professor Johann Heinrich Mädler oli saanud enne Tartusse tulekut tuntuks oma aja täpseima Kuu-kaardi koostajana. Koos rikka Berliini pankuri Wilhelm Beeriga uuris Mädler Beeri eraobservatooriumis ka teisi planeete. Just nende koostöös sündis esimene Marsi-kaart, kuhu oli koondatud kogu punase planeedi kohta toona teada olev ja kriitiliselt läbi töötatud teave. Juba 1830. aastal, kui Mädler vaatlusi alustas, esitas ta idee koordinaatvõrgustikust koos nullmeridiaaniga, mida on Marsi kaardistamisel kasutatud tänini.



Struve kaksiktähtede kataloogi taevakaart (graveerinud Carl Julius Senff). F. G. W. Struve.

CATALOGUS NOVUS STELLARUM DUPLICIUM ET MULTIPLICIUM MAXIMA EX PARTE IN SPECULA UNIVERSITATIS CAESARIA DORPATENSIS PER MAGNUM TELESCOPIUM ACHROMATICUM FRAUNHOFERI DETECTARUM. DORPAT, 1827



TARTU ÜLIKOOLI RAAMATUKOGU

F. G. W. Struve (F. Schlateri litograafia)



TARTU ÜLIKOOLI RAAMATUKOGU

J. H. W. Mädler (Hoffmanni litograafia)

FRIEDRICH GEORG WILHELM STRUVE (1793–1864)

Friedrich Wilhelm Struve oli Tartu tähetorni juhataja aastatel 1820–1839, seejärel töötas kuni surmani Pulkovo observatooriumi direktorina. Teaduse ajalukku on ta läinud kolme suure teemaga, mis on seotud Maa ja taeva mõõtmisega. Esiteks, kaksiktähtede kataloog, mis ei ole tänini kaotanud oma teaduslikku väärtust. Teiseks, kataloogi koostamise käigus teoks saanud tähe kauguse mõõtmine, mis andis ettekujutuse universumis tegelikult valitsevatest vahemaadest, mida varem ei olnud võimalik tehniliselt mõõta. Ja kolmandaks meridiaankaare mõõtmine, mis aitas täpsustada Maa mõõtmeid ja kuju ning teha edaspidi täpsemaid kaarte. Nn suure Vene kraadimõõtmise käigus rajati aastail 1816–1855 Struve juhatusel ja koostöös eesti päritolu Vene armee kindrali Karl Tenneriga (1783–1859) piki Tartu tähetorni meridiaani triangulatsiooniahel Põhja-Jäämere äärest Musta mereni (2820 km). 2005. aastal kanti 34 kaare punkti 10 riigist UNESCO maailmapärandi nimekirja, sh Tartu tähetorn ja Simuna-Võivere baasjoone otspunktid. •

JOHANN HEINRICH MÄDLER (1794–1874)

Aastatel 1840–1865 Tartu ülikooli astronoomiaprofessorina töötanud Mädler on astronoomia ajaloo tuntud oma täpsete Kuu- (1836) ja Marsi- (1840) kaartidega ning omal ajal teati teda hästi ka astronoomia populariseerijana. Tema „Imeline Universum“ („Der Wunderbau des Weltalls oder populäre Astronomie“) elas üle kaheksa trükki. 1846. aastal esitas Mädler idee, et tähesüsteemi, näiteks meie galaktikat, valitsev jõud ei pea olema konkreetne keha, vaid võib olla lihtsalt pöörleva täheparve raskuse. Kuigi tolle aja vaatlusandmed olid napid ja Mädler otsis seda keset vales kohast, algatas ta väga viljaka teadusliku diskussiooni, seepärast peetakse teda teadusliku kosmoloogia rajajaks. •

Marsi nullmeridiaan läbib ala, mida nimetatakse Meridiani *planum*’iks ehk Meridiaani tasandikuks. Mädler ise tähistas Marsi pinnavorme lihtsalt tähtedega. 1870. aastate lõpus pani prantsuse astronoom Camille Flammarion objektile nimeks *Sinus meridiani* ehk Meridiaani laht, aga see nimetati ümber, kui sai selgeks, et vett Marsil

pole. Sellele tasandikule laskus näiteks marsikulgur Opportunity. Mädleril ja Beeril on kummalgi Marsil omanimeline kraater.

Vaatlusi tegid nad enamasti üsna tagasihoidliku teleskoobiga, kuid alates 1835. aastast oli neil aeg-ajalt võimalik kasutada Berliini observatooriumis üles pandud teleskoopi, mis oli

võrdväärne Tartu omaga. Oma kümne aasta töö tulemused – vaatlused tehti aastail 1830–1839 – avaldasid nad 1840. aastal prantsuskeelses teoses „Fragments sur les corps celestes du systeme Solaire“ („Fragmente päikesesüsteemi taevakehade kohta“). Järgmisel aastal ilmus raamat saksa keeles.



Marss 1841. aastal. Oma vaatluste põhjal joonistanud prof dr Mädler, litografeerinud F. Schlater (ÜR 9751). Flammarion võttis oma töösse 3 x 3 pilti ülalt paremast nurgast

Prantsuse astronoom ja paljude populaarteaduslike raamatute autor Camille Flammarion tõstis Mädleri ja Beeri tööd oma 1892. aastal ilmunud Marsi uurimise ülevaates esile kui esimest meetodilist uurimust Marsi pinnavormidest. Kaart, mille nad olid koostanud, jäi 30 aastaks ainsaks Marsi-kaardiks, millega teisi võrreldi. Pinnavorme jälgides määrasid Mädler ja Beer ühtlasi Marsi pöörlemisperioodi täpsusega alla ühe sekundi (24 t 37 min 23,7 s).

Kui Mädler 1840. aastal Tartusse astronoomiaprofessoriks tuli, oli tal selja taga 10 aastat vaatluspraktikat ning Kuu ja Marsi pinnavormide ülesjoonistamist. Seega on loogiline, et ta püüdis siinset teleskoopi kasutades – mis polnud küll enam kõige võimsam, ent kuulus siiski maailma parimate sekka – Tartus Marsi uurimist jätkata, seda enam, et 1841. aasta kevadel oli Marss Maale lähedal ning vaatlemiseks soodsas asendis ehk vastasseisus. Tartus tehtud vaatluste tulemused avaldas

Mädler 1842. aastal ajakirjas *Astronomische Nachrichten* pealkirja all „Marsi füüsilised vaatlused 1841. aasta vastasseisu ajal“ („Physische Beobachtungen des Mars bei seiner Opposition im Jahre 1841“). Koos tekstiga saatis Mädler toimetusse graafilise lehe 40 oma tehtud joonistusega. Saateartiklis kirjeldab Mädler planeedi pinnal märgatud värvusi ja nende muutumist, ning selgitab, et joonistel jäädvustatud plekid on talle tuttavad varasemast ajast, seega on need püsivad, mitte pilved vms. Heledat laiku pooluse lähedal tõlgendab ta polaarjäana ja oletab, et tumedus selle ümber suureneb kevadel selle pärvast, et jää sulab ja teeb pinnase niiskeks, ning väheneb talvel, mis annab võimaluse jälgida aastaegade vaheldumist Marsi poolkeradel.

Võrreldes varasemate vaatlustega ei lisanud need pildid küll täiesti uut teavet, kuid aitasid kinnistada tõdemust, et nähtud laikude puhul on tegu püsivate pinnavormidega.

Ajakiri *Astronomische Nachrichten* oli teadusajakiri, mistõttu oleksid need graveeritud Marsi pildid võinud kergesti jääda üksnes teadlaste kasutusse. Kuid uue elu andis neile Camille Flammarion, kes valis välja üheksa Mädleri tehtud pilti ja avaldas need Marsi uurimise ajalugu käsitlevas populaarses ülevaates „Planeet Marss ja selle elamiskõlblikkus“ („La planète Mars et ses conditions d’habitabilité“, ilmunud prantsuse keeles 1892. aastal, pildid lk 119, saksakeelses lk 104). Kuna Flammarioni teos ilmus ajal, kui Marss ja võimalikud kanalid ehitavad marslased oli väga kuum teema, ja teost tõlgiti paljudesse keeltesse, ületasid Mädleri joonistused sedakaudu keele- ja kultuuripiire. •

✍ **Lea Leppik** (1962) on Tartu ülikooli muuseumi kuraator ja Tartu ülikooli õiguse ajaloo kaasprofessor, kes uurib ülikooli ja teaduse ajalugu.

AMT



Astro & Micro Technics

Astronoomiline e-pood: AMT.EE

Meil on hea meel tervitada teid meie teleskoopide, mikroskoopide, binoklite ja muude optiliste seadmete poes. Meilt saate osta mis tahes maitsele ja eelarvele kohast eri taseme optikat: alates algajatele mõeldud mudelitest kuni suurte professionaalsete seadmeteni. Pakume laia valikut tooteid tuntud ja usaldusväärsetelt tootjatelt: Bresser, Sky-Watcher, Celestron, Omegon, Delta Optical jt.

Teleskoop või mikroskoop on suurepärase kingitus nii lapsele kui ka täiskasvanule. Optilised instrumendid avavad uusi, palja silmaga nähtamatuid maailmu ja kestavad aastaid. Et osata teha õiget valikut, soovime AMT.ee veebilehelt lugeda juhiseid, kuidas valida teleskoopi ja mikroskoopi.



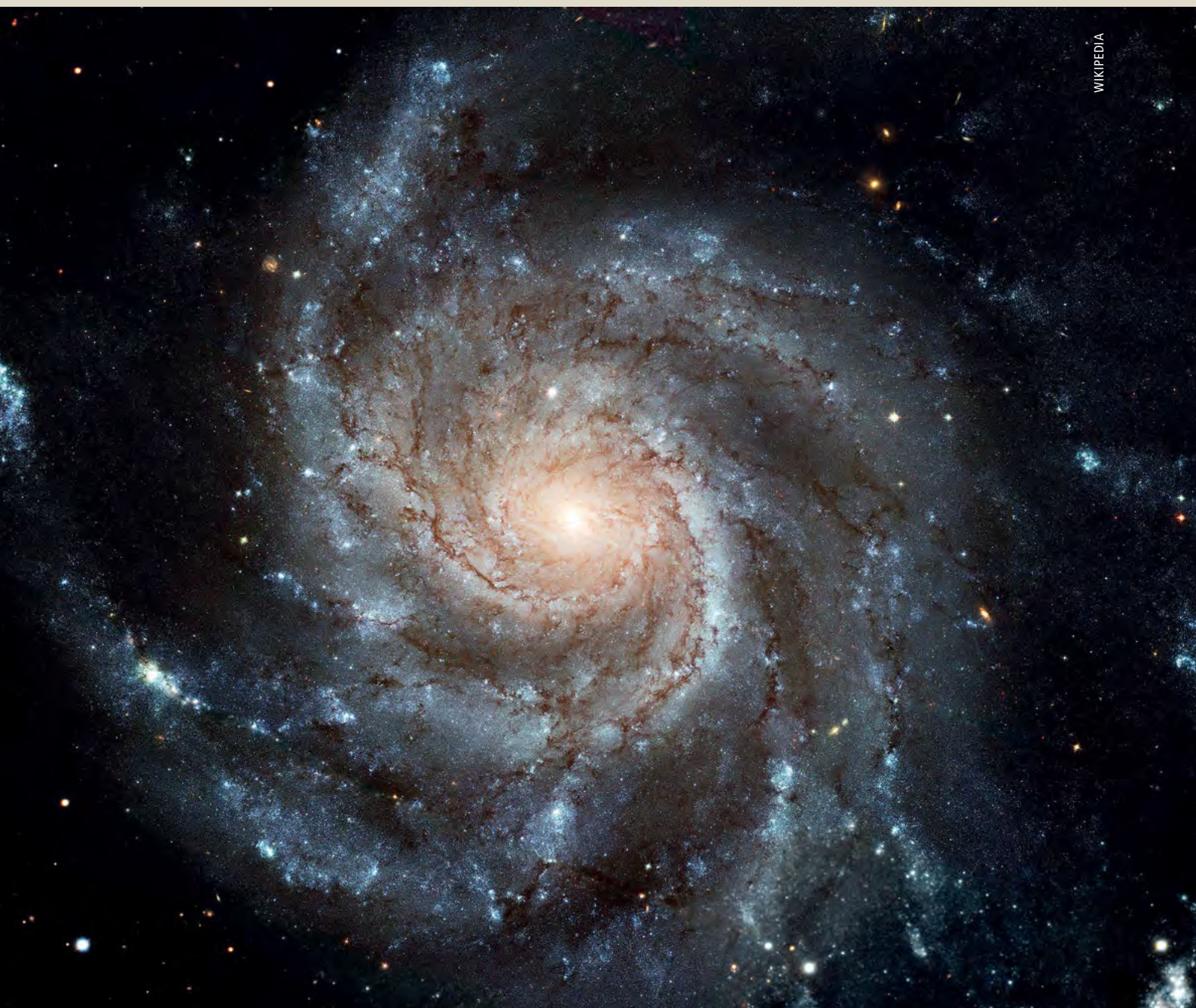
AMT.EE – teejuht nähtamatusse maailma!

autoriõigus MTÜ Loodusajakiri

RAHVATEADLASTELT TEADUSRAHVALE

TAAVI NIITTEE

Praegusajal koguneb teaduses iga päev palju rohkem andmeid, kui on teadlasi ja ühtlasi aega neid läbi töötada. Olgugi et nüüdisaegsed superarvutid ja nende jooksuputatud algoritmid võtavad osa sellest koormast enda kanda, jääb siiski üle rohkesti andmekildusid, mis vajavad lahtimõtestamiseks üht universumi universaalsemat ja kiiremat arvutit – inimaju.



WIKIPEDIA

Tuuleratta galaktika ehk M101 on näide tüüpilisest hiidspiraalgalaktikast, mis koosneb ligemale triljonist tähest

Üks populaarne paik, kus tavainimesed saavad oma võimsa märgvaraga teadlastele appi tulla, on rahvateaduse platvorm Zooniverse, mis on kasvanud välja 15 aasta tagusest vajadusest klassifitseerida suur hulk üles pildistatud galaktikaid. Kuigi nüüdseks saab veebilehel käe külge panna peaaegu igal teadusalal, pole Zooniverse oma juuri unustanud ning sealt leiab igal ajal kümneid parasjagu käsil olevaid kosmoseteadustega seotud projekte. Siin on toodud neist väike valik.

GalaxyZoo: galaktikate loomaaed

Kõigest sadakond aastat tagasi arvati, et universum koosneb vaid ühest galaktikast – Linnuteest. Nüüdseks teame, et vaadeldavas universumis võib leiduda triljoneid galaktikaid, ja neis omakorda kümneid või sadu miljardeid tähti. Mis tahes suunas taevast pildistades näeme neid saaruniver-

sumeid maailmaruumi külmas pimeduses üksteisest kõiksuse paisumise tõttu eemaldumas.

Galaktikad ei ole aga kõik samsugused, vaid jagunevad kolme põhiliki: Linnutee-sarnased suured spiraalgalaktikad, kohati veelgi suuremad elliptilised galaktikad ja korrapäratud enamasti pisemad kääbusgalaktikad. Neile lisanduvad kõikvõimalikud erivormid, mis on tekkinud pörkumiste ja lähedaste möödumiste käigus.

GalaxyZoo juba mitmendas jätkuprojektis on vabatahtlike ülesanne määrata üheskoos ära robotteleskoopide pildistatud galaktikate tüübid ja omapärad. Nimelt on nad universumisse laiali pillutatud kõikvõimalikes orientatsioonides (mõned paistavad serviti, mõned otse jne) ning arvutitel on raskusi, et neid piisava usaldusväärsusega ära tunda. Inimesel käib see peaaegu möödaminnes. Kusjuures

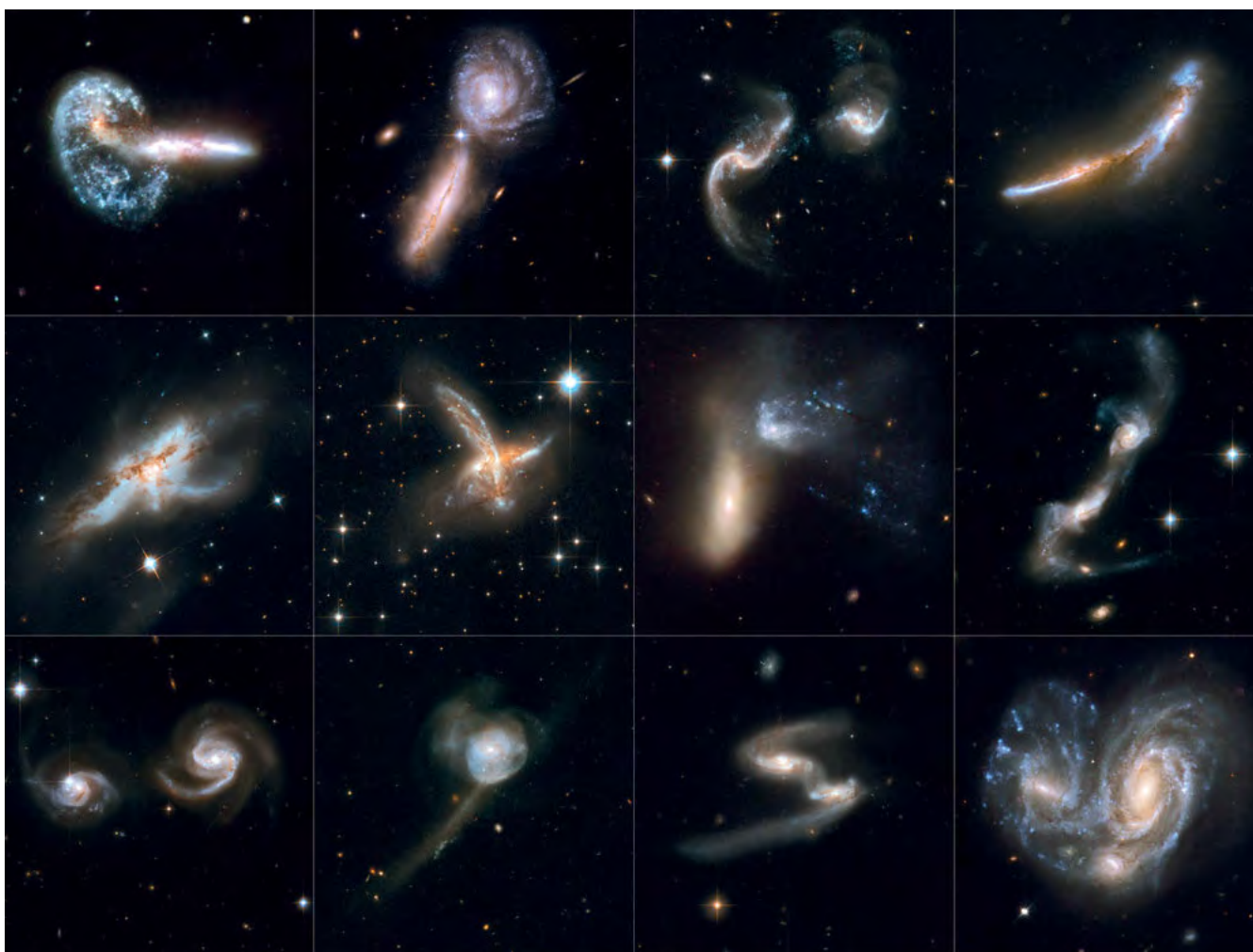
osa liigitatavatest galaktikatest näevad vabatahtlikud tõenäoliselt esimeste inimestena maailmas.

Vaata lähemalt: zooniverse.org/projects/zookeeper/galaxy-zoo/

Planet Hunters NGTS: järgmise põlvkonna planeedikütid

Eksoplaneete ehk planeete, mis tiirlevad ümber teiste tähtede, on praeguseks avastatud üle viie tuhande. Ehkki neid saab leida mitmel moel, on siiani edukaim olnud üleminekumeetod, mis eeldab, et kui kauge tähe ümber tiirlev planeet juhtub meie vaatenurgast tähe eest üle minema, siis tähe heledus õige pisut langeb. Jälgides korraga tuhandeid tähti ja tehes neist mõnede heleduses kindlaks perioodilisi langusi, saab kahtlustada eksoplaneedi olemasolu nende ümber.

Sel viisil on kõige enam planeete avastanud nüüdseks tegevuse lõpeta-



WIKIPEDIA/NASA/ESA

Galaktikate seas tuleb suhteliselt tihti ette pörkeid või riivamisi, mille käigus lüüakse nende kaunis struktuur segi ja tekivad alavormid, mida arvutitel on keeruline liigitada



WIKIPEDIA / ESO / G. LAMBERT

NGTS (Next-Generation Transit Survey) ehk järgmise põlvkonna ülemineku vaatlus koosneb tosinast robotteleskoobist, mis pidevalt jälgivad tuhandete tähtede heledust. Fotol teleskoobid Paranali observatooriumis Põhja-Tšiilis

nud kosmoseteleskoop Kepler, kuid siin-seal tegutsevad ka väiksemad sama põhimõtet rakendavad maapealsed teleskoobid. Üks sellistest on Põhja-Tšiilis Paranali observatooriumis töötav NGTS. See koosneb tosinast kaheksatollisest robotteleskoobist, mis jälgivad korraka ligi sajaruutkraadist taevaala ning muutusi selles asuvate tähtede heleduses. Arusaadavalt toodavad need teleskoobid igal ööl hulgaliselt andmeid.

Paraku ei ole tähtede heleduse langust alati põhjustanud eksoplaneedid: vaatlusi rikuvad ilmastikuolud ja mõnikord võivad vihjed eksoplaneedile olla peidetud arvutite jaoks juhusliku müra sekka. Planeediküttide ülesanne on hinnata heleduse muutuse graafikuid ning järeldada, kas neilt joonistub välja otsitav muster või mitte. Nii avaneb ka mitteastronoomidel võimalus avastada sõnas otses mõttes uusi maailmu.

Vaata lähemalt: zooniverse.org/projects/mschwamb/planet-hunters-ngts/

Radio Meteor Zoo: raadiometeooride loomaaed

Kui Maa liigub oma orbiidil ümber Päikese läbi peamiselt komeetide jäetud kosmiliste rusupilvede, veikleb igal aastal taevas kümneid suuremaid ja väiksemaid meteoorivoolusid. Tuntuimaid on augustikuised Perseiidid, kui

tunni jooksul võib silmaga näha kuni sadakonda „langevat tähte“. Tähtedega ei ole seal tegelikult midagi pistmist: heledaid jutte künnavad taevasse kruusatera mõõtu meteoriidid, mis sisenevad Maa atmosfääri kiirusega kümneid kilomeetreid sekundis.

Üks asi on loetleda meteore pime-das selges taevas, hoopis teine aga teha seda pilvisel päeval. Sel juhul saab kasutada meteooridest järele jäänud

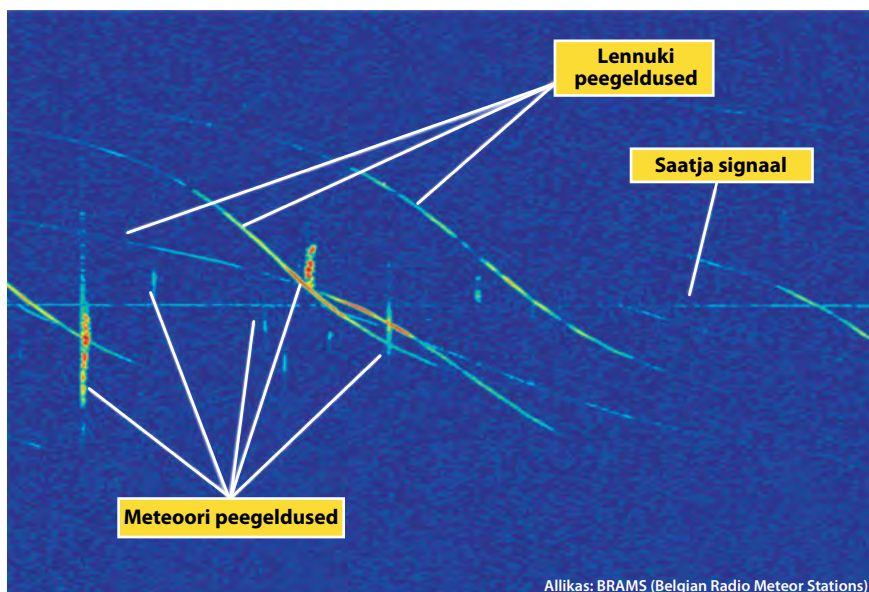
ioonsabased – piirkondi, kus meteooride sisenemisel vallandunud energia on rebinud õhuaatomid mõneks hetkeks ioonideks ja elektronideks, mis peegeldavad üsna edukalt raadiolaineid. Seda põhimõtet kasutab Belgiasse ehitatud raadiosaatjate ja vastuvõtjate võrgustik, mis püüab ööpäevas kinni tuhandeid meteooridest tingitud raadiokajasid.

Need jäädvustatakse värviliste spektrogrammidena, kust meteore suudab muude raadiopeeglite, näiteks lennukite seast kõige osavamalt eristada inimsilm. Sedaviisi kogutud andmeid analüüsides saab peale meteooride arvu teada nende suuna, massi ja kiiruse ning luua kujutluse meie Päikesesüsteemis paiknevate meteoriidipilvede kujust, tihedusest ja paiknemisest.

Vaata lähemalt: zooniverse.org/projects/zooniverse/radio-meteor-zoo/

Gravity Spy: gravitatsioonilainete luurel

Kuulsa Albert Einstein teooriad ennustasid, et üksteise ümber kiirendavalt liikuvad massiivsed kehad saavad endast eemale aegruumi perioodiliselt kokku ja lahku suruvaid laineid. Neid hakati nimetama gravitatsioonilisteks laineteks. Kuigi teadlane ise oli nende tuvastamise suhtes pigem skeptiline, mõtsid 2015. aastal selle tarbeks ehitatud LIGO detektorid gravitatsioonilaineid, mis olid alustanud oma teekonda meist 1,5 miljardi



Allikas: BRAMS (Belgian Radio Meteor Stations)

Näide selle kohta, kuidas raadiospektrogrammilt eristada pea kohal atmosfääri sisenevad meteooride raadiokajasid lennukipeegeldustelt



WIKIPEDIA

Aerofoto Virgo interferomeetrist Itaalias Toscanas. Detektori kolme kilomeetri pikkustes harudes peegelduvad edasi-tagasi laserikiired, mille abil saab mõõta vahemaid, mis hõlmavad tuhandiku prootoni läbimõõdust



NASA/JPL-CALTECH

Märkides kulgurite tehtud fotodel ära eri tüüpi pinnased ja ohtlikud takistused, õpetame nende navigeerimisprogrammidele seda edaspidi ise tegema

valgusaasta kauguselt vahetult enne kahe musta augu ühinemist. Uut sorti vaatlev astronoomia oli saanud ametliku alguse.

Nüüdseks on Ühendriikides asuvad LIGO kaksikdetektorid, Itaalias paiknev Virgo ja Jaapani KAGRA kinni püüdnud sadakond aegruumi virvendust või nende tugevat kandidaati. Iga

sellise signaali kohta tuvastavad detektorid aga suurel hulgal ümbritsevast keskkonnast ja instrumentidest tingitud mürasid. Pole ka ime, sest need masinad mõõdavad vahemaid, mis on kümme tuhat korda väiksemad kui prootoni läbimõõt ehk umbkaudu miljard miljardikku millimeetrit.

Gravitatsioonilainete luurajate töö

on liigitada valed signaalid ja müra teatud kategooriatesse. Nii õpetavad nad esialgu veel üsna rumalaid algoritme tegema seda üha paremini ja iseisvalt. Kokkuvõttes aitab see hoida detektorite andmevood võimalikult vaiksena, et universumi sügavustest alguse saanud lained oleksid kuulda-
vad.

Vaata lähemalt: zooniverse.org/projects/zooniverse/gravity-spy/

AI4Mars: õpetame marsikulгурid liiklema

Isesõitvad autod ei ole enam ammu uudis; kui kõik hästi läheb, võib neid meie tänavatel peagi sõitmas näha. Marsil ringi vuravatel kulguritel, millest uuemad ja suuremad annavad sõiduauto mõõdu välja, ei ole aga valikut: nad peavad vähemalt mingil määral suutma ise sõita. Seda mitte liiklusmärkide ega -tähistega tänavatel, vaid tundmatul planeedil, kus ei saa loota, et saabub abi.

Kulgurite vajadusel olla autonoomsed on mõõdapääsmatu põhjus. Nimelt lahutab Maad ja Marssi olenevalt planeetide asetusest Päikesesüsteemis 50–401 miljonit kilomeetrit, mida valguse kiirusel leviv raadioside ületab 4–24 minutit. Sellise viivituse tõttu ei tule kõne allagi, et neid saaks lihtsalt maises laboris puldiga reaalajas juhtida. Pigem antakse kulguritele käsk sõita huvitavasse asukohta, kuid sinna jõudma peavad nad omal käel.

AI4Marsi kaudu saavad inimesed aidata kulgurite navigeerimisprogrammidel areneda üha paremaks. Selleks tuleb vaadata kulgurite tehtud fotosid Marsi pinnast ning märkida sinna mitmesuguste pinnasetüüpide, liivadüünide ja ohtlike kivide asukohtad. Piisava hulga näidete najal saavad arvutid õppida Marsi pinda iseisvalt eristama. Loodetavasti õnnestub niimoodi vältida olukordi, kus hindamatu teadusliku väärtusega kulgur peab kujundlikult liivaaugus kummi vilistama.

Vaata lähemalt: zooniverse.org/projects/hiro-ono/ai4mars/ •

Taavi Niitsee (1987) on hobiastronoom, astrofotograaf ja Tõrva astronoomiaklubi eestvedaja.

SEPTEMBER-OKTOOBER

• **2. septembril** väljusid rahvusvahelisest kosmosejaamast ISS avakosmosesse kosmonaudid Oleg Artemjev ja Deniss Matvejev. Jätkati Euroopa robotkäe paigaldamist. Välitööd kestsid 7 tundi ja 47 minutit.

• **5. septembril** startis Canaverali neemelt kosmosejõudude stardiplatvormilt nr 40 SpaceX-i kanderakett Falcon 9 ja viis orbiidile 51 järjekordset Starlinki seeria satesatelliiti ning firma Spaceflight ehitatud veolaeva Sherpa-LTC. Sherpa-LTC-ga saab satelliite viia pärast peamise kanderaketi töö lõppemist lisaorbiidile. Seekord viidi kohale Varuna-TDM lairibasidete tehiskaaslane.

• **7. septembril** startis ESA Prantsuse Guajaana kosmoodroomilt kanderakett Ariane 5, et viia orbiidile lairibasidesatelliit Eutelsat Konnect VHTS.

• **11. septembril** startis NASA Kennedy kosmosekeskuse stardiplatvormilt nr 39A SpaceX-i kanderakett Falcon 9, mis viis orbiidile 34 Starlinki seeria satesatelliiti ja firma AST SpaceMobile lairibasidesatelliidi BlueWalker 3. Kanderaketi esimesele astmele oli see rekordiline 14. start.

• **12. septembril** startis USA-st Texase osariigist ettevõtte Blue Origin stardikompleksist rakett New Shepard, et viia ballistilisele lennule mehitamata meeskonnamoodel NASA tellitud katsetega. Pärast umbes minutilist lendu seiskus ootamatult kanderaketi mootor. Meeskonnamoodel eraldus päästemootori abil kanderaketist ja maandus edukalt langevarju abil. Küll aga kaotas Blue Origin ühe oma kahest New Shepardi kanderaketist.



Kunstniku nägemus veolaevast Sherpa-LTC Maa orbiidil

• **13. septembril** startis Hiinast Hainani saarelt Wenchangi kosmosekeskusest kanderakett Long March 7A ja viis orbiidile militaarsatesatelliidi Zhongxing 1E.

• **15. septembril** startis Uus-Meremaa põhjasaarelt asuvast Rocket Labi baasi stardikompleksist kanderakett Electron, mis viis orbiidile Jaapani firma Synspective radartehiskaaslase StriX 1.

• **19. septembril** startis Canaverali neemelt kosmosejõudude stardiplatvormilt nr 40 SpaceX-i kanderakett Falcon 9,



New Shepardi meeskonnakapsli päästemootorid on käivitunud, et eralduda ootamatult seiskunud kanderaketist

et viia orbiidile 54 järjekordset Starlinki seeria satesatelliiti.

• **21. septembril** startis Kasahstanist Bajkongõri kosmodroomilt Vene kanderakett Sojuz-2.1a ja viis orbiidile kosmoselaeva Sojuz MS-22. Viimase pardal olid Vene kosmonaudid Sergei Prokopjev ja Dmitri Petelin ning NASA astronaut Frank Rubio. Kolme tunni ja 16 minuti pärast põkkuti kosmosejaamaga ISS.

• **24. septembril** startis Canaverali neemelt kosmosejõudude stardiplatvormilt nr 40 SpaceX-i kanderakett Falcon 9 ja viis orbiidile 52 järjekordset Starlinki seeria satesatelliiti.

• **24. septembril** startis Vandenbergi kosmosejõudude baasi stardikompleksist nr 6 United Launch Alliance'i kanderakett Delta 4-Heavy ja viis missiooni NROL-91 käigus orbiidile USA riikliku luureameti satelliidi.

• **26. septembril** „rammis“ NASA kosmosesond DART asteroidi Dimorphos, et uurida, kas sel moel on võimalik muuta taevakehade orbiiti. Saadud teave võib osutada kasulikuks,

kui on vaja muuta mõne Maaga kokkupõrkekursil oleva taevakeha liikumist. 11. oktoobril avaldatud mõõtmistulemused näitasid, et kokkupõrke tõttu lühenes ümber asteroidi Didymos tiirleva Dimorphose tiirlemisperiood 32 minuti võrra.

• **29. septembril** eraldus kosmosejaamast ISS kosmoselaev Sojuz MS-21, mille meeskonnamoodel maandus edukalt Kasahstani stepis Žezkazgani linna lähedal. Pardal olid Roskosmose kosmonaudid Oleg Artemjev, Deniss Matvejev ja Sergei Korsakov. Nende missioon kestis 195 ööpäeva.



11 sekundit enne kokkupõrget ehk 68 kilomeetri kauguselt tegi kosmosesond DART Dimorphosest viimase pildi

SPACEFLIGHT

JAMSTILLQW3RTY / WIKIPEDIA/ESA

NASA / JOHNS HOPKINS APL



Kanderaketi Alpha start

- **1. oktoobril** startis Vandenbergi kosmosejõudude baasist firma Firefly Aerospace väikeste satelliitide kanderakett Alpha, mis viis katselennul orbiidile kolm kuupsatelliiti. Sellega liitus Firefly Aerospace klubiga, kuhu juba kuuluvad SpaceX, United Launch Alliance, Northrop Grumman, Rocket Lab, Virgin Orbit ja Astra.

- **4. oktoobril** startis Canaverali neemelt kosmosejõudude stardiplatvormilt nr 41 United Launch Alliance'i kanderakett Atlas 5, et viia orbiidile telekommunikatsioonisatelliidid SES 20 ja SES 21.

- **5. oktoobril** startis NASA Kennedy kosmosekeskuse stardiplatvormilt nr 39A SpaceX-i kanderakett Falcon 9 ja viis orbiidile kosmoselaeva Dragon Endurance, pardal NASA astronautid Nicole Mann ja Josh Cassada, Jaapani astronaut Koichi Wakata ning Vene kosmonaut Anna Kikina. 29 tunni pärast põkkuti kosmosejaamaga ISS, kuhu jäädakse viiekuulisele missioonile.

- **5. oktoobril** startis Vandenbergi kosmosejõudude baasist SpaceX-i kanderakett Falcon 9, mis viis orbiidile 52 Starlinki seeria satesatelliiti.

- **7. oktoobril** startis Uus-Meremaa põhjasaarel asuvast Rocket Labi baasist kanderakett Electron ja viis orbiidile Argose seeria satelliidi Gazelle, mis hakkab edastama automaatilmaajaamade andmeid ja jälgima elusloodust.



Jessica Watkins, Bob Hines, Kjell Lindgren ja Samantha Cristoforetti ISS-il enne tagasilendu koju

JACOB RENDON / WIKIPEDIA

- **8. oktoobril** startis Canaverali neemelt kosmosejõudude stardiplatvormilt nr 40 SpaceX-i kanderakett Falcon 9, et viia orbiidile videoedastustehiskaaslasel Intelsat Galaxy 33 ja 34.

- **10. oktoobril** startis Plessetski kosmodroomilt Vene kanderakett Sojuz-2.1b ja viis orbiidile Vene Glonass K süsteemi navigatsioonisatelliidi Kosmos 2559.

- **12. oktoobril** startis Kasahstanist Bajkongõri kosmodroomilt Vene kanderakett Proton, mis viis orbiidile Angoola satesatelliidi Angosat 2.

- **14. oktoobril** eraldus kosmosejaamast ISS SpaceX-i kosmoselaev Crew Dragon Freedom ja tõi Maale tagasi NASA astronautid Kjell Lindgreni, Bob Hinesi ja Jessica Watkinsi ning ESA astronadi Samantha Cristoforetti. Missioon kestis 170 ööpäeva ning maanduti ettenähtud piirkonnas Atlandi ookeanis.

- **15. oktoobril** startis Canaverali neemelt kosmosejõudude stardiplatvormilt nr 40 SpaceX-i kanderakett Falcon 9 ja viis orbiidile Eutelsati telekommunikatsioonitehiskaaslase Hotbird 13F.

- **15. oktoobril** startis Plessetski kosmodroomilt Vene kanderakett Angara 1.2, et viia orbiidile väike Vene militaarsatelliit Kosmos 2560.

- **20. oktoobril** startis Canaverali neemelt kosmosejõudude stardiplatvormilt nr 40 SpaceX-i kanderakett Falcon 9 ja viis orbiidile 54 järjekordset Starlinki seeria satesatelliiti.

- **22. oktoobril** startis Votšnõi kosmodroomilt Vene kanderakett Sojuz-2.1b, mis viis orbiidile kolm Vene internetiandmeside demosatelliiti Gonets-M.

- **22. oktoobril** startis India idarannikult Satish Dhawani kosmosekeskusest India kanderakett Geosynchronous Satellite Launch Vehicle Mk.3 (GSLV Mk.3), et viia orbiidile 36 järjekordset OneWebi satesatelliiti. GSLV Mk.3 on India võimsaim kanderakett, mis vahetab OneWebi jaoks välja seni kasutatud Vene kanderaketid Sojuz.



India kanderaketi GSLV Mk.3 start

ISRO

- **26. oktoobril** startis Kasahstanist Bajkongõri kosmodroomilt Vene kanderakett Sojuz-2.1a ja viis orbiidile veo-laeva Progress MS-21, et viia kosmosejaama ISS 2,5 tonni kütust, vett, lämmastikku ja muud varustust. 28. oktoobril põkkuti edukalt kosmosejaamaga.

- **28. oktoobril** startis Vandenbergi kosmosejõudude baasist SpaceX-i kanderakett Falcon 9 ja viis orbiidile 53 Starlinki seeria satesatelliiti.

✍️ **Jüri Ivask**, Horisondi kosmosekroonik



1924. aasta ja 2022. aasta
Tähetorni Kalendrid

Õpiku alustatud Tähetorni Kalender saab peagi 100-aastaseks

Peaaegu sada aastat tagasi, 1923. aastal, tuli Ernst Julius Õpik mõttele asutada paljude teiste observatooriumide eeskujul kalender astronoomiahuvilistele. Selles pidid olema tabelid Päikese tõusude ja loojumiste kohta vähemalt kahes Eesti linnas, tabelid planeetide nähtavuse kohta, andmed päikese- ja kuuvarjutuste ning muutlike tähtede kohta jpm. Õpik nägi ette ka kalendri lisa, nagu on populaarsele väljaandele kohane.

Nii avaldatigi 1923. aasta lõpus esimene Tähetorni / Tartu Tähetorni Kalendri number. Traditsioonile oli alus pandud. On imeks pandav, et kalender jätkas ilmumist isegi sõja-aastatel. Ainuke kord, kus väljaanne jäi ilmutamata, oli 1950. aasta. Pole teada, kas toimetaja unustas või oli põhjus selles, et tollal võideldi vihaselt kodanliku natsionalismi vastu ning tähetorni personal kartis repressioone. Võib-olla õigusega, sest Õpik, kes oli pärast Moskva ülikooli lõpetamist 1916. aastal saadetud Taškenti kodusõjast laastatud Venemaa kaudu, ei olnud Eestise naasnuna bolševike tegevust kirjeldades eriti tagasihoidlik. Ja kuigi Õpik ise oli ammu tööel Irimaal Armagh' observatooriumis – selle linna oli ta valinud oma elukohaks kui kõige rahulikuma paiga Euroopas –, võisid kommunistliku partei funktsionäärid pidada tähetorni vastaliste pesaks.

Pidades tähetorni kalendri esimest numbrit kogu järgneva tegevuse tooniandjaks, otsustasin võtta just selle lisa terase vaatluse alla. Selleks ei pea minema raamatukokku, vaid saame kasutada Jaan Peldi suure asjatundlikkusega loodud virtuaalse muuseumi materjale internetis aadressil muuseum.to.ee/Main/HTML/.

Mis on seal siis kõne all? Nagu kord ja kohus, on esimene artikkel Tartu ülikooli astronoomiaprofessori ja tähetorni juhataja David Rootsmanni sulest (tema nimi muutus meile palju tuttavamaks Taavet Rootsmäeks alles 1937. aasta kalendris). Ta on kirjutanud astronoomia kultuurilisest väärtusest enne ja nüüd ning jõudnud järeldusele, et sageli oletatud teaduse ja kaunite kunstide vastandliikkus ei saa olla õige: „On räägitud ja kirjutatud, et taided olla soojatundelised ja inimlikud, teadus aga külm ja vali. Ometi pole ilu mitte ainult taideile omane, vaid ka teadusis on kaunist ja harmoonilist, mis esteetiliselt paelub“. See oli lausa tähenduslik, sest Rootsmäe on tähetorni juhatajatest olnud võib-olla kõige suurem *realia* ja *humanitaria* siduja läbi aegade.

Õpik on kirjutanud lendtähtede vaatlustest ja kaksiklugemise meetodist, mille ta oli välja mõelnud juba õpingute ajal Moskva ülikoolis ja käsitlenud seda ajakirjas Mirovedenije. Kuid alles Taškendis kasutas ta 1920. aastal seda meetodit esimest korda selleks, et uurida perseiidide meteorivoolu.

Kalendri lisa on Õpik avaldanud selle meetodi ja ühtlasi augustis 1920 Taškendis tehtud perseiidide vaatluste põhjaliku kirjelduse. Tookord oli meteorisadu eriti tugev, sest 11. augustil oli ühe tunni jooksul näha keskmiselt 196,7 meteori, seega minutis keskmiselt 3,3 meteori!

Ka teine artikkel, sedakorda tähtede evolutsioonist, on Õpiku sulest. Seda me ei saa liigitada Õpiku enda tähtede evolutsiooni kohta käivate tööde ülevaateks, sest esimese artikli tähtede evolutsiooni nime all avaldas ta alles 1938. aastal Tartu observatooriumi väljaandes „Publicationes de l'Observatoire Astronomique de l'Université de Tartu“. Sellest hoolimata ilmneb Õpiku artiklis erilise selgusega tema oskus kasutada mõttetavust suurejooneliste kosmiliste protsesside kvantitatiivsel kirjeldamisel. Ta on nentinud, et „tähtede evolutsioon jääb üheks põnevamaks uurimisaineks praeguselgi ajal: iseäranis huvitavaks teeb selle küsimuse asjaolu, et meie päikese – ja, tähendab ka maakera – saatus on tähtede ilmas valitsevaist arenemisseadusist“.

Tähtede elutee kirjeldamiseks otsustas Õpik kasutada tähestatistikast ning selleks minna tähtede näivalt heleduselt (mis on vaatluse jaoks) üle nende bolomeetrisest heleduse-

le (tähe bolomeetrisest heledus on suurus, mis mõõdab tähe integraalset kiirgust; see on absoluutne suurus ega olene vaatluse kaugusest).

Statistika abil on Õpik teinud järelduse, et tähtede gravitatsiooniline jahutumine ei vasta sugugi vaatlustulemustele ja meil tuleb pöörduda radioaktiivse jahutamise teooria poole, mis annab „õige rahuldava kokkukõla vaatlusiga“.

Nii jõudis Õpik füüsikaseaduste ja lihtsate rehkenduste abil järeldusele, mis on praeguseks kujunenud kalju-kindlaks.

Esimese Tähetorni Kalendri lisa neljandas artiklis on assistent A. Pohla andnud väga põhjaliku detailirikka ülevaate observatooriumi ajaloo kohta. Ta on esitanud üksnes kuivad faktid, peatumata nende omavahelistel seostel või nende abil saadud järeldustel. Sellisena on Pohla artikkel ajaloolasele väga väärtuslik.

Tähetorni Kalendri esimese numbrilisa on nüüd enam-vähem kirjeldatud. Mis sai edasi? Kõiki kalendrid ma läbi lugema ei hakanud, kuigi alates 1960. aastatest on lisad mul tõepoolest läbi loetud. Väga üldise ülevaate saamiseks lugesin kokku lisa autorite arvu ja sain üle 120 isiku, kelle sulest on üle 880 artikli. Kõige rohkem artikleid on kirjutanud Mihkel Jõeveer: ligi 70! Arvatavasti tean selle suure arvu põhjust. Nimelt, mõnda aega oli Mihkel kalendri peatoimetaja ja kui ta oli väga tüdinunud autoritele nende lubaduste täitmise tähtaegu meelde tuletamast, siis võttis ta sulepea ja kirjutas need artiklid ise. Artiklite hulgal kuuluvad järgmisse üsna tihedasse jälitajate rühma Ernst Julius Õpik, Taavet Rootsmäe, Grigori Kusmin ja Jaan Einasto, kõigil artikleid üle 30.

Nüüd, olnud päris pikka aega üks kalendri toimetaja, olen ettepanekule kirjutada selle lissasse artikkel oma tööst või astronoomiast üldse saanud enamasti heatahtliku vastuse. Kuid mitte alati. See on mõneti arusaadav, sest uurimise saamiseks on olulised artiklid tähtsates ajakirjades. Teatud kauguses järgnevad neile artiklid vähem tähtsates ajakirjades. Siis on väga pikk tühi maa ja alles seejärel tulevad populaarsed artiklid, otsekui polekski teadlaste asi seletada maailma inimestele, kes selle eest neile maksavad. •

Tõnu Viik, Tartu ülikooli Tartu observatooriumi teaduslik nõustaja

Laura Ertimo, Sanna Pelliccioni
Pisiteadus. Kus sa oled?

2020, kõvaköide, 34 lk, 215x215

Laura Ertimo, Sanna Pelliccioni
**Pisiteadus. Nähtamatu maailm.
Mängime peitust!**

2021, kõvaköide, 40 lk, 215x215

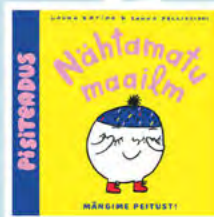
Julija Kolomojets, Alla Hutnitšenko
Ebatavalised elukutsed

2022, kõvaköide, 90 lk, 218x290

Laura Ertimo, Aapo Ravantti
Mis on robot?

2022, kõvaköide, 62 lk, 150x215

KÕIGE
VÄIKSEMATELE



Jõulukingiks uudishimulikele lastele Avita kirjastuselt

Marc Van Ranst, Geert Bouckaert
Koletislikud mikroobid

2022, kõvaköide, 64 lk, 195x245

Laura Ertimo, Mari Ahokoivu
Imelik ilm! Miks kliima muutub?

2020, kõvaköide, 48 lk, 240x255

Laura Ertimo, Satu Kontinen
**Lummas planeet Maa. Jutustused
ja ainulaadsed kaardid**

2021, kõvaköide, 58 lk, 245x305

Laura Ertimo, Mari Ahokoivu
**Ajarännak! Loore, Kaspar ja
kaduva looduse mõistatus**

2022, kõvaköide, 80 lk, 240x255

Jack Challoner
Teaduse lugu

2012, kõvaköide, 96 lk, 218x268

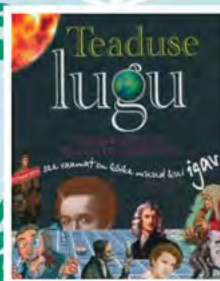
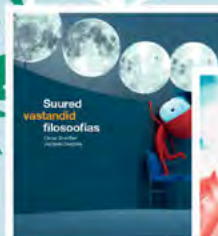
Yvan Pommaux, Christophe
Ylla-Somers
Meie ja meie lugu

2015, kõvaköide, 96 lk, 300x300

Oscar Brenifier, Jacques Després
Suured vastandid filosoofias

2020, kõvaköide, 80 lk, 250x250

NATUKE
SUUREMATELE



AVITA
www.avita.ee

HELI LÄTT

KOSMOSEHARIDUSKONTOR AITAB ÕPPETÖÖSSE LISADA KOSMOSE VÜRTSI

Eesti õpetajate kõne rahvusvahelisse kosmosejaama astronaut Thomas Pesquet'le. Eesti gümnasisti usutlus kosmosest naasnud astronauti Matthias Maureriga. Õpilaste karjäärpäev ja praktilised tööd koos edukate Eesti kosmoseettevõtete, observatooriumi inseneride ja teadlastega. Peale selle õppematerjalide koostamine, hulk õpetajakoolitusi ja kosmoseteemalised töötoad koolides. Need on vaid üksikud tähtsüüsed, mille taga on Tõraveres Tartu observatooriumis tegutsev kosmosehariduskontor.



FOTOD: MARIA-LIISA PLATS

Klassiekskursioon Tartu observatooriumis. Kosmos on õpilastele väga huvitav teema, küsimustest ei jää lastel kunagi puudu

Euroopa kosmoseagentuur lõi 17 aastat tagasi Euroopa kosmosehariduskontorite võrgustiku ESERO (European Space Education Resource Office), et toetada üldharidust. Üks ESERO kontor on juba kaks aastat tegutsenud Tõraveres. Nagu kõigil teistel omastugustel on selle eesmärk muuta loodust ja täppisteadused kosmosetemaatika kaudu õpilastele põnevaks. Rahvusvahelise noorte teadmiste ja oskuste uuringu ehk PISA-testide tulemuste põhjal paeluvad Eesti lapsed astronoomia ja kosmose teemad. Seega on kosmos hea valdkond, mille abil kooliajal hoida ja suurendada õpilaste huvi füü-

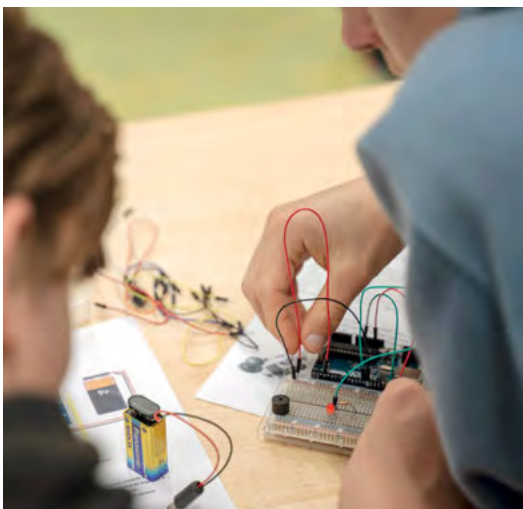
sika, keemia, matemaatika ja tehnoloogia vastu.

ESERO Eesti kontor ja Tartu observatooriumi külastuskeskus töötavad selle nimel käsikäes ja teineteist täiendades. Oma tegevusega näitame õpilastele koolis õpitud teadmiste olulisust ning seotust igapäevaelu ja tööga. Näiteks matemaatikatunnis Pythagorase teoreemi õppides saab selle elulise kasutusallana esile tõsta Wilhelm Struve meridiaankaare pikkuse mõõtmise või nüüdisaegse satelliitnavigatsiooni. Paraku ei oska õpilased tihti niisuguseid asju koolis õpitavaga siduda.

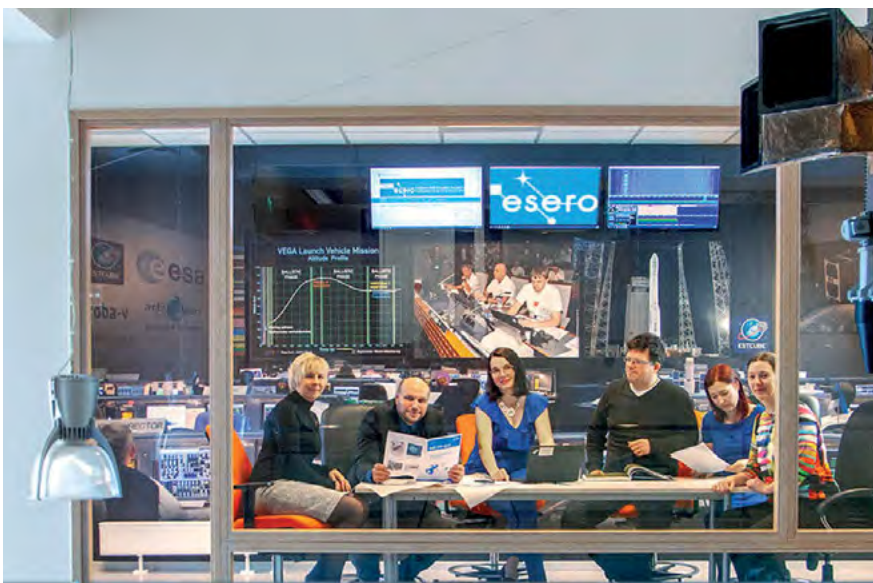
ESERO kontor tutvustab kosmose-

valdkonda õpilastele kolmel moel: koolitame süsteemselt õpetajaid, koostame eestikeelseid õppematerjale ja korraldame õpilaste innukust soodustavaid üritusi.

Kõige tõhusam neist moodustest on õpetajakoolitus koolides. ESERO-l on välja töötatud omaette õpetajakoolitus, mis hõlmab koolides kõiki aineõpetajaid. Selle tulemusena valmib iga kooli võimalusi ja vajadusi arvestav kosmosepäeva või -nädala kava. Koolituse kavasse kuuluvad töötoad, kus õpetajatele tutvustatakse uusi või tuntud õppematerjale, mis on seotud kosmosvaldkonnaga. Muu hulgas saavad



Lastel on kõige põnevam uurida looduse seaduspärasusi omal käel. ESERO kosmosehariduskontor korraldab õpetajatele mitmesuguseid praktilisi töötubasid



ESERO Eesti meeskond koosolekulaua taga

õpetajad kuulata teadlase populaarteaduslikku ettekannet, mis puudutab mõnda observatooriumi uurimisala: kosmoloogiat, tähefüüsikat, satelliitkaugseiret, kosmosetehnoloogiat ja laboreid, kus niisugust tehnikat arendatakse. Niisugune tasuta koolitus korraldatakse koolis, kes on selleks soovi avaldanud.

Teisalt pakub ESERO igal aastal õpetajatele võimalust suunata õpilased oma põhikooliastme loovtöö ja gümnaasiumi uurimis- või praktilise töö tarbeks otsima ideid Euroopa kosmosesagentuuri teemade seast. Näiteks on õpilastel võimalik valida järgmised teemad:

- Kuu-asula ehitamine, mille käigus peavad õpilased täpsemalt uurima ja läbi mõtlema, kuidas saaks rajada Kuule mehitatud uurimisjaama ning millised inimese eluks vajalikud tingimused tuleks seal luua;

- kliimadetektiivid: õpilased uurivad oma kodukoha kliima muutumist, võrreldes maapealsete ilmajaamade mõõtmisandmeid lihtsalt kättesaadavate satelliidiandmetega;

- missioon X ehk trennime nagu astronaut: eesmärk on astronauti elukutse näitel motiveerida põhikooli esimese astme lapsi olema kehaliselt aktiivne, toituma tervislikult ja õppima inimest paremini tundma.


- purgisatelliidi CanSat ehitamine: see pakub head väljundit noortele entusiastlikele inseneridele. Õpilastel tuleb täita kaks ülesannet: 1) ehitada satelliit, mis on võimeline mõõtma õhutemperatuuri ja rõhku ning neid andmeid igal sekundil maapealsesse sidejaama saatma; 2) korraldada CanSatiga omal valikul teaduslik või inseneritehniline katse. ESERO toetab osalejaid teadmiste ja võimaluse korral ka vahenditega.

- AstroPi: selle raames saab rahvusvahelise kosmosajaama pardal teha oma kosmosekatse kahel raskusastmel, mis eeldavad programmi kirjutamist Raspberry Pi arvutile.

Ühtlasi pakub ESERO õpetajatele Eesti õppekava kohaseid kosmosetematilisi õppematerjale ja -videoid. Selleks tõlgitakse ja kohandatakse ESERO varamu materjale, aga koostatakse ka uusi abivahendeid, arvestades meie koolisüsteemi vajadusi. Näiteks, koostöös ESERO Eesti, küberturvalisusega seotud ürituste korraldaja ja noori selles vallas tegutsema suunava CTF Techi ning observatooriumi inseneridega said selle aasta teisel poolel valmis kübervaldkonna kosmoseteemalised ülesanded.

ESERO pakub kosmosehariduse edendamiseks koolidele tuge veel mitut moodi: huvilised saavad tasuta laenutada õppekomplekte ja rändnäitusi koos nendega seotud töölehtedega. Ilmselt üks suuremaid ja erilisemaid üritusi, mida ESERO Tõravere observatooriumis korraldab, on karjäärpäev „Karjäärireedel viib kosmosesse“, mis tuleb taas 2023. aasta septembris. Peale selle aitab ESERO kaasa Tartu observatooriumi kümneaastase traditsiooniga „Teadusmalevale“, mis on mõeldud gümnaasiumiõpilastele uurimis- ja praktiliste tööde tegemiseks.

Praegu on viimane võimalus lisada ESERO järgmise aasta koolituste kalendrisse uusi koole. Huvitatud koolid ja õpetajad võiks sellest teada anda või lisainfot küsida e-posti teel aadressil esero@ut.ee. ESERO Eesti pakutavate võimaluste kohta leiab lisateavet veebilehelt esero.ee.

 **Heli Lätt**, Tartu observatooriumi külastuskeskuse ja ESERO Eesti juht

KARMEN LAUD

RAHVUSVAHELISELT ASTRONOOMIA- JA ASTROFÜÜSIKAOLÜMPIAADILT TULI EESTISSE MEDAL

Tänavune rahvusvaheline astronoomia- ja astrofüüsikaolümpiaad peeti Gruusias. Üks meie võistkonna õpilane pälvis seal pronksmedali.

Eesti tiimi tänavune astronoomia- ja astrofüüsikaolümpiaadi hooaeg algas 10. aprillil lahtise võistlusega. Gümnaasiumiõpilastele mõeldud vanemas rühmas saavutasid edu kogunud võistlejad: Pärnu Koidula gümnaasiumi 12. klassi õpilane Henriete Toomlaid (1. koht) ja Tallinna reaalkooli 12. klassi õpilane Michelle Jakobson (2. koht). Kolmanda koha pälvis

aga peamiselt füüsikale keskendunud Hugo Treffneri gümnaasiumi 11. klassi õpilane Ander Pavlov. Nooremas vanuserühmas oli esirinnas Tallinna reaalkooli 9. klassi õpilane Saskia Põldmaa, teise ja kolmanda koha said vastavalt Tartu Kivilinna kooli 9. klassi õppurid Ralf Robert Paabo ja Mihkel Tali, mõlemad astronoomias uustulnukad.

Eesti-Tšehhi maavõistlus

Lahtise võistluse parimad kutsuti juunis Eesti-Tšehhi maavõistlusele, kus saime koos Tšehhi õpilastega harjutada mõlema

riigi juhendajate käe all üheksa päeva pikkuses laagris. Enamasti reisitakse kordamööda mõlemasse riiki, aga viimasel kahel aastal on võistlus peetud Tšehhis. Tänavu esindas seal Eestit üksteist osalejat: kolm juhendajat ja kaheksa õpilast. Esimest korda toimus Eesti-Tšehhi maavõistlus 2016. aastal. Kaheksas jõuproov peetakse järgmisel aastal Eestis.

Sel aastal võõrustas meid Tšehhis Poola piiri äärne linnake Pec pod Sněžkou, mis asub riigi kõrgeima mäe Sněžkou lähedal. Mägine maastik sobis hästi Tšehhi õpilaste lemmiktegevuseks matkamiseks. Iga



FOTOD: ERAKOGU

Eesti võistkond Gruusias rahvusvahelise astronoomia- ja astrofüüsikaolümpiaadi ajal korraldatud väljasõidul (vasakult): giid Lika Zurabiani, Karolin Laud, Saskia Põldmaa, Karmen Laud ja Ralf Robert Paabo



Saskia Põldmaa ühel õlal on Eesti võistkonna maskott Kivi Muna ja teisel tema elus liigikaaslane. Saskia kõrval seisab Karmen Laud

vaba hetke veetsime matkates, ka Sněžkou mäel saime käidud.

Laagri lõpus peeti rahvusvahelise olümpiaadi vormis võistlus, kus pandi proovile meie teoreetilised ja andmeanalüüsioskused ning teadmised taevast. Tšehhi õpilastel võimaldas see võistlus pelgalt harjutada. Eestlastele oli võistlus suurema kaaluga, sest meie viis parimat õpilast pidid saama Eesti võistkonda rahvusvahelisel astronoomia- ja astrofüüsika-olümpiaadil (IOAA). Tänavu sai esimese koha laagri pesamana Saskia Põldmaa, teise ja kolmanda koha vastavalt Saskia koolikaaslased Michelle Jakobson 12. ja Karolin Laud 11. klassist. Neljanda koha pälvis Ralf Robert Paabo ning viiendana sai võistkonda Karmen Laud Tallinna reaalkooli 11. klassist.

Seiklus Gruusias

Tänavune IOAA pidi juba eos olema meeleolukas, sest üle kahe aasta toimus see jälle korraldajariigis kohapeal. 2022. aasta IOAA algne korraldaja oli Ukraina, kuid Venemaa kallaletungi tõttu sai märtsiks selgeks, et Kiievis ei saa võistlust pidada. Gruusia haaras hädas ohjad ja paari kuuga suudeti olümpiaad ümber korraldada. Olümpiaadi võõrustas Khuthaisi rahvusvaheline ülikool.

48 riigi õpilased osalesid üheksapäevasel olümpiaadil, mis koosnes neljast voo- rusest: teoreetiline osa, andmeanalüüs, tähevaatlus ja tähekaardi osa. Võistlus- väde vahel said nii noored kui ka nende juhendajad (Eesti tiimi juhendasid Nikita Poljakov ja Leonid Zinatullin) osaleda väljasõitudel Gruusia loodusesse ja huviväärsuste juurde. Käisime vaatamas koski ja koopaid, ujusime Mustas meres

ning avastasime muuseume ja kirikuid.

Erinevalt tavakorrast kehtis sel aastal olümpiaadi majutuskohas range nõue: ülikoolilinnakust ei võinud üksi lahkuda, sest lähim linn jäi ülikoolist kaheksa kilomeetri kaugusele. Aga meie võistkonnal oli ka ülikoolinnakus palju teha. Nimelt olid eestlaste ja tšehhide toad kõrvuti ning kogu vaba aja veetsime üksteise seltskonnas. Ka ekskursioonibussides olime nendega koos. Eesti ja tšehhi õpilaste vaheline sõprus oli kui peidetud pärl, mille üle olime kõik väga õnnelikud. Isegi meie giididel tekkis komme üksteisele helistada, et uurida, kas mõni puuduv õpilane polnud sattunud teise meekonna hulka. Hellitavalt hakkasime ennast *Czechostonia*'ks kutsuma ja kujundasime endale koguni ühise riigilipu. Järgmise aasta IOAA-l saab näha, kas valminud lipp jõuab ka avatseremoonial lavale (selline on praegune plaan).

Võistlusvoorud ei möödunud tänavu ilma takistusteta. Tähevaatlus tuli pilvede kiuste korraldada hoopis keskpäeval. Teleskoobid ei olnud suunatud mitte taevasse, vaid lähedal asuva õppehoone rõdule, millele olid üles seatud tahvlid tähti kujutavate piltidega. Iseenesest oli see leidlik lahendus, kuid keskpäevane päike ei andnud armu ja pigem pandi taevatundmise asemel proovile hoopis meie kuumataluvus. Kuuldavasti oli õhutemperatuur niivõrd kõrge, et mõned pastapliiatsid lausa lõhkesid.

Pärast viimast võistlust korraldati traditsiooniline kultuuride õhtu, kus kõik riigid said lühikese ettekande vältel oma kultuuri tutvustada. Juhuslikult sattusime teleskoobi tarvitust harjutades kokku teiste Balti riikide õpilastega ning meil



Czechostonia lipp


tekkis plaan teha ühine ettekanne. Iga riik esitas esmalt iseseisvalt ühe laulu. Meie valik oli 2019. aasta laulupeol kõlanud „Üksi pole keegi“, mille sõnad jagasime publikule kaasalaulmiseks laiali. Maiuspalaks laulsime kõik koos laulu „Ärgake, Baltimaad“. Ettekanne oli väga südamlük, meie koostöö teiste õpilastega sujus suurepäraselt.

Olümpiaadi viimase päeva hommik tõi meile kauaoodatud vabaduse: saime meelelahutust ise korraldada. Koos Tšehhi õpilastega otsustasime minna avastama Khuthaisit ja selle lähiümbrust. Varahommikul istusime ülikoolilinnaku kõrval bussi ning sõitsime Khuthaisi keskväljaku- le. Esmalt kõndisime linnas ringi, käisime kõrgel vaateplatvormil ja söime lõunaks Gruusia rahvustoite.

Hiljem võtsime ette rännaku Khuthaisi lähedal asuvasse mahajäetud Tskaltubo sanatooriumisse. Terve pärastlõuna veetsime seda grandioosset nõukogudeaegset sanatooriumi uudistades. Üllatuslikult olid sealsed vanad basseinid täitunud puhta veega ning ei meie ega ka tšehhid lasknud käest võimalust end veidi jahutada. Meie seikluse viimane peatus oli suur turg Khuthaisi keskel, kus ostsime mitmesuguseid Gruusia toiduaineid ja puuvilju. Seejärel oli aeg minna olümpiaadi lõputseremooniale.

Eestlastest oli tänavu silmapaistvaim Saskia Põldmaa, kes pälvis pronksmedali. Võistluse suurim üllataja oli aga Iraani meeskond, kus kümnest õpilasest üheksa sai autasuks kuldmedali ning üks õpilane hõbemedali. Olümpiaadi üldvõidu saavutas tänavu Rumeenia.

2023. aasta IOAA peetakse Poolas. •

 **Karmen Laud**, rahvusvahelise astronoomia- ja astrofüüsikaolümpiaadi Eesti võistkonna liige

Veel poolmaagilisi ruute

Ebatraditsiooniliseks poolmaagiliseks ruuduks nimetatakse n -realist ja n -veerulist tabelit, mille igas reas ja igas veerus olevate arvude summad on võrdsed.

Seekordsetes ülesannetes tuleb ruutudes olevate arvude ette või taha kirjutada numbreid nii, et tulemusena saaksime ebatraditsioonilise poolmaagilise ruudu, mille igas reas ja igas veerus olevate arvude summa on võrdne sajaga.

Alljärgneval joonisel näed näidisülesannet ja selle vastust:

2	8	2
7	7	1
2	8	3

 \Rightarrow

20	8	72
78	7	15
2	85	13

- | | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | 4 | 1 | 7 |
| | 7 | 5 | 9 |
| | 5 | 6 | 4 |
- | | | | |
|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 4 | 2 |
| | 2 | 9 | 7 |
| | 1 | 6 | 1 |
- | | | | |
|---|---|---|---|
| 3 | 5 | 8 | 5 |
| | 6 | 1 | 2 |
| | 4 | 7 | 8 |
- | | | | |
|---|---|---|---|
| 4 | 7 | 6 | 9 |
| | 4 | 4 | 3 |
| | 3 | 3 | 3 |
- | | | | |
|---|---|---|---|
| 5 | 8 | 4 | 6 |
| | 1 | 2 | 7 |
| | 9 | 7 | 8 |
- | | | | |
|---|---|---|---|
| 6 | 6 | 4 | 2 |
| | 3 | 7 | 8 |
| | 4 | 7 | 7 |

Viienda voo ülesannete vastused

- | | | | | | |
|---|--|---|--|---|--|
| 1 | | 2 | | 3 | |
| 4 | | 5 | | 6 | |

Vastuste ärasaatmise tähtaeg on 15. detsember 2022.

Lahendused saata aadressil MTÜ Loodusajakiri (ajakiri Horisont), Räväla pst 10, 15042 Tallinn või tonu@mathema.ee.

2022. aasta parimale nuputajale

auhinnaks 100 euro eest raamatuid Tallinna ülikooli kirjastuselt.



Vooru võitja



Vooru võitja saab kingituseks raamatu sarjast „Looduse raamatukogu“. Sarjas ilmunud raamatutega saab tutvuda veebilehel www.loodusajakiri.ee ja eelistustest saab teada anda toimetuse telefonil 610 4105 või meiliaadressil loodusajakiri@loodusajakiri.ee.

Viienda voo tulemused


Trips-traps-trullita ülesanded ei olnud rasked.

Kõik kuus ülesannet lahendasid õigesti Vladimir Jaanimägi, Kalle Kulbok, Meelis Reimets, Anti Sõlg, Kuldar Traks ja Hannes Valk. Nemad kogusid 6 punkti. Heldur Väljamäe kogus 5 punkti. Vooruahinna saab seekord Meelis Reimets.

Tõnu Tõnso, matemaatik, Tallinna ülikooli lektor

LAURI 10680	Lagun- daja	Järjest. tähed	Mehe- nimi	Saksa kirjanik	Maa pärimisjärgne rentnik Indias	<i>Kuma</i>	Trobi- kond (kõnek.)	Element nr. 71	Sise- arhitekt	Tšiili hane- malts	Eeslugeja õigeusu kirikus	 <p>Mida haritumad on mehed, seda väiksem on neil</p>				
India vürsti vastu- võtusaal						Hamba- katt Hispaania korvpallur										
Näitleja				Maitse- tuimus Spordi- aja- kirjanik				Jõgi Austrias Linn Ve- nemaal								
<i>Kuma</i>		Järgarv Paha- soovlik							Ühe- sugused tähed							
Noot			Täto- veering (kõnek.) Humorist				Näitleja Loom									
Ratsa- väelane				Laste- kirjanik Haveli lisajõgi						Voolu- vee- kulutus						
<i>Kuma</i>		Naise- nimi Punane värvaine			Milano jalgpalli- klubi Element nr. 68						Õhtu (murdes)		Rataste- ga käi- misraam	Element nr. 95	Küla Lääne- ranna vallas	<i>Kuma</i>
Endine ansambel				Kes on pildil? Endine minister												Puhas saviaine
11,664 grammi				Kanada hoki- legend Hiiu naise peakate			Sada vene k. Vee- sõiduk				Prantsuse kirjanik Kolmvar- vaslaisik					
<i>Kuma</i>	Elbe lisajõgi Auto osa				Spordi- rajatis USA poliitik									Element nr. 88 Korv- pallur		
Valus!			Vanaaja linn Egiptuses TUI				Madara- line Raske viirus									
Kalts, räbal					Viskeling						Aine olek Juudi kalendri 6. kuu				TV- saatejuht	
Mehe- nimi			Alevik Harjum.-l									Puukäsn Kreeka täht				
				<i>Kuma</i>		Zoo- spoor Dopingu- aine					liveldus- vastane ravim Element nr. 18				Maali- kunstnik	
				Suvi soome k.												
				Eesti Pank			Sööstma inglise k.						UUS- PÖLD			
				Amet											Halaha vastand	

LOOGILISED
PILT-
MÕISTATUSED



Lahendajate vahel läheb loosi Kuma Ristsõna-
raamat nr 16.

Eelmise ristsõna vastus „IME KÕIGE OLULISEM
VORM ON muidugi elu oma külluses ja mitme-
kesisuses“ viitab tänavuses neljandas Horisondis
ilmunud kirjanik Jan Kausi mõtisklusele endast
ja teadusest.

Loosi tahtel võitis Kuma Kange aastatellimuse
SILVI LAURITS.

Kõigil lahenduse saatjatel
palume ära märkida ka selles numbris
KÕIGE ENAM MEELDINUD KIRJUTIS!



Arva ära!

1 Ta koostas esimese lõunapoolkera tähtede kataloogi, soovitas Maa kauguse määramiseks Päikesest kasutada Veenuse või Merkuuri üleminekut Päikese kettast, koostas esimese geomagnetilise kaardi ja avastas tähtede omaliikumise. Tema järgi on nimetatud Kuu ja Marsi kraater, uurimisjaam Antarktikas ja palju muud. **Kes on see astronoom, füüsik ja matemaatik?**



2 Küsitav asub Maast 6500 valgusaasta kaugusel ja selle läbimõõt on 11 valgusaastat. Tegemist on ühe enim uuritud kosmoseobjektiga. See on esimene astronoomiline objekt, mille tekkepõhjusena on kindlaks tehtud supernoova plahvatus, mis on fikseeritud ka ajalookroonikates (aastal 1054). **Millise objektiga on tegu?**



LUGEJATE LEMMIK

Lugejate lemmiklood eelmises numbris olid „Põlevkivikerogeen – keemiatööstuse tuleviku- tooraine“ (autorid Kristiina Kaldas, Margus Lopp) ja „Ängkôr Kambodžas: UNESCO maailmapärand koroonaaajal“ (autor Aivar Kriiska). Kui ei ole seda lugenud, osta (e-)ajakiri e-poest www.loodusajakiri.ee!

FOTOD: WIKIPEDIA



3 Fotol olev daam on reumatoloog- ja kosmosemeditsiini spetsialist, pälvitud doktorikraadi neuroteaduses. Temast sai oma riigi esimene kosmoses viibinud naine, ka tema abikaasa on käinud kosmoses. Ta on töötanud ka ministrina. **Kellest on jutt?**



4 See automaatjaam startis kosmose- süstiku pardalt kiirusega umbes 15,4 km/s. Tol ajal oli see suurim kiirus, mille oli saavutanud inimese loodud objekt. Kosmoseaparaat aitas kindlaks teha, et Päikese magnetväli muutub iga 11 aasta järel ja päikesetuul on aja jooksul nõrgenenud, ning kohtumine komeediga näitas, et komeedi sabad on eeldatust palju pikemad. **Millise automaatjaamaga on tegu?**

MÄLUSÄRU 5/2022 VASTUSED

1. Parun von Münchhausen.
2. Quaoar.
3. Isidor Isaac Rabi.
4. Blue Shield International (Sinine Kilp).
5. Paulus Potter.

● Mälusäru auhinnaraamatu, Robin Georg Andrews „Supervulkaanid. Mida need räägivad maast ja kaugetest maailmadest“ kirjastuselt Argo, võitsid KRISTO KRUUSMAN, ANNELI SILD ja AADU PARM.



✍ Jevgeni Nurmla, Indrek Salis
mälumängurid

5 See tuntud teadlane on muu hulgas olnud Tartu tähetorni juhataja. Tema uurimisala oli relativistlik gravitatsiooniteooria, teda võib pidada asjaomase koolkonna rajajaks Eestis. Ta on üldrelatiivsusteoorias arendanud inertsiaalsüsteemide teooriat ning uurinud Einsteini teooria ja Newtoni gravitatsiooniteooria vahekorda. **Mis on selle teadlase nimi?**



VASTA JA VÕIDA RAAMAT!

Vastanute vahel loosime välja kolm raamatut: Jüri Plado „Meteoorist kraatrini“ kirjastuselt ARGO.

● Koos vastustega andke toimetusele teada ka selle numbrilemmikkirjutis.

VASTUSEID

ootame 15. detsembriks aadressil Rävåla pst 10, 15042 Tallinn või horisont@horisont.ee.

NB! Vastuste juurde kirjutage auhinna- loosis osalemiseks kindlasti oma mobiil- telefoni number ja postiaadress.

MÄLUSÄRU
RUBRIIKI TOETAB
KIRJASTUS ARGO.





Väärt mõtete lainel

SISUKA PÄRASTLÕUNA LAINEL

E-R KELL 15-18



Brent Pere

Romi Hasa

Indrek Ojamets

TAMREX

KÜLMETAD?

Ära enam külmeta! Tee õige valik!
Vali Woolpower!

Hinnad sisaldavad käibemaksu 20% ja kehtivad, kuni kaup on jätkub!

Merino Lite
 80% merinovill
 20% polüamiid

Merinovillane alussärk w7111 /83
88€

Merinovillased aluspüksid w4341 /83
76€

Merino 200
 Ullfrotté Original
 200 g/m²
 60% merinovill
 25% polüester
 13% polüamiid
 2% elastaan

Merinovillane alussärk w7222/00
102€

Merinovillased aluspüksid w7342/00
79€

Merino 400
 Ullfrotté Original
 400 g/m²
 70% merinovill
 28% polüamiid
 2% elastaan

Merinovillane lukuga kampsun w7234 /10
161€

Merino 400
 Ullfrotté Original
 400 g/m²
 64% merinovill
 32% polüamiid
 4% elastaan

Paksud merinovillased sokid w84240 /10 /00
25€

Merino 200
 /00

Merinovillane torusall/buff w9602
31€

Merino Lite
 /04 /83

Merinovillane torusall/buff w9601
31€

Merinovillane talvemüts w9866 /10
56€

Merino 600
 Ullfrotté Original
 600 g/m²
 60% merinovill
 40% polüamiid

Eriti paksud merinovillased sokid w8416/00 /10 /00
28€

Woolpower
 ÖSTERSUND

Woolpower alus- ja vahekihi rõivaste materjal on Ullfrotté Original. 1970ndate alguses töötati see välja koostöös Rootsi relvajõudude, teadlaste, arstide ja ellujäämisspetsialistidega. Täna kasutavad Woolpower tooteid **Soome, Rootsi, Norra, Saksamaa ja Prantsusmaa** armees- ning politseiüksused.

Ullfrotté Original on unikaalne ja vastupidav tekstiil, mis koosneb peenekiulisest merinovillast, polüamiidist ja polüestrist. Kanga teeb eriliseks see, et materjali ruumalast ca 80% on õhk. Õhk on ideaalne isolator, mis omab kanga funktsionaalses toimimises ülisuurt rolli. Õhk lukustab keha soojuse kangasse. Samas võimaldab õhuline materjal niiskusel ideaalselt aurustuda ja juhib selle naha pinnalt eemale. Tiheda silmuskoega kanga pind on sile ja ei aja sügelema. Ullfrotté Original säilitab keha soojuse isegi märjana. Woolpower Ullfrotté Original kangast valmistatud tooted on merinovillale omaselt antibakteriaalsed ja nõuavad minimaalset hooldust. Üldjuhul piisab vaid tuulutamisest, kuid kannatavad ka kuni 60 °C masinpesu ning trummelkuivatust. Pesemiseks kasutage lanoliini sisaldavat pesuainet – siis teenib rõivas teid kaua ja hästi!

TAMREX OHUTUSE OÜ

Tel 654 9900 e-post: tamrex@tamrex.ee www.tamrex.ee

TALLINN Laki 5, Pärnu mnt 139c, Katusepapi 35 • TARTU Aardla 114, Ringtee 37a • PÄRNU Riia mnt 169a • RAKVERE Pikk 2 • JÕHVI Tartu mnt 30 • VÕRU Piiri 2 • VIJANDI Tallinna 86
 VALGA Vabaduse 39 • NARVA Ak. Maslovi 1 • HAAPSAHU Ehitajate tee 2a • PAIDE Pikk 2 • JÕGEVA Tallinna mnt 7 • TÜRI Rakvere tee 23 • RAPLA Tallinna mnt 2a • KEILA Keki tee 1 • KURESSAARE Tallinna 80a