

TUMEINE JA
MUSTAD AUGUD

KESKAEGNE
PÜHAKUKULTUS

PARTIA
IMPEERIUM

AJA
KÜLMUTAMINE

horisont



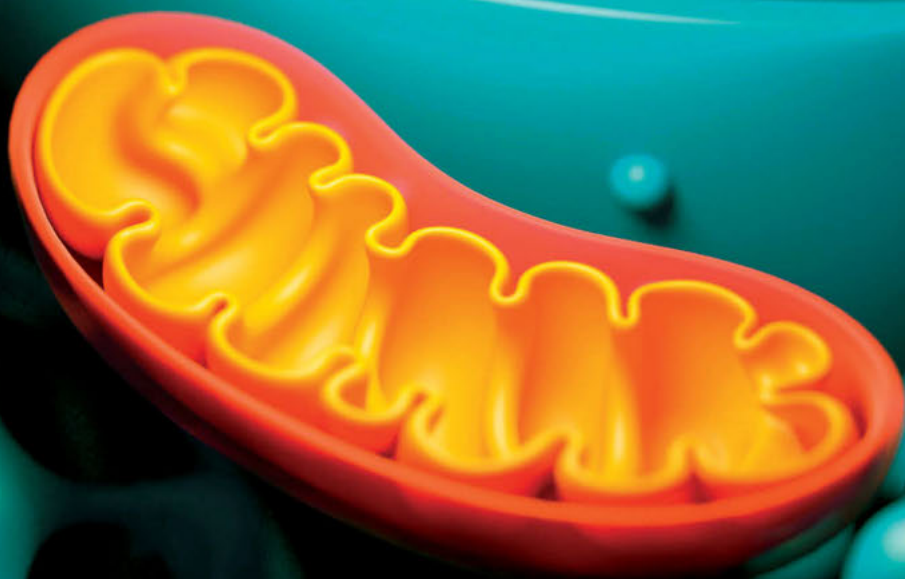
RIIKLIKULT TUNNUSTATUD

TEADUSEN
POPULARISEERIJAJA 2017

5/2021 ■ SEPTEMBER-OKTOOBER ■ HIND 5.90 ■ 55. AASTAKÄIK

MITOKONDRIID

TERVISE JA HAIGUSTE TEENISTUSES



LAULUMEE JAAN TÄTTE ENDAST JA TEADUSEST

KALATEADLANE MARKUS VETEMAA KALADEST JA LÄÄNEMEREST

Aru Grupp on üle 25-aastase kogemusega rahvusvaheliselt tuntud akna-, ukse-, maja- ja trepitootja. Igal aastal täiustame oma tehnoloogiaid ja IT-lahendusi, et saaksime pakkuda oma klientidele parimat tulemust.

Nüüd avatud treppide veebiplatvorm STAIR24. Leiate meilt kindlasti endale sobiva lahenduse.



SELLES NUMBRIS

Tuuli Käämbre, Marju Puurand,
Kersti Tepp ja Anton Terasmaa

Mitokondrid hea tervise ja haiguste teenistuses 8

Rakkude energiajõujaamad on
inimese eluks hädavajalikud, ent
mitmed haigused suudavad nad
hoopis enda kasuks tööle panna.

Inna Jürjo

Püha Antonius – sigade kaitsja ja tõbiste avitaja keskaja Eestis 24

Püha Antonius Suur oli eesti talu-
poegade, samuti kohaliku linnarahva
ja saksa eliidi hulgas üks enim austat-
tud pühakuid, kelle kultus on jätnud
Eesti kultuurilukku märkimisväärse
jälje.

Jaan Lahe

Impeerium impeeriumide vahel – Partia riik 38

Oma hiilgeaegadel laius Partia
suurriik Süüriast ja Mesopotaamiast
Kesk-Aasia ja Loode-Indiani.
Partia kultuuriline mõju oli veelgi
laiem, ulatudes Rooma riigist kuni
Hiinani.

Gert Hütsi, Martti Raidal
ja Hardi Veermäe

Tumeaine ja ürgsed mustad augud 44

Juba aastakümneid on ürgseid
musti auke peetud populaarseks
universumi salapärase tumeaine
kandidaadiks. Teiste kandidaati-
degas võrreldes on nende eelis see,
et pole vaja leida mingit seni
tundmata objekti või osakest.



32

HORISONT KÜSIB

Intervjuu 16

Läänemere seisund annab põhjuse ettevaatlikuks optimismiks

Tartu ülikooli Eesti mereinstituudi
direktori Markus Vetemaaga
vestles Horisondi toimetaja
Helen Rohtmetes-Aasa.

Mina ja teadus 35

Laulumees Jaan Tätt

SIIT- JA SEALPOOLT HORISONTI

Eero Vasar. Väikelapsed kulutavad
sedavõrd palju energiat, justkui
oleksid mõnest teisest liigist 3

Piret Pappel. Metalli ühtlane jaotus
teeb sipelga lõuad tugevaks 6

Sõnalugu 7

Udo Uiho. Banaan ja piisang

Teine maailm 14

Vähi tüvirakud kui kasvaja
kurja juur

Sündmuste horisondil 28

Kas aega saab külmutada?

Ain Kallis 30

Ilm ja muusika

Dokument kõneleb 32

Päevikumärkmed toidu
hankimisest Eestis aastail
1991–1992

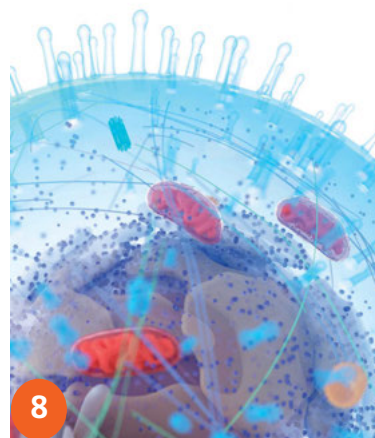
Bioloogiafilosoofia 36

Edit Talpsepp
Geeni määratlemise
probleemist

Kosmosekroonika 54

Luu-uurija leid 56

Uus infokild Leppneeme küla
ajaloo kohta



8



38

OLÜMPIAAD

Anu Printsmann, Ülle Liiber
Geograafiaolümpiaadid
distsantsilt 58

Sulev Kuuse
Edukas aasta Eesti bioloogia-
olümpiaadi maastikul 60

PRAKTILIST

Enigma 62

Tõnu Tõnso
X-pentaminost tetramino kujundid

Ristsõna 63

Mälusäru 64

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



Ulvar Käär

Ulvar Käär, peatoimetaja
ulvar@horisont.ee

Eelmises Horisondis tegi astrofüüsik Ene Ergma sissevaate neutrontähtede põnevasse ja kirjusse maailma, seekord kõnnime kosmoseradadel edasi ja oleme luubi alla võtnud universumi tumeaine. Praeguste teadmiste järgi on mõõtmatus maailmaruumis seda salapärase „ollust“ meile nähtavast aineest umbes viis korda enam, kuid selle olemus on siiani mõistatus. Füüsikud on pakkunud mitmesuguseid selektusi, millest võib see aegruumi ehitust ja olemust dikteeriv aine koosneda, aga keemilise ja bioloogilise füüsika instituudi (KBFI) teadlased Martti Raidal, Gert Hütsi ja Hardi Veermäe vaatlevad oma artiklis tumeaine kandidaadina lähemalt ürgseid vähem kui sekundi vanuses universumis moodustunud musti auke. Tumeainehuvilistel lugejatel on põhjust rõõmustada, sest seda juttu jagub lausa üheksale leheküljele!

Selle numbri teisigi kirjutisi ja nende autoreid vaadates tuleb tõdeda, et juhuse tahtel on kuidagi kujunenud nii, et ajakiri on väga kaldu KBFI poole. Ka kaanelugu mitokondritest on selle instituudi teadlaste sulest. Teame mitokondreid kui meie rakkude elutähtsaid energiajõujaamu, mille tööst oleneb meie tervis ja elukvaliteet. Samas, nagu selgub Tuuli Käämbre, Marju Puuranna, Kersti Teppa ja Anton Terasmaa artiklist, võivad mitokondrid olla väga mitmepalgelised masinavärgid. Kui muidu töötavad mitokondrid väsimatult meie tervise heaks, siis teatud haigused, näiteks vähktõbi või tänini maailmas ringi kolitav koroonaviirus, suudavad need strateegilised rakuosad hoopis ennast teenima panna. Just seepärast pakuvadki mitokondrid teadlastele erilist huvi, sest muukides lahti nende mitmepalgelisuse täpsemad tagamaad, saab haiguste vastu välja töötada senisest tõhusamaid ja täpselt sihitud toimega ravimeid.

Milline kasvajakarakk lähivaates välja paistab, seda näeb mikroskoobifoto rubriigis KBFI nooremteaduri Ljudmila Klepinina piltidelt. KBFI osakestefüüsikud Andi Hektor ja Kristjan Kannike jätkavad oma füüsikarubriiki ning selgitavad, kas ja kuidas oleks võimalik luua ajakristalle.

Iseseisva teaduskeskuseks on KBFI Eesti teaduses eriline, sest hoolimata väiksusest on see asutus pidevalt oma uuringutega silma paistnud. Oma osa on selles kindlasti asjaolul, et peale erialaste teadusartiklite, mille mõjukust hinnatakse tsiteerimisnumbritega, pole nii mõnigi instituudi töötaja pidanud paljaks tutvustada oma valdkonda ka üldsusele – populaarsemas kuues. Seetõttu julgen lubada, et KBFI tegemistest saab Horisondis kindlasti edaspidigi lugeda.

Olge terved ja head lugemist! •

ESIKAANE foto: VIDA PRESS / ALAMY



EESTI
TEADUSTE AKADEEMIA

horisont



Ulvar Käär, peatoimetaja
ulvar@horisont.ee

Helen Rohtmets-Aasa, toimetaja
helen@horisont.ee
Monika Salo, keeletimetaja
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

Ilmub aastast 1967, 6 numbrit aastas.
Toimetus: Endla 3, 10122 Tallinn
tel 610 4105
e-post: horisont@horisont.ee
Vaata ka Horisondi seina Facebookis!

Väljaandja: MTÜ Loodusajakiri,
Endla 3, 10122 Tallinn
e-post: loodusajakiri@loodusajakiri.ee

ISSN 2228-3471 (e-luger)
Autoriõigus: MTÜ Loodusajakiri, 2021
Trükinud Printall AS



**HARIDUS- JA
TEADUSMINISTEERIUM**

Ajakiri ilmub
haridus- ja teadusministeeriumi
toetusel

Väikelapsed kulutavad sedavõrd palju energiat, justkui oleksid mõnest teisest liigist

Hiljuti avaldatud põhjalik uurimistö* selgitas välja laste ja täiskasvanute ainevahetuse märkimisväärsed erinevused. Iga lapsevanem teab, et väikelapsed on tulvil energiat. Uuringust selgus, et 9–15-kuused väikelapsed kulutavad keha suuruse kohta kohandatult ühe päevaga 50% rohkem energiat kui täiskasvanud. Need väikesed olevused tarbivad ja kulutavad energiat isegi kiiremini kui rasedad naised ja teismelised poisid, nad toidavad suure energiavajadusega ajusid ja elundeid. See on periood, kus inimese areng on kõige tormilisem, et keskkonnas kiiresti kohaneda.



UNSPLASH

Duke'i ülikooli evolutsioonibioloog Herman Pontzer, kes juhtis kõnealust andmeanalüüsi, märgib, et väikelapsed ei kasuta energiat nagu väikesed täiskasvanud. Nad tarbivad energiat ülikiirelt, justkui oleks tegemist hoopis teise liigiga. Aga lapsed põlevad ka ruttu läbi. Kui nad ei saa vajalikul hulgal toitaineid ja kaloreid, muudab kiire ainevahetus nad eriti haavatavaks kasvupetuse ja haiguste suhtes. Võrreldes täiskasvanutega võivad nende rakud ka ravimeid kiiremini omastada, seega tuleb ravimeidki manustada sagedamini. Seevastu üle 60-aastased täiskasvanud kulutavad võrreldes noorematega iga päev vähem energiat ning neile võib piisata ka vähemast toidust ja väiksematest ravimiannustest. Eriti pärast 90. eluaastat, kui inimene kasutab veerandi jagu vähem energiat kui keskealised.

Teadlased teavad üllatavalt vähe sellest, kuidas muutub ainevahetus meie elu jooksul. Selle põhjus on asjaolu, et senini ei rakendatud säärestes uuringutes niivõrd täpset uurimisviisi nagu nn kaksikmärgistatud vee meetod. Kaksikmärgistamine tähendab seda, et vee molekul koosneb hapniku (O^{18}) ja vesiniku (D^2) rasketest isotoopidest. Need isotoobid ei ole radioaktiivsed ega kahjusta ini-

mese tervist, aga võimaldavad väga täpselt ainevahetust jälgida. Uuringu käigus joovad inimesed kaksikmärgistatud vett, mida saab hiljem keemiliselt jälgida. Teadlased mõõdavad, millises koguses eritub neid isotoope uriinist, verest või sülgest 24 tunni, ühe nädala või veelgi pikema aja jooksul ning arvutavad, kui palju energiat inimesed päevas keskmiselt tarbivad.

Pontzer ja tema kolleegid löid suure andmebaasi, kuhu koondati teave kvaliteetsete kaksikmärgistatud veega tehtud uuringute kohta, milles osales 6421 inimest 29 riigist, vanuses 8 päeva kuni 95 aastat. Teadlased arvutasid iga inimese kohta igapäevase ainevahetuskiruse, lähtudes kaksikmärgistatud vee uuringute päevasest energiahulgast ning kohandades seda keha suuruse ja massi ning elundite suuruse järgi. Organite rasvavaba kude kulutab rohkem energiat kui rasv ja laste suurema energiavajadusega elundid võtavad enda alla suhteliselt suurema kehamassi kui täiskasvanute omad.

Kui teadlased analüüsisid ainevahetuse kiirust kogu elukaare vältel, leidsid nad, et sünni järel on väikelaste ainevahetuskirrus sama nagu nende emadel, kohandades andmeid nende keha väik-

semale suurusele. Kuid 9 kuni 15 kuu vanuses jõuab kätte kõige hoogsama arengu periood, mil arengueesmärkide saavutamiseks kulutatakse üha enam energiat. Laste ainevahetustase püsib kõrge kuni 5. eluaastani, siis hakkab see aeglaselt alanema, stabiliseerudes 20. eluaastaks. Huvitav on see, et täiskasvanute ainevahetuse määr on stabiilne kuni 60. eluaastani, mil see hakkab jälle vähenema. Pontzer sedastab, et pärast 90. eluaastat kasutavad inimesed iga päev umbes 26% vähem energiat. Hoolimata vähenenud energiavajadusest peab vanade inimeste toit olema siiski igas mõttes kvaliteetne ja täisväärtuslik, et tagada elamisväärtus elu.

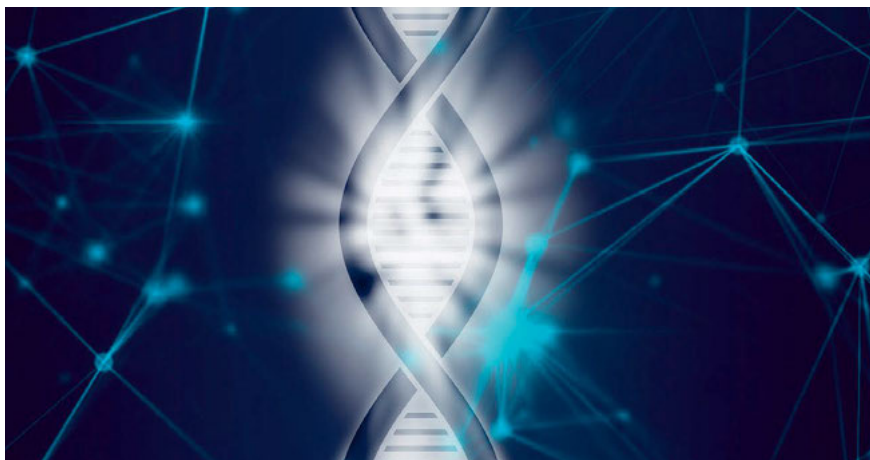
Seega on inimese elukaare jooksul võimalik eristada nelja ainevahetuslikku faasi: esimesed viis aastat on energeetiliselt ja arenguliselt mõttes kõige tormilisemad, järgmise viieteistkümne aasta jooksul inimene küpseb ja energia tarbimine väheneb järk-järgult; täiskasvanueas, 20. ja 60. eluaasta vahel, energia tarbimine stabiliseerub ning pärast 60. eluaastat energia tarbimine aegamisi väheneb ja ainevahetuse aeglustumise taustal avalduvad järjest enam mitmesugused kroonilised haigused. •

Eero Vasar

Tartu ülikooli inimese füsioloogia professor

* Pontzer et al., Daily energy expenditure through the human life course. Science 373, 808–812 (2021)

Uuringuga leiti täpsemad seosed geenide ja haigusriskide vahel



PIXABAY

Geeniuuringuid koondav mainekas teadusajakiri Nature Genetics avaldas hiljuti Tartu ülikooli genoomika instituudi teadlaste artikli, milles on kirjeldatud tuhandeid geenide aktiivsust reguleerivaid genoomivariante. Tulemused aitavad paremini mõista, kuidas mõjutab inimese geneetiline taust haigusriskide teket, ühtlasi võivad need tulevikus olla abiks personaalmeditsiinis.

Levinuimad haigused on kompleks-haigused, mille tekkes mängivad rolli tuhanded geenid ja keskkond. Üks geneetikute peamisi proovikive ongi mõista, kuidas variatsioonid inimese pärilikkusaines ehk DNA-s mõjutavad komplekshaiguste tekke riske.

Funktsionaalse genoomika teaduri Urmo Võsa ja tema kolleegide uuringu eesmärk oli praegusi teadmisi laiendada

ning leida, millised haigustega seotud genoomivariandid mõjutavad ka geenide aktiivsust veres. „Keskendusime vere uurimisele, sest see on suhteliselt kergeti kogutav materjal ja võimaldas uuringut läbi viia väga suures valimis. Seega on saadud tulemused abiks eeskätt verega seotud haiguste ja nende tunnuste lahtimõtestamisel, aga võivad olla kasulikud ka teiste tunnuste uurimisel,” lisas Võsa. „Kuigi paljude haiguste seosed teatud genoomipiirkondadega on juba kindlaks tehtud, sisaldavad need piirkonnad tihti paljusid gene. Seetõttu ei tea me täpselt, missugused vastavas piirkonnas asuvad geenid iga haiguse teket mõjutavad.”

Rahvusvahelise uuringu käigus analüüsiti üle 31 000 inimese vereproovi eri riikidest ja biopankadest, sealhulgas Eesti geenivaramust. Urmo Võsa sõnul võimaldas kümnete tuhandete inimeste andmete analüüsimine leida tuhandeid gene, mis ei asu genoomis haigusega seotud geenivariandi vahetus läheduses, vaid hoopis mõnes teises genoomipiirkonnas. „Sellised geenid, mille aktiivsust mõjutavad mitmed haigusega seotud variandid erinevatest genoomipiirkondadest, võivad pakkuda huvi ravimiarendajatele potentsiaalsete uute ravimisihmārkidena,” ütles Võsa. •

Tartu ülikool / Horisont



www.KL24.ee



www.helmic.ee

Kangad, lõngad, pärlid,
tööriistad, niidid, lukud, pandlad,
paelad, pitsid, nõõbid ... –
kokku üle 120 000 toote

Otse maaletoojalt Karnaluks OÜ laos,
Hermanni 1, C-trepikoda, Tallinn

KÄSITÖÖSÖBRA KAUBAMAJA
24H SINU ARVUTIS

JACQUARD JA GOBELIN SISUSTUSKLASSIKA

TULIÜUS SUBARU OUTBACK. TURVALISUS ON SUURIM LUKSUS



Mis see maksab, kui soovid, et Sinu uus Outback oleks võimalikult turvaline? Õige vastus on, et selle eest juurde maksta ei peagi. Kõik, mis muudab autosõidu Sinu ja Su pere jaoks ohutuks, on meil alati põhivarustuses.

Pidev nelikvedu, uusima põlvkonna EyeSight juhiabisüsteem lisandunud funktsioonidega, juhi jälgimissüsteem, mis annab märku, kui juht hakkab väsima. Kõik on hinna sees. Nii nagu ka autonoomse roolimisega sõidurajalt kõrvalekaldumise ennetussüsteem, kohanduv püsikiiruse hoidja, isereguleeruvad LED kaugtuled ning automaatne tagurdamispidur.

Tule proovima!

Keskmine kütusekulu ja CO₂ heitmed (WLTP): 8,6 l/100 km, 193 g/km.
3 aastat tasuta hooldust läbisõidul 15 000, 30 000 ja 45 000 km.

**3 AASTAT TASUTA
HOOLDUST**



SUBARU

subaru.ee

Metalli ühtlane jaotus teeb sipelga lõuad tugevaks



WIKIPEDIA

Lehelõikajasipelgas *Atta cephalotes*

Sipelgatel on tugev hambuline ülalõug, millega saab toitu ja ehitusmaterjali hankida ning pesa ehitada. Inimene tajub tillukeste putukalõugade tugevust enamasti siis, kui on hammustada saanud. Ajakirjas Scientific Reports ilmunud uuring annab täpsemalt teada, kuidas mõjutavad lõuas paiknevad tsingiaatomid selle hammaste tugevust.

Loomadel on keha või selle osade tugevdamiseks eri viise. Üks võimalus on biomineraalid, mille puhul paikneb kaltsiumi või räni sisaldav mineraal orgaanilisest aineest maatriksis. Biomineraalid kuuluvad hammaste, luude ja munakoorte koostisse ning aitavad moodustada tigude, karpide, käsijalgsete ja ränivetikate toest.

Ehituse poolest on teadlastele vähem tuntud metalle või halogeene sisaldavad biomaterjalid, mille koostisse kuuluvad näiteks tsink, mangaan, broom ja vask. Tegelikult on need looduses sama laialt levinud kui imetajate hambad või tigude kojad, selliseid materjale võib leida mitut liiki putukatest ja ämblikest ning ka vähkidest ja ussidest.

Eugene'is asuva Oregoni ülikooli teadlane Robert Schofield võttis koos kaastöö-

listega uurimisobjektiks lehelõikajasipelga *Atta cephalotes*. Lehelõikajateks või aedniksipelgateks nimetatakse umbes neljakümnet liiki sipelgaid, kes kuuluvad perekondadesse *Atta* ja *Acromyrmex*. Need Põhja- ja Lõuna-Ameerikas elutsevad liigid lõikavad lehtedest, vartest ja õitest tükke ning tassivad need pessa. Seal tükeldavad nad taimeosad ja segavad oma sülje ning roojaga. Niimoodi valmib kasvupinnas pesas kasvavale seenele, mis on sipelgate põhitoit.

Teadlased uurisid lehelõikajasipelga *Atta cephalotes* lõugu, kasutades aatomsondeerimistomograafiat. See võimaldab kindlaks teha, kuidas täpselt aatomid sipelga ülalõua hambulisel osal paiknevad. Selgus, et tsingiaatomid ei ole mitte kobaratesse kuhjunud, vaid asetsevad ühtlaselt üle kogu hambakese. Selline siseehitus lubab hambal olla võimalikult peenike ja terav.

Metallilisandid huvitavad ka materjaliteadlasi, kes loodavad putukate ja teiste selgrootute keha tundma õppides saada uusi teadmisi, mismoodi luua inimesele kasulikke sünteetilisi materjale.

Ühtlasi uuriti ämblike lõugtundlaid, skorpionide astlaid ja teisi selgrootute lõuaaparaadi osi. Kõik kehaosad, mis sisaldavad metalle, on jäigemad ja vastupidavamad kui näiteks hammastes leiduvad kaltsiumiühendid ja putukate väliskestas leiduv biopolümeer kitiin.

Teadlaste arvutuste järgi võimaldavad tugevdatud hambad lehelõikajasipelgal torgata lehtedesse auke ja neid lõigata tunduvalt väiksema energiakuluga. Sel moel saavad nad töödelda ka väga tugevate roodudega lehti.

Tillukestele elusolenditele võivad tugevad „tööriistad“ olla ülitähtsad. Purunenud lõuad võivad saada üksikeluviisiga loomale saatuslikuks ja maksta koguni elu. Suurtes ja täpse tööjaotusega kolooniates elavatel putukatel on selle vastu rohtu: nemad muudavad tööjaotust. Näiteks vanemad lehelõikajasipelgad, kelle lõuad hakkavad kuluma, ei tegele enam lõikustööga, vaid tassivad noormate hangitud lehti pessa.

Metallilisandid huvitavad ka materjaliteadlasi, kes loodavad putukate ja teiste selgrootute keha tundma õppides saada uusi teadmisi, mismoodi luua inimesele kasulikke sünteetilisi materjale. •

Piret Pappel

Banaan ja piisang

Eelmises „Sõnaloos“ oli juttu sellest, et eksootiliste fruktide nimetused on eesti keelde jõudnud hilja, neid tähistavad sõnad on meile enamasti tulnud saksa keele vahendusel ja nende esmakasutajad on olnud sakslased, kes on eesti kirja-keelt ühel või teisel põhjusel tarvitanud.

Samas on mõnel eksootilisel viljal olnud lühikese ajaloo kiuste koguni kaks nime, nagu näiteks apelsinil, mida 18. sajandi lõpu ja 19. sajandi alguse kirjakeeles nimetati ka oranžiks.

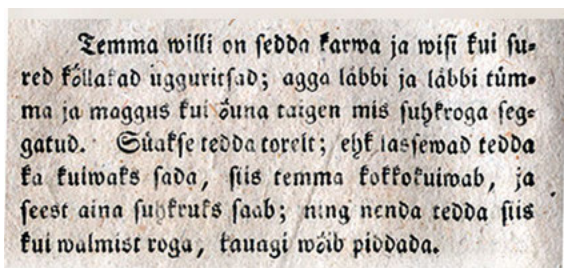
Banaaniga on lugu samasugune. Seda nimetati eesti kirja-keeles esialgu niihästi banaaniks kui ka pi(i)sangiks. Mõlemad sõnad leiduvad ka Ferdinand Johann Wiedemanni eesti-saksa sõnaraamatus (esitrükk 1869). Nende eesti kirjakeelde tooja on teadaolevalt Otto Wilhelm Masing oma raamatus „Pühhapäwa Wahhe-luggemissed“ (1818). See on maarahvale kirjutatud populaarteaduslik teos, milles tutvustatakse maailma eri paiku. Eriti pikalt on juttu Indiast, selle inimestest, vääriskidest, loomariigist ja taimestikust. Pi(i)sangist räägitakse kahes kirja-kohas, kõigepealt kõrvuti banaaniga:

„Rukkid ja kaerad seal ei siggi, sest need on keskmisse soja ma wilja suggu; agga nissud, odrad, riis, suhkur, kohwi, palmi- ja leiwa-pu, pisangi-panani- ja poomvilla [puuvilla – UU] -wõssu, pippar, kañel, muskat ja mitmed muud kallist penikest asja ja wilja seal lõpmata kasvab“ (lk 68).

Ja veidi hiljem juba üksnes pi(i)sang ilma banaanita: „Pisangi-wõssu annab wanna India rahwale ka armsad toido-wilja. Temma ei sa weel täis poleteise sülla kõrguseks, egga kesta kaueminne kui kaks aastad; siis on temma willi walmis, ja ta issi kuivab ärra. Temma willi on sedda karwa ja wisi kui sured kõl-lakad ugguritsad [kurgid – UU]; agga läbbi ja lõhki tūmma ja magus kui õuna taigen mis suhkroga segatud. Süakse tedda torelt; ehk lasevad tedda ka kuivaks sada, siis temma kokko-kuwab, ja seest aina suhkrus saab; ning nenda tedda siis kui walmist roga, kauagi wõib piddada“ (lk 83–84).

Mõlemad sõnad on võetud saksa keelest ja leiduvad pisut erinevas tähenduses ka tänapäeva saksa keele sõnaraamatuis. Meil püsima jäänud *banaan* on Euroopasse tulnud Lääne-Aafrika keeltest (vrd nt mandingo ja volofi *banāna*, *barānda* 'banaan'), aktiivsest käibest taandunud *pi(i)sang* aga malai keelest. Ja ehkki eesti keele sõnaraamatud tänapäeval viimast sõna ei esita, on ta eesti keeles ometi olemas perekonnanimena Piisang ~ Pisang, mida arvasid heaks kasutada mõned Viljandi- ja Läänemaa mõisavanemad XIX sajandi algul, kui talupojad pärisorjusest vabastati ja neile priinimed anti. •

✍ Udo Uiho, keeleteadlane



„PÜHHAPÄWA WAHHE-LUGGEMISSED“, 1818

Katkend raamatust „Pühhapäwa Wahhe-luggemissed“, milles Otto Wilhelm Masing kirjeldab banaan

HORISONT KIRJUTAS

50 AASTAT
TAGASI



HORISONT 9/1971, LK 9

Majanduskandidaat Isai Rozenfeld kirjeldab Nõukogude Liidu eesmärki võtta majandusvallas üha laialdasemalt kasutusele arvutid:

„Uuel viisaastakul on kavas võtta mitmetes rahva-majandusharudes kasutusele vähemalt 1600 automatiseeritud juhtimissüsteemi, luua üleriigiline

automatiseeritud süsteem rahvamajanduslikeks arvestusteks ning rakendada arvutuskeskuste riiklikku süsteemi ja ühtset automaatsidevõrku rahvamajanduse planeerimisel ja juhtimisel. Meie vabariigis on praegu 17 arvutuskeskust kokku 21 raaliga. Alanud viisaastakul suureneb meie arvutipargi võimsus 5,5 korda. Uusi reserve ei saa rakendada isoleerituna, tuleb kehtivat juhtimissüsteemi sisuliselt ümber korraldada ning tootmise seni-seid planeerimis- ja organiseerimismeetodeid täiustada“.



HORISONT 9/1981, LK 37

Horisont vahendab kasahhi muinasteadlaste kirjeldusi Issõki muldpüramiidist avastatud „kuldmehe“ hauast:

„Kurgaani maetud pealik oli tõepoolest kuldne. Tjanšani kuuse igivanadest tüvedest hoolikalt raiutud matmiskambris leidsid arheoloogid üle nelja tuhande

kuldeseme: rõivaste, peakatete ja jalanõude kaunistusi, sõrmuseid, kujusid, metallnaaste. Põrandal seisis puust, savist, pronksist ja hõbedast anumad. Kunagi sõjamehe paraadturvist kaunistanud esemete paigutus, raudmõõga ja kinžalli jäänused lubasid uurijail esmakordselt teaduse ajaloos taastada saka sõdalase välimuse. Issõki kurgaanis leitud loomastiilis esemed andsid uurijaile õiguse rääkida iseseisvast Semiretšje koolkonnast ja võimaldasid teha varem võimatuna tundunud oletusi“.

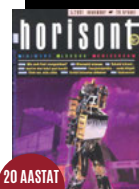


HORISONT 7/1991, LK 1

Björn Fjaestad tutvustab Jaapanis projekti TRON raames ehitatud „unistuste“ tulevikumaja:

„See uhiuus eksperimentaalne Tokio ühes noobli-mas linnajaos on eriti tuntuks saanud oma tualett-ruumi poolest. Mida see siis endast kujutab? Lisaks sisseehitatud bideele (eksikombel see tööle ei hakka

ja kasutajat ei ehmata) mõõdab iste vererõhku ja pulssi. Eri-paberi abil saab analüüsida uriini suhkru- ja valgusisaldust. Info ilmub väikesele kuvarile ja salvestatakse, et oleks võimalik jälgi-da muutusi pikema aja kestel. Teavet võib edastada televõrgu abil ka tervisekeskusesse, kus iga WC-kasutaja võib end „arvele võtta““.



HORISONT 5/2001, LK 26

Kübermeetikainsener Peep Kungas kirjutab robotitest ja tehismõistusest:

„Inimeselaadsed mehaanilised seadmed on toinud inimeste unistusi aastatuhandeid. Juba Vana-Kreeka mõtteteadlane Aristoteles filosofoeris mehaanilistest orjadest, kes inimestele alluks ning Karel Čapek kirjutas aastal 1921 näidendis R. U. R. (Rossum's Universal Robots) tööstuslikult toodetud inimlaadsetest orjadest. Viimati nimetatud teosest ongi pärit sõna robot“.

TUULI KÄÄMBRE, MARJU PUURAND,
KERSTI TEPP, ANTON TERASMAA

MITOKONDRIID HEA TERVISE JA HAIGUSTE TEENISTUSES

ALAMY / VIDA PRESS

Sõna mitokonder toob paljudele silme ette ümarad eraldi-seisvad rakuorganellid, mis varustavad rakku energiaga. Peale selle on mitokondril veel mitu väga olulist otstarvet. Nii reguleerivad nad kasvufaktorite, hapniku ja reaktiivse-te hapnikuosakeste ehk ROS-ide hulka, ionide transporti ja rakkude soojatootmist. Raku tüübist oleneb ka mito-kondri kuju, mis võib aja jooksul muutuda. Paljudes kude-des mitokondrid jagunevad ja liituvad pidevalt kokku ning moodustavad ebakorrapärase võrgustiku. See aitab vaja-duse korral kiiresti isoleerida vigased mitokondrid ja neid lagundada. Mõnedes rakkudes, näiteks närvirakkudes, liigutatakse mitokondreid aktiivselt piki närvirakujätkeid, et kasutada neid kohtades, kus energiat kõige enam vaja-takse. Väga korrapärase ehitusega südamelihaste rakkudes on mitokondrid seotud teiste rakustruktuuridega ning jagunevad ja liituvad väga aeglaselt.

Mitokondri ja tema ülesannete uurimine on ilmekas näide selle kohta, kuidas väikeste ja esialgu näiliselt üksteisega seostumata uuringute põhjal tehakse aja jooksul uus, maailmapilti muutev avastus. Esimestena kirjeldasid rakus asuvat osist, mida tänapäeval tunneme mitokondrina, šveitsi füsioloog Albert von Kölliker ja saksa patoloog Richard Altmann 1890. aastatel. Altmann nimetas selle leiu bioplastiks ehk elu algeks. Ta uskus, et tegemist on iseseisvate organismidega, kellel on rakus oma roll, kuid kolleegid ei toetanud tema teooriaid. Praeguse nimetuse „mitokonder“ (kr 'niitgraanulid') võttis 1898. aastal kasutusele saksa teadlane Carl Benda, kes nägi mikroskoobis struktuure, mis kohati paistsid terakestena, aga juhuti meenutasid niitjaid struktuure.

Täpset mitokondri rolli aitasid mõista uuringud, mis keskendusid hoo-pis glükoosi ja piimhappe ainevahetu-sele lihastes. Otto Fritz Meyerhof sai 1922. aastal Nobeli auhinna selle eest, et ta avastas otsese seose hapniku tarbi-mise ja piimhappe ainevahetuse vahel. 1929. aastal avastasid Karl Lohmann ning Cyrus Fiske ja Yellapragada Sub-barow teineteisest sõltumatult suure energiasaldusega keemilised ained

Mitokondri esmasest kirjel-damisest kulus üle poole sajandi, et avastada selle põhiülesanne: varustada rakku energiaga.

(makroergid) fosfokreatiini ja adeno-siintrifosfaadi (ATP). Aastal 1930 leidis vene teadlane Vladimir Engelhardt, et hapniku tarbimine on otseselt seotud ATP sünteesiga ning lihasrakkude töö seostub just ATP tarvitusega.

Kuna fosfaatrühma ülekandele sood-said tingimusi luues kasutatakse hap-nikku, sai protsess nimeks oksüdatiiv-ne fosforüülimine. Seega ilmnas, et raku energiametabolism on oma ole-muselt biokeemiliste ja biofüüsikaliste protsesside kogum, kus määrav on ATP tootmine ja selle tarvitus. Samas ei olnud ikka veel leitud seost ATP toot-mise ja varem avastatud mitokondrite vahel. 1940. aastatel võimaldasid mito-kondri rolli lõplikult selgitada uued moodused, millega sai rakuosi ükstei-sest eraldada. Nii määratles ameerika biokeemik Albert Lehninger koos oma kaastöölistega 1948. aastal mitokond-rid kui raku organellid, kus hingamisel kasutatakse hapnikku ja sünteesitakse ATP-d. Seega, mitokondri esmasest kir-jeldamisest kulus üle poole sajandi, et avastada selle põhiülesanne: varustada rakku energiaga.

Eeltuumssesse rakku kolinud parasiitbakter

Nüüdisaegsete uurimisviiside abil saab hõlpsasti ja täpselt sekveneerida ehk järjestada organismi kogu genoomi ning seeläbi avastada põlvnemise se-oseid pika ajaloo vältel. Eri eukarüootse-te (päristuumsete) rakkude genoomi järjestuse võrdlemise põhjal oletatak-se, et mitokonder liitus rakuga umbes

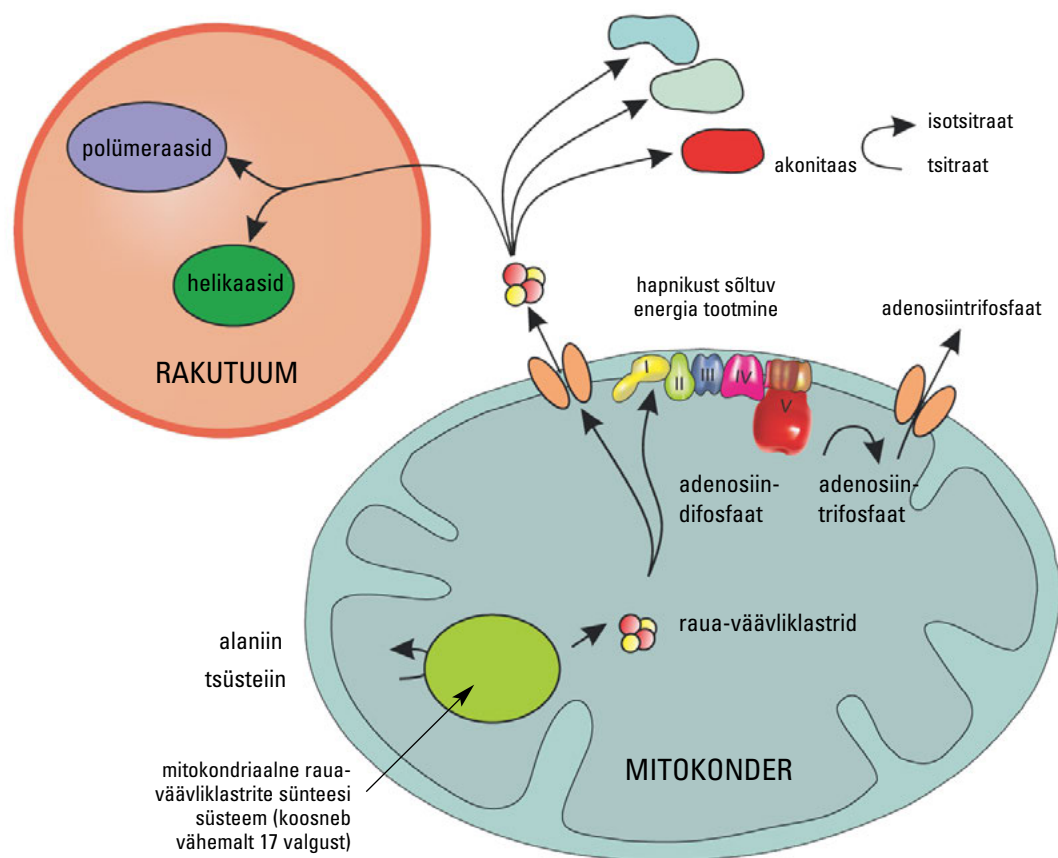
kaks miljardit aastat tagasi kahe pro-karüootse (eeltuumse ehk ilma tuuma-ta) raku ühinemise tulemusena. Sel-leks ajaks oli fotosünteesi tõttu Maa atmosfääris hapnik juba olemas. Mito-kondri eellane oli parasiitbakter, mis oskas kasutada hingamiseks hapnikku ning tekitas oma ainevahetuse jääk-produktina vesinikku. Peremeesrakk oli aga anaeroobne bakter, mis vajas eluks vesinikku.

Selline kahe raku vastastikkü kasu-lik kooselu pani aluse kõikidele teada-olevatele eukarüootsetele rakkudele ja on kestnud tänini. Seejuures on säili-nud ka ürgne biokeemiliste rollide jao-tus: anaeroobne metabolism toimub endises peremeesrakus ehk tänapäeva-se raku tsütoplasmas (rakuvedelikus) ja oksüdatiivne metabolism, mis vajab hapnikku, kulgeb eranditult mitokond-ri sees. Mitokondri olemasolu andis ürg-setele rakkudele tohtu energeetilise eelise: hapnikku kasutades on võima-lik toota palju rohkem eluks vajalikku energiat kui anaeroobse mehhanismi abil.

Mitokonder osutus nõudlikuks kü-laliseks, aja jooksul loovutas ta rakule omaseid ülesandeid järjest enam oma peremeesrakule, keskendudes ise ener-gia tootmisele ja hingamisele. Samas on biomolekulide süntees, pärlilikus-aine DNA parandamine ja muud eluks hädavajalikud tegevused isekalt dele-geeritud peremeesrakule.

Kuigi mitokondri põhiülesanne on toota energiat, on leitud organisme, nagu näiteks inimese parasiidid *Tricho-monas vaginalis* ja *Giardia (Trichozoa)*, mille mitokondrid on energia tootmise võime kaotanud. Ometi ei suuda ka nende rakud päris ilma mitokondrita ellu jääda. Järelikult on mitokondritel raku elus mingi teine, tähtis ja asenda-matu roll. Vastus tuli ootamatult, jär-jestades eukarüootse anaeroobse (hap-nikku mitte kasutava) üherakulise vi-burlooma *Monocercomonoides melolan-thae* genoomi. Nimelt selgus, et see loom on evolutsiooni käigus mitokond-rid kaotanud. Raua-väävliaklastrite (komp-leksühendite) süntees, mis teistes pä-ristuumsetes rakkudes toimub mito-kondris, on selle looma rakus asendu-nud bakteritele omase sünteesiga raku-vedelikus.

Seega on peale aeroobse energia tootmise mitokondri ainulaadne ja väga oluline ülesanne päristuumsetes rakkudes raua-väävliaklastrite süntees. See on keeruline biokeemiline prot-



Mitokondril on palju ülesandeid, millest kaks näivad olevat asendamatud. Need on raua-väavliklastrite biosüntees ning raku energiaga varustamine adenosin trifosfaadi sünteesi kaudu. Hapnikust sõltuv energia tootmine ehk oksüdatiivne fosforüülimine toimub elektronitranspordiahelas. Selle käigus muudetakse adenosin difosfaati adenosin trifosfaadiks, viimane toimetatakse mitokondrist välja ja kasutatakse energiaallikana, et rakk saaks täita oma paljusid ülesandeid. Mitokondriaalne raua-väavliklastrite sünteesi süsteem koosneb vähemalt 17 valgust; väävliallikas on väävlit sisaldav aminohape tsüsteiin ning selle keerulise biokeemilise protsessi kaassaadus on aminohape alaniin. Osa raua-väavliklastreid kasutatakse mitokondri membraanis paiknevas elektronitranspordiahelas ning osa klastreid viiakse mitokondrist välja, kus nad moodustavad komplekse ja seega reguleerivad mitmete ensüümide tööd nii rakuvedelikus kui ka -tuumas. Üks selline ensüüm on akonitaas, mis katalüüsib tsitraadi muundumist isotsitraadiks. JOONISED: IGOR ŠEVTŠUK

sess, milles osaleb vähemalt 17 valku. Pärast sünteesi eksporditakse osa raua-väavliklastreid mitokondrist välja, kus nad moodustavad komplekse ja reguleerivad rakuvedelikus ja -tuumas paiknevate ensüümide tööd.

Mitokondrite väsimus viitab surmale

Haruldased geneetilised haigused, mis põhjustavad häireid raua-väavliklastrite mitokondriaalses sünteesis, on kõik seotud raua kuhjumisega mitokondrisse. Sedalaadi haigustest on kõige paremini uuritud Friedreichi ataksia, mida iseloomustab südamelihase paksenemine, lihaskõhjus, halvenev nägemine ja kuulmine, diabeet ja neurodegeneratsioon. Muutused teistes raua-väavliklastrite sünteesiga seotud geenides on eluks sobimatud või põhjustavad vähe-

mal või suuremal määral sarnaseid haigustunnuseid. Muutused tsütoplasmas paiknevates valkudes, mis seostuvad raua-väavliklastritega, võivad küll põhjustada raua kuhjumist rakus, kuid mitte tingimata mitokondris eneses.

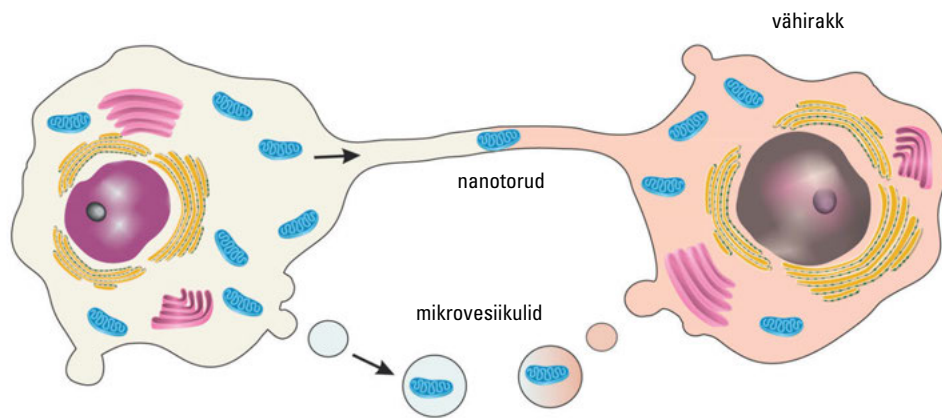
Ka sagedased neurodegeneratiivsed häired, nagu Parkinsoni ja Alzheimeri tõbi, on seotud raua kuhjumisega ja seega on mitokondrite töö häiritud. Üks ensüüm, mille aktiivsus on olnud raua-väavliklastrite olemasolust, on

Tartu geenivaramu uuringu põhjal on Krista Fischer koos kolleegidega teinud kindlaks, et olenemata teistest haigustest, ennustab suurenenud tsitraaditase veres inimese peatset surma.

akonitaas, mis katalüüsib tsitraadi üleminekut isotsitraadiks. Tartu geenivaramu uuringu põhjal on Krista Fischer koos kolleegidega teinud kindlaks, et olenemata teistest haigustest, ennustab suurenenud tsitraaditase veres inimese peatset surma. Võib oletada, et tsitraaditaseme tõusu põhjustab akonitaasi vähenenud aktiivsus, mis omakorda on tingitud raua-väavliklastrite nappusest ja kajastab seega mitokondrite väsimust, kuna nad ei suuda neid ühendeid enam piisaval hulgal toota.

Südamehaiguste ajend on häired mitokondrite töös

Lihaskududes on mitokondrite roll eriti tähtis. Mitokondrite hulk ja toimimine lihastes on olnud sellest, mis otstarvet nad täidavad. Lihased, mis peavad töötama katkematult kogu elu ja ena-



Kasvajakarak varastab ümbritsevast koest mitokondreid nanotorude kaudu või ka rakuvedelikus leiduvate põiekestest – vesiikulite abil

masti ühtlase koormusega, nagu näiteks süda ja diafragmalihased, kasutavad energiatootmiseks põhiliselt mitokondreid ja seetõttu nimetatakse neid oksüdatiivseteks lihasteks. Lihased, mida nimetatakse valgeteks, glükolüütilisteks või ka „sprinteri lihasteks“, aitavad inimesel kiiresti joosta ning teha kiireid, jõulisi liigutusi, rakendades selleks eelkõige rakuvedelikus toimuvat glükolüüsi. See on küll tunduvalt kiirem energiatootmisviis, kuid samal ajal 18 korda vähem efektiivne kui mitokondri kasutamine.

Südamelihas vajab lakkamatult energiat, et pumbata verd ja varustada kõiki organeid küllaldaselt hapnikuga, et need saaks omakorda endale vajaliku energiat toota. Mitokondrid peavad südamerakkudes andma piisavalt kütust hetke vajadust mööda, ent samas tagama südame töö kogu meie elu jooksul. Et see õnnestuks, peab nende tööd väga täpselt juhtima: kui koormus suureneb, toodetakse rohkem energiat ning kui väheneb, kahaneb samavõrra ka energiatootmine. Teisalt on vaja suure energiasaldusega aineid kiiresti ja kadudeta liigutada rakuosadesse, mis vajavad energiat. Selleks on niisugustes kudedes nagu südamelihas, skeetilihased ja aju erilsed energiatranspordi võrgustikud, mille ülesanne on peale energia edasikande tuua energiaku puudutav info mitokondritesse, et reguleerida hapnikutarbimise kiirust.

Peaaegu kõik südamehaigused on seotud häiretega mitokondrite töös. Mitokondrite puuduliku ehituse ja tööga on seotud sellised südame- ja veresoontehaigused nagu südame arütmia, äkksurm, südame lihaskesta

haigused ning südamelihase põletik. Südamapuudulikkuse algfaasis hakkavad mitokondrid ja halb varustus energiaga lihase tööd piirama. Üks kroonilise hapnikuvaeguse esimesi tunnuseid on mitokondrites aset leidvad muutused, mis lõpuks põhjustavad lihaskraku programmeeritud surma ehk apoptoosi.

Ka skeetilihasest võib tulla ette mitokondritega seotud haigusi; tegemist võib olla nii elu jooksul toimunud haiguslike muutustega kui ka pärilike mitokondriaalsete haigustega. Viimased on seotud kaasasündinud vigadega mitokondriaalses DNA-s või rakutuuma selles DNA-osas, mis on seotud mitokondriaalse ainevahetusega. Tagajärjeks on mitokondri ülesehitus, mis takistab selle organi normaalse toimimist.

Üks mitokondriaalsete haiguste sõlmpunkt on viiest kompleksist koosnev hingamisahel. Selle valkude aktiivsuse vähenemine ei põhjusta rakus mitte ainult energiapuudust, vaid ka kahjulike ainevahetusproduktide, näiteks reaktiivsete hapnikuosakeste (ROS-id) kuhjumist, mis omakorda kahjustavad nii mitokondrit ennast kui ka teisi rakuosi. Seepärast tekib allakäiguspiraal, kus ROS-ide mõjul kahjustub üha enam mitokondriaalne hingamisahel, mille tõttu tekib üha suurem kogus ROS-e ja raku kahjustused järjest süvenevad. Sedalaadi haiguste sümptomid on lihaskõrvalus, seedehäired, südamehaigused ja raskemate vormide puhul ka neuroloogilised ja nägemishäired. Praegu pole mitokondriaalsete haiguste algpõhjuste ravimiseks tõhusaid võimalusi, kuid siiski osatakse patsientide elu pikendada ja paremaks muuta.

Mitmepalgeline vaenlane kasvajates

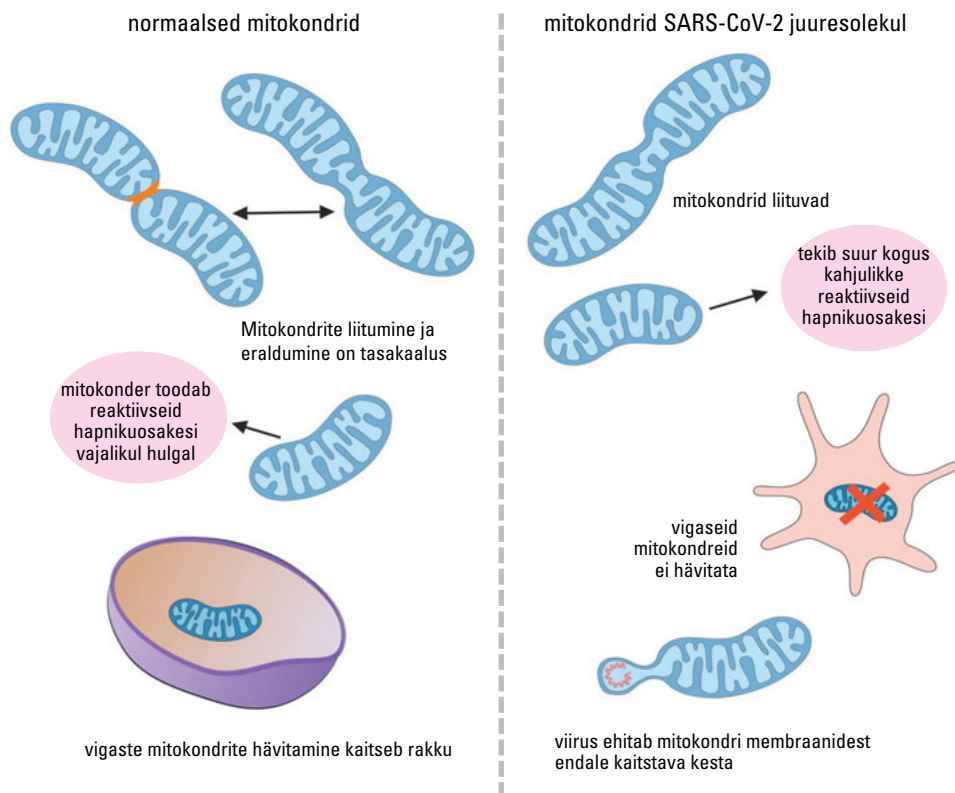
Tõeliselt mitmekülseks vaenlaseks võib mitokondri muutuda aga pahaloomuliste kasvajate korral. Eestis kaotab vähkkasvajale elu üle 20 inimese päevas, seega on kasvajakad väga suur probleem isegi praeguse koroonaviirusega võrreldes. Pikka aega arvati, et mitokondrid ei mängi kasvajate tekkes ja nende arengus mingit rolli, kuid nüüdseks on tõestatud, et tihti on asi hoopis vastupidi. Esimene, kes juhtis tähelepanu sellele, et kasvaja tekkel muutub olulisel määral rakkude energiasüsteem, oli 1931. aastal saksa biokeemik Otto Warburg. Ta jõudis järeldusele, et kasvajakad saavad erinevalt normaalsetest kudedest oma energia suuresti aeroobse glükolüüsi teel. See tähendab, et isegi piisava hapniku korral kasutab rakk hapnikuvaesele keskkonnale omast energiatootmisviisi ehk põhiliselt glükolüüsi. Niisugune nähtus sai nimeks Warburgi efekt.

Kaua oldi arvamisel, et aeroobne glükolüüs on valdav kõigis kasvajakades. Ent viimastel aastatel on ilmnenud, et eriti agressiivse vähi korral on mitokondriaalne hapnikutarve kasvajakarakkudes isegi suurem kui vastavas terves koes. Tallinnas asuvas keemilise ja bioloogilise füüsika instituudis uuritakse kasvajate energiametabolismi iseärasusi ja püütakse välja selgitada nende seost kasvajate pahaloomulisusega.

Kuigi me ei tea kasvajakarakkude mitokondritest veel eriti palju, on praeguseks selge, et muutused vähirakkude energiatootmises ja selle transpordis on märkimisväärsed. Näiteks on valkudest koosnev hingamisahela superkompleks vähirakkudes üles ehitatud teistmoodi. Selle üks tagajärg on vähiraku võime vältida apoptoosi ehk loomulikku rakusurma, mis peaks käivituma, kui organism avastab vigase raku.

Veelgi keerulisemaks teeb kasvajakarakkude vastu võitlemist nähtus, mida nimetatakse metaboolseks plastilisuseks: kasvajakarad suudavad paindli-

Pikka aega arvati, et mitokondrid ei mängi kasvajate tekkes ja nende arengus mingit rolli, kuid nüüdseks on tõestatud, et tihti on asi hoopis vastupidi.



Joonis selgitab, kuidas vere valgeliblede mitokondrid aitavad organismis olevat koroonaviirust

kult kohaneda vaenuliku väliskeskkonnaga, programmeerides ringi kogu oma energiametabolismi ning tootes paljunemiseks vajalikke ehitusplokke nii hapnikuvaeguses kui ka hapnikuga hästi varustatud mikrokeskkonnas. Metaboolne plastilisus iseloomustab suuremal või väiksemal määral kõiki kudesid, kuid eriti ilmekalt on see väljendunud kasvajate korral. Geenide ja rakumetabolismi analüüsid näitavad, et koos eksisteerib kolm kasvaja ainevahetuse tüüpi: glükolüütiline, oksüdatiivne ja hübriidne ehk segatüüpi, samal ajal kui tavalistel rakkudel on ainult glükolüütiline ja oksüdatiivne olek.

Ehkki vähiuuringute vallas on genoomikast ja immunoloogiast teada palju edulugusid, ei ole siiani täpselt aru saadud vähirakkude paindlikkuse mehhanismidest ning seega vähi võimest mööda hiilida ravist, mis on suunatud kindlatele sihtmärkidele. Veelgi enam, kasvaja oksüdatiivse ATP tootmise võime on seotud vähi agressiivsusega ja ennustab siirete teket.

Hea verevarustusega kasvajapaikmetes on rohkem mitokondreid kui normaalses koes. Peale tavapärasel moel mitokondrite arvu suurendamise

oskavad vähirakud neid kaaperdada ümbritsevatelt kudedelt, transportides neid nanotorukeste või väikeste membraanidest moodustunud struktuuride – vesikulite abil. Sedasi saadud suurem ja mitmekesisem mitokondrite hulk tagab kasvajakule paremad elutingimused, kuna energiat uute vähirakkude tekkeks on rohkem.

Pidades silmas mitokondrite võtmerolli kasvaja tekkes ja arengus, on mitokondrid väga paljulubavad ravimite sihtmärgid, kuid probleemiks on selle ravi keerukus. Me vajame energiat ja seega ka mitokondreid kõigi organite töös, mistõttu tuleb aru saada, kuidas vähirakud ja nende mitokondrid erinevad tervetest rakkudest. Siis saaks terveid kudesid kahjustamata sihikule võtta ainult vähiraku mitokondrid. Seejuures tuleb mängu personaalne meditsiin: erinevused ei pruugi olla ainult kasvajapaikmete ja -tüüpide vahel, vaid ka iga patsiendi organismi reaktsioonid samasugusele ravile võivad suuresti erineda.

Koroonaviiruski paneb mitokondrid enda heaks tööle

Mitokondritest ei saa mööda vaadata ka kogu maailma vaevava koroonaviiruse

puhul. Viirusnakkuste korral muutub mitokondrite areng ja ainevahetus, mis mõjutab peremeesrakkude energiatootmist ja immuunrakkude ainevahetust. Alabama teadlased jõudsid perifeerse vere valgeliblesid uurides järeldusele, et SARS-CoV-2 võib panna peremeesorganismi mitokondrid enda kasuks tööle ja enda huvides meie ainevahetust mõjutada.

COVID-19 põdevate patsientide vereliblede mitokondrite toimimine häiritud ning selle tagajärjel tekib hapnikust sõltuva energiatootmise puudujääk. Mitokondrite talitluse häired ja sellega seotud oksüdatiivne stress ajendab kudesid tootma põletikufaktoreid ehk tsütokiine, mis omakorda etendavad olulist rolli viirusvastase immuunvastuse kujunemisel. Nii leiti, et fibroblastide kasvufaktori 21, teise nimega mitokiini tase veres on otseselt seotud COVID-19 raskusastme ja suremusega. Pealegi suudab koroonaviirus ehitada endale mitokondri membraanidest kaitsva pesa. Niisiis, COVID-19 patsientidel on mitokondrite töö halvenenud, energiametabolism muutunud ning glükolüüsi roll ja mitokiini sisaldus suurenenud. See viitab selgesti vajadusele taastada mitokondri toimimine ja suruda glükolüüs alla kas ravimitega või siis COVID-19 raviks välja töötatavate energiametabolismi modulaatoritega.

Kokkuvõtteks võib öelda, et meie heaolu on kogu elu seotud mitokondrite tervisega. Ebatervislikke eluviise harastades, pahaaimamatult haigustel areneda lastes või lihtsalt geeniloterii tõttu mitokondrite töös tekkinud häired mõjutavad olulisel määral meie elukvaliteeti ja haiguste kulgu. Mitokondrite uurimine võimaldab aru saada paljude haiguste tekkeviisidest ja leida neile uusi sihtmärgistatud ravimeid. •

Tuuli Käämbre (1960) on keemilise ja bioloogilise füüsika instituudi keemilise bioloogia laboratooriumi juhataja. Tema peamine uurimisvaldkond on südame- ja skeletilihaste ning kasvajakude energiavahetus.

Marju Puurand (1976) on keemilise ja bioloogilise füüsika instituudi keemilise bioloogia laboratooriumi teadur.

Kersti Tepp (1966) on keemilise ja bioloogilise füüsika instituudi keemilise bioloogia laboratooriumi teadur.

Anton Terasmaa (1974) on keemilise ja bioloogilise füüsika instituudi keemilise bioloogia laboratooriumi vanemteadur.



Eesti Politseimuuseum

KOHTUEELSE UURIMISE



LABOR



Tule ja kehastru eksperdiks!

**LAHKAMINE • BIOMEETRIA
KEHAVEDELIKE UURIMINE**

**Kuidas teha kindlaks kuriteo põhjused?
Kas iga tegu jätab jälje?**

Labori programmid al 12. eluaastast.
Sobivad ka täiskasvanutele.

Info ja registreerimine:
52 29397; katri@svm.ee



VIRUMAA MUUSEUMID
MUSEUMS OF VIRUMAA

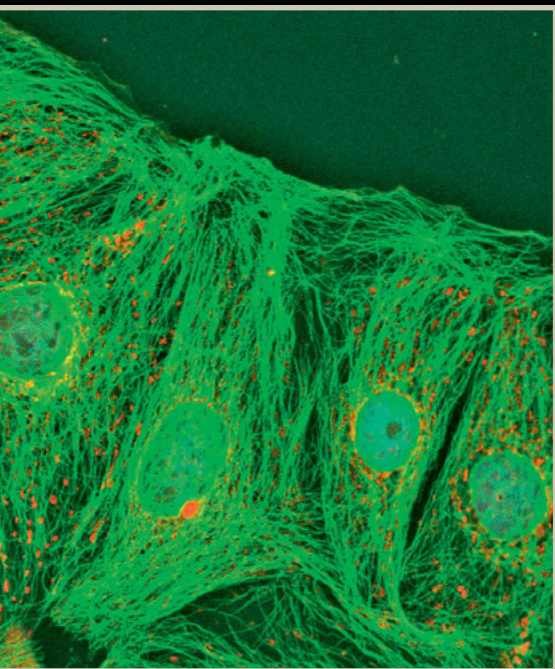
www.politseimuuseum.ee

1

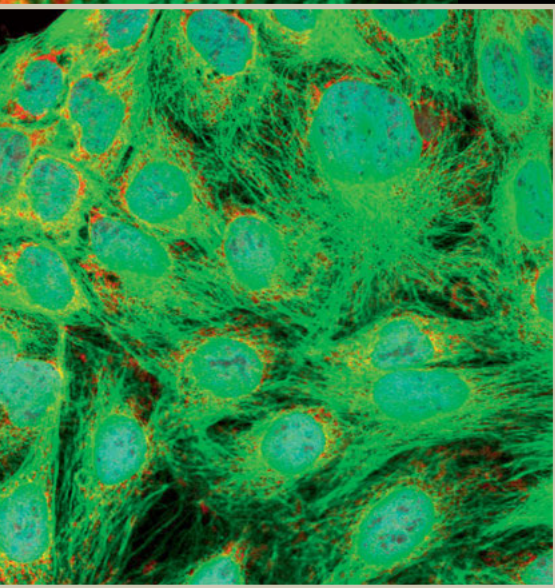
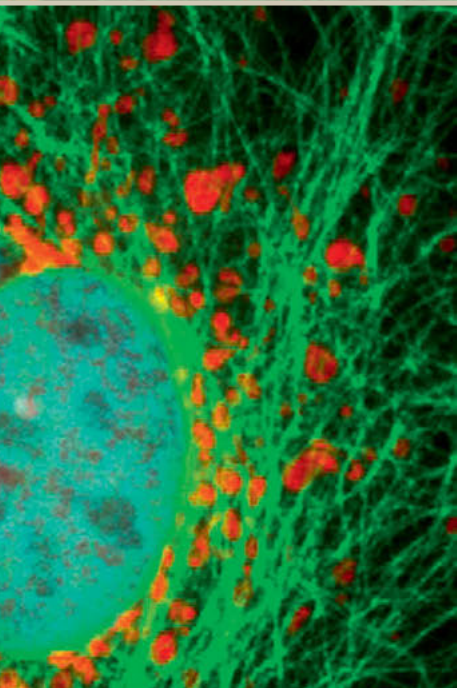
2

3

Pildil 3 on näha jämesoole vähirakud ning piltidel 1 ja 2 on samad rakud pärast võihappega inkubeerimist. Punasega on värvitud vähirakkude mitokondrid, rohelisega aga rakkude sisetoese moodustav tsütoskelett ja helesinisega rakkude tuumad



FOTOD: LJUDMILA KLEPININA



Ljudmila Klepinina

Vähi tüvirakud kui kasvaja kurja juur

Kogenud aednik teab, et kõige parem viis umbrohest lahti saada on see välja juurida. Samamoodi on ka haigustega: võidelda ei tule mitte sümptomite, vaid haiguse põhjustega. Kui vaadelda kasvajat umbrohuna, siis paljud vähi-vastased ravimeetodid, nagu keemia- või kiiritusravi, hävitavad kiiresti kasvava maapealse osa, kuid mõnikord võivad maa sisse peidetud juured ehk mõned kasvajakud jääda puutumata. Mis siis juhtub? Mõne aja pärast võib kasvaja taas tekkida või muutuda tavapärasele ravile vähem vastuvõtlikuks.

Miks võib kasvaja pärast ravi uuesti tekkida? Kuigi esmapilgul tundub, et kasvaja kujutab endast ühtlast rakumassi, koosneb see tegelikult mitut tüüpi rakkudest. Enamik rakke on kasvaja põhimass, mis tavaliselt allub ravile väga hästi. Ent väike hulk rakke kasvaja sees võib pärast keemia- või kiiritusravi ellu jääda ja moodustada uue kasvaja. Kuna need sarnanevad omadustelt inimese normaalsete tüvirakkudega, kutsutakse neid kasvaja tüvirakkudeks.

Need rakud ongi minu uurimisobjektid.

Kasvaja tüvirakke iseloomustab muu hulgas võime muutuda teist tüüpi rakkudeks ning just seda omadust kasutan ma oma uurimistöös. Võtame näiteks ajukasvaja. Mikroskoobi all näeb ajukasvaja rakk välja ümmargune nagu kera. Selleks et meenutada rakule, milline ta kunagi oli, lisan talle närvisüsteemi talitluses osalevat A-vitamiini ning siis hakkab sellest väikesest rakust arenema pikkade hargnevate jätketega rakk, mis sarnaneb närvirakuga. Samamoodi juhtub soolevähiga: kui lisada soole vähirakkudele võihapet (vaata kõrvalolevaid fotosid) – mida tavaliselt toodavad soolestikus elavad kasulikud bakterid –, siis on võimalik saada tavapäraseid soole kattekude meenutavaid rakke.

Peale rakkude välimuse muutuvad niisuguse mõjutamise tõttu ka protsessid raku sees ning minu eesmärk on välja selgitada, mis ja kuidas on muutunud.

Miks need rakud on muutunud kasvajakrakkudeks? Kuidas need rakud saavad energiat ja mil moel nad seda kasutavad? Ja mis kõige olulisem: kuidas on võimalik nende teadmiste abil kasvaja tüvirakke teistest rakkudest eristada? Kui saaksime eemaldada kasvajast vähi tüvirakud ehk välja juurida kasvaja põhjuse, oleks võimalik vabaneda sellest inimesele ohtlikust umbrohest.

•

Ljudmila Klepinina (1990) on keemilise ja bioloogilise füüsika instituudi (KBFI) keemilise bioloogia laboratooriumi nooremteadur. KBFI keemilise bioloogia laboratooriumi ja Tallinna tehnikaülikooli keemia ja biotehnoloogia instituudi koostöös uuris ta doktoritöös kasvaja tüvirakke, täpsemalt seda, kust need rakud saavad energiat ja kuidas seda kasutavad võrreldes tervete keharakkudega.

KALATEADLANE MARKUS VETEMAA



LÄÄNEMERE SEISUND ANNAB PÕHJUST ETTEVAATLIKUKS OPTIMISMIKS

Tartu ülikooli Eesti mereinstituudis uuritakse eri aspektidest nii Läänemerd kui ka Eesti mageveelisi siseveekogusid. Mereinstituudi direktor Markus Vetemaa on erialalt kalateadlane, kes juhib ühtlasi instituudis tegutsevat kalabioloogia ja kalanduse osakonda. Professor MARKUS VETEMAAGA vestles kalateadlaste töödest-tegemistest, Läänemere seisundist ja sellest, kuidas elavad muutuvates keskkonna- ja kliimaoludes Eesti kalad, Horisondi toimetaja HELEN ROHTMETS-AASA.

Millega instituudi kalateadlased praegu põhiliselt tegelevad?

Järjepidevuse mõttes on meie jaoks kõige tähtsam riigi tellimusele tehtav kalavarude hindamine ehk seire. See tähendab, et me kogume igal aastal standardsete meetoditega andmeid kalavarude kohta. Püüame merel osalt võrgu, osalt traaliga, Peipsil nii traali, mõrdade kui võrkudega kalu, võtame proove ja anname ülevaate, milline on meie kalavarude seis. Mereinstituut on kalavarusid seiranud juba 50 aastat ja loodetavasti teeb seda vähemalt sama kaua veel.

Kalavarude seirega haakuvad kalandusuuringud, mida riik meilt tellib, et saada pilti, kuidas kalavarude seisust lähitules korraldada püüki kõige paremini: millised peaksid olema alammõõdud, püügi keelualad ja -ajad, aga ka lubatud kogused, näiteks kvoodid tonnides, või kui palju püüniseid tohib kasutada. See on muidugi problemaatiline teema, sest enamasti tuleb koguseid vähendada. Aga kuidas sa vähendad, kui kala püüab näiteks 300 meest, kõigil on üks mõrd – kuidas sa ütled viiekümnele, et teie enam püüda ei saa?

Rasked teemad, eriti Peipsil, mida peame majandama koos Venemaaga. Ja majandatud on see suhteliselt kriitiliselt, nii-öelda piiri peal. Kalureid on seal nii palju, kui vähegi saab, ja tegelikult mitu korda rohkem. Peipsil kehtivad püügi-kvoodid, aga püügivõimsus on selline, et poole aasta kvoot ammendub ühe kuuga. Oleme muidugi pidanud selget vahet: meie asi on öelda, kui palju kala on, ja dokumenteerida, kui palju püünised neid välja võtavad, aga me ei ole kohunikud, kes ütlevad, et nii tuleb teha. Selleks on meil ministeeriumid. Kalavarude majandamine on ministeeriumite teema, nad tellivad meilt soovitusi ja eksperdiuuringuid, ja see on nende asi, mis nad tulemustega teevad.

Kakskümmend aastat tagasi me seire kõrval suurt muud ei teinudki. Praegusel ajal on juurde tulnud palju muid teemasid. Näiteks tegeleme järjest enam kalade kudealade uurimisega. Kui näiteks mõne kalaliigi varu on halvas seisus ja seda mitte ajutiselt, vaid juba pikka aega ning olukord läheb

Peipsil kehtivad püügikvoodid, aga püügivõimsus on selline, et poole aasta kvoot ammendub ühe kuuga.

aasta-aastalt järjest halvemaks, siis meie ülesanne on selgitada, milles on probleem. Näiteks käivad paljud meres elavad kalad magedas vees kudemas, mis tähendab, et neil peab olema sellisele veekogule ligipääs. Ja tihti ongi probleem selles, et nende mageveeliste veekogude keskkonnaseisund on läinud sedavõrd halvaks, et kalad ei saa neis enam sigida. Ja me ei anna sel juhul ainult ülevaadet probleemidest, vaid ka soovitusi, kuidas kudealade olukorda parandada.

Kolmas suur valdkond on seotud kõikvõimalike arendustega. Merealasad võetakse üha rohkem kasutusse, neisse pannakse kõiksuguseid kaableid ja torusid ning ka tuuleparke hakkab olema järjest rohkem, mis on iseenesest õige, sest mere peal on alati rohkem tuult kui maismaal. Selge on aga see, et enne kui midagi merre rajatakse, on vaja põhjalikult uurida, millised on selle mõjud. Meie vaatame, kuidas mõjutavad plaanitavad arendused kalastikku. Sama asi on sadamates tehtavate töödega, näiteks süvendustöödega, milleks tellitakse keskkonnamõjude hindamine, ja meie vaatame kalastikuga seotud poolt. Kui asi pole päris must-valge, siis pakume leevendusmeetmeid, näiteks piirame tööde jaoks lubatava aja nõnda, et kalad saaksid vähemasti rahunud sigida.

Laias laastus jagunevadki meile tulevad tellimustööd nende kolme valdkonna vahel. Aga muidugi on ka terve rida väiksemaid uurimisteesid, näiteks ma ise tegelen palju ka kalatoiduliste loomade, hüljeste ja kormoranide mõjuga kalandusele, mõned meie doktorandid uurivad kalade parasiite, ja neid teemasid on veel.

Räägime Läänemerest, millest on kõneldud kui ühest maailma saastunumast merest. Milline on Läänemere tervis?

Laias laastus võib tõesti öelda, et Läänemeri on üks maailma saastunumaid meresid. Lihtsalt sellepärast, et ta on nagu järv: veevahetus ookeaniga on väga halb. Aga kui me räägime mere tervisest või keskkonnaseisundist, siis on tähtis aru saada, et selles võib eristada kaht suurt tahku. Üks neist on eutrofeerumine, mis tähendab seda, et meil on liiga palju taimede toitaineid, lämmastikku ja fosforit. Need tulevad näiteks põllumajandusest: me väetame põldusid, põldudelt kannab vesi neid aineid oja-desse, sealt jõkke ja jõgedest merre. Lämmastiku- ja fosforikogused, mis põllumajandusest tulevad, on väga suured. Seda nimetatakse hajureostuseks.

Aga on olemas ka punktreostus. Vanasti oli nii, et kogu Tallinna reovesi juhiti lihtsalt pika toruga kaugele ja sügavale merre, et rand ise ei oleks liiga kole. Seda enam ei tehta, vett puhastatakse, aga inimtegevuse tõttu jõuab ikkagi lämmastikku ja fosforit suures koguses jõgesid pidi merre. Muidugi väetati nõukogude ajal veelgi hullemini, aga asi on selles, et see, mille sa oled kord Läänemerre pannud, ei kao sealt niipea. Selleks et Läänemeres kogu vesi ära vahetuks, kulub ligemale sada aastat, nii et kõik see, mis me nõukogude ajal tegime, avaldab meie järvedele, jõgedele ja merele endiselt mõju.

Selleks et Läänemeres kogu vesi ära vahetuks, kulub ligemale sada aastat, nii et kõik see, mis me nõukogude ajal tegime, avaldab meie järvedele, jõgedele ja merele endiselt mõju.

Lämmastiku ja fosfori puhul ei ole tegu otseselt mürgiste ainetega. Need ained on ka kalade ja merekeskkonna jaoks vajalikud. Küsimus on kogustes. Kui nende ainete kontsentratsioonid lähevad meres liiga kõrgeks, siis algabki eutrofeerumine: kuna vees on taimedele palju toitaineid, siis hakkavad need vohama. Üks selle negatiivseid mõjusid on näiteks sinivetikate vohamine suvel, kui on palju soojust ja päikese-kiirgust. Teine negatiivne mõju puudutab merepõhja, sest sügisel taimed surevad, vajuvad põhja ja lagunevad seal, mille tagajärjel merepõhjad, mis olid veel Teise maailmasõja järel liivased ja kruusased, mudastuvad. Mõnede kala-liikide, nagu näiteks merisiia jaoks, on see tõsine probleem, sest siig vajab kudemiseks puhast põhja.

Täiesti omaette tahk on aga mürgised kemikaalid, mida me oleme vette lasknud ja mille kontsentratsioonide tõus meres on ohtlik, sest need ained on bioakumuleeruvad. Need keskkonnamürgid on kahjulikud eeskätt mere tippkiskjatele. Mürgid talletuvad kõigepealt fütoplanktoni söövate pisikeste selgrootute kehas, jõuavad sealt zooplanktoni ning põhjaussikeste kaudu kalade rasvkoesse ja seejärel kiskjatesse, kes kaladest toituvad. Kui hüljes või merikotkas söi terve elu sellist kala, siis kogunes tema kehasse sedavõrd palju mürki, et ta polnud enam sigimisvõimeline. See oli põhjus, miks 50 aasta eest hakkasid mõlemad hülgeliigid Läänemerest ära kaduma. Kuna inimesed ei söö hommikust õhtuni kala, siis meie jaoks pole see probleem nii tõsine.

Dioksiinide, DDT ja kloororgaaniliste ühendite kontsentratsioonid hakkasid meres kasvama pärast Teist maailmasõda, kuid esialgu ei osanud keegi muret tunda. Alles 1970. aastatel hakati aru saama, et midagi on väga halvasti. Hülgeid ja merikotkaid selleks ajaks enam õieti polnud. Tehti uuringuid ja mõisteti, et Läänemeri on täis väga mürgiseid ühendeid. Võeti vastu rahvusvahelisi otsuseid nende ainete keelustamiseks, hakati ehitama puhastusseadmeid ja Läänemere tervis hakkaski paranema. Seega võib öelda, et tõeliste mürkide poolest on meri muutunud näiteks 1980. aastatega võrreldes oluliselt puhtamaks. See kajastub ilmekalt tippkiskjate, merikotkaste ja hüljeste arvukuses, mis on hüppeliselt kasvanud. Eutrofeerumise osas ma aga paraku tõsiselt paranemise märke ei näe.

Mida annaks eutrofeerumise vastu ette võtta?

Meil on Läänemere põhjakihtidesse deponeeritud nii palju igasugust sodi, et see võib sealt jälle üles tõusta. Kui ka iga-sugune saaste kinni keerata või siis näiteks vähendada lämmastiku ja fosfori sattumist merre sada korda, mis on kujuteldamatu, ka siis ei pruugiks olukord viie aasta pärast palju parem olla.

Kui vaadata Läänemere-äärseid riike, siis pinnaühiku kohta on eestlased suhteliselt väikesed saastajad, suurimad on Poola ja Venemaa. Läänemere puhul on tähtis, et kõik riigid selle kaitsesse panustavad. Kui seda teeb üks riik, ei ole sellest palju abi: sellel, kes saastab, on siis lihtsalt mõnusam jätkata. Muidugi on olemas Helcom ehk Läänemere merekeskkonna kaitse komisjon, mis tegeleb Läänemere tervise-ga, aga me teame, et isegi kui jutus ollakse Venemaal väga tublid, on tegelikkus teine. Peterburi ümbrusest ja Neeva jõe pidi voolab Läänemerre kõvasti solki ja Peipsis on samuti olukord seda hullem, mida lõuna poole me läheme. Eriti kehvas seisus on Pihkva järv, kuhu Velikaja jõgi toob tohutut koguses saastet.



Kuidas on lood meie kalavarudega? Milliseid muutusi on siinsetes kalapopulatsioonides viimase paarikümne aasta jooksul toimunud ja kas mõni liik on päriselt kadumas?

Uuel iseseisvusajal on olnud suuri kõikumisi paljude liikidega. 1990. aastatel tehti liiga kallite kalade, näiteks ahvena, koha ja haugi varudele. Iga mees tohtis kaluriks hakata ja kala müüdi Saksamaale, kus nende hind oli praegusega võrreldav; korralik kuupalk toonases Eestis oli aga vaid saja euro ringis. See tähendas, et kalurid said pööraselt rikkaks ja inspeksioonil puudus võimekus kogu seda protsessi kontrollida.

Ega me täpselt teagi, kui palju kala toona välja püüti. 1998. aastal oli Väinameres ahvenaga täielik madalseis. Kui kadus kala, kadus aga ka kalandus ja kalameesteks hakanud pöördusid tagasi endiste ametite juurde. Nüüdseks on probleem lahenenud, sest see oli otseselt seotud toonase poliitilise ja majandusliku olukorraga: järsku läks turg lahti ja kala sai hea hinnaga eksportida.

Teine pool on looduslike tingimuste muutumine, ja selle kohta on parim näide jällegi juba nimetatud merisiig. Paar aastat tagasi jaotati see liik kaheks eri liigiks: meres ja magevees kudevaks siiaks, kes on bioloogiliselt täiesti erinevad. Omavahel nad ei segune, ainult väliselt on sarnased. Kui kunagi domineeris Läänemeres meie enda meres kudev siig, siis praeguseks on selle varu kahanenud mituküm-

mend korda. 1960. aastatel hakkasid siiavarud vähenema aktiivse püügi tõttu – just siis võeti kasutusele tehismaterjalist võrgud, mis ei lagunenu enam nii kergesti ega vajanud sellist hooldust kui linasest võrgud –, aga sellele lisandus peagi eutrofeerumine, mis tähendas, et siiavarud ei saanud taastuda.

Merisiig on muidugi selline liik, keda mõjutab veel üks kahjulik areng, nimelt kliima soojenemine. Kui need kaks tegurit on koos, siis on asi eriti halb. Siig koeb nimelt hilissügisel, novembri paiku, madalasse vette, ja talle on oluline, et veele tekiks kiiresti jääkate, sest selle all ei ole torme. Tormiga hakkab laine marja rullima ja kui põhjas on troofsuse tõttu tekkinud muda, siis künnab laine selle muda üles, mari mattub mudasse, kus pole hapnikku, ja hävib.

Selliseid talvi, kus meil tekib novembris-detsembris püsiv jääkate, tuleb ette järjest vähem. Isegi kui see hilissügisel korra tekib, siis sulab see enne märtsi-aprilli ära, ja sellest pole kasu, sest siiamari koorub alles kevadel. Mõni aasta

Merisiig on kõige esimene kala, kelle kohta võib öelda, et ta on meie vetest kadumas
Läänemere keskkonnaseisundi halvenemise tõttu.

tagasi oli paar head talve ja tänu sellele on veel kohalikku siiga elus, aga kui me vaatame tulevikku – kui kliima soojeneb ja troofsuse olukord ei parane, siis on tulevik siia jaoks kaunis trööstitu.

Seega on merisiig kõige esimene kala, kelle kohta võib öelda, et ta on meie vetest kadumas Läänemere keskkonnanäitajate halvenemise tõttu. Kui nüüd kalurid ütlevad, et mis jutt see on, siiga on ju küll ja küll, siis see siig, keda me praegu valdavalt Läänemere, eriti Soome lahest püüame, on hoopis jões kudev siig, kes sigib Soomes. Geneetilise mitmekesisuse seisukohalt on meres kudev siia kadumine suur probleem.

Osale kaladest ilmselt soe vesi hoopiski meeldib?

Jaa, näiteks ahvenale ja kohale on soojad talved kasulikud, sest nad on vastupidi soojalembesed kalad. Neile talvine nullkraadine vesi pikalt ei meeldi, sest siis nad eriti ei kasva. Ahvena jaoks on oluline, et suvi oleks võimalikult pikk ja soe, sest siis on toitu rohkem. Väga soe ei ole ka hea, aga kui vesi on umbkaudu kümne kuni kahekümne kraadi vahel, siis saab ahven kenasti kasvada. Jääkatte all peavad nad lihtsalt suvel kogutud rasva arvel kevadeni vastu pidama, aga kui talv on väga pikk ja külm, siis on see just eelmisel kevadel sündinud põlvkonnale raske. Ja seda eriti siis, kui suvi oli olnud lühike ja külm, nii et varud jäid kehvapoolseks. Nii et neile kaladele tuleb kliimasoojenemine tõesti pigem kasuks.

Ütleksid, et ka mõned merekalad, kes vajavad sigimiseks magedat vett, ei saa meie jõgedes-järvedes enam hästi sigida. Miks see nii on ja mida selle vastu ette võtta?

See on jällegi otseselt seotud eutrofeerumisega. Näiteks on paljud jõe- ja ojasuudmed kasvanud niimoodi veetaimi täis, et kalad, kes käisid seal varem sigimas, ei pääse enam koel-

mutele. Oleme mõelnud välja mitmesuguseid lahendusi, kuidas kudealade olukorda parandada. See näeb välja nii, et me teeme ettepanekud keskkonnaametile, kes on meie partner, ja amet tellib vastavad tööd. Jõesuudmete puhul on lahendus näiteks kaevata muda kopaga välja.

Teine probleem toob meid jällegi kliimamuutuste juurde. Viimased talved on olnud sellised, et lumikate sulab talve jooksul mitu korda täielikult ära. See tähendab, et kevadised suurveed on asendunud talviste ja sügiseste suurvetega. Kui kevadist suurvett on järjest vähem, siis on see aga halb neile kaladele, kes käivad kevadise suurvee ajal kudemas. Näiteks jõuab haug küll suurvee ajal sigida, aga noored kalad ei jõua enam merre minna, sest vesi alaneb selleks liiga palju. Tekivad loigud, kuhu noored kalad lihtsalt ära surevad. Üks võimalus olukorda parandada on piirata näiteks mingi ala tammiga. Kui jõgedest peale voolav vesi hakkab alanema, pannakse lüüsid kinni ja avatakse uuesti, kui noored kalad on valmis merre minema. Rootslaste kogemusest on teada, et noorte merre minevate haugide arv võib sel moel saja- või isegi tuhandekordistuda.

Seega võib öelda, et me muudame Eesti loodust mõningates punktides, kus see tundub olevat õigustatud. Muidugi on sealgi omad ohud, arutleme kogu aeg, et me ei taha ju, et lahendus toimiks nagu kalakasvandus. Ideaal on leida sellised lahendused, mis jäävad ise püsima.

Kuidas teadlased uurivad, kus kala liigub?

Üks viis on otoliitide ehk kuulmekivide uurimine, mille alusel saab kaladel määrata mitmesuguseid asju alates vanusest ja lõpetades sellega, kus see kala on elanud: igal veel on erinev keemia ja see peegeldub kalade luudes. See tähendab, et me saame iga haugi kohta öelda, kas tema ema elas meres või magevees ja võime koguni öelda, millises jões tema ema elas.

Teine meetod on telemeetria: kaladele pannakse kiibid nagu kassidele ja koertele ning oja- ja jõedesse või pisikestesse jõgedesse, kuhu kalad tulevad, pannakse erilised traadist rõngad. Kui kala rõngast läbi ujub, annab kiip signaali. Meres ega suuremates jõgedes ei saa selliseid rõngaid kasutada, seal pannakse kaladele külge seadmed, mis annavad ultrahelisignaali. Igal kalal on kindel kood ja meil vastavad mikrofonid, millega neid signaale kuulata.

Veel paarikümmend aastat tagasi sellist asja ei olnud. Aga nüüd saab selle meetodiga koguda kõiksugust infot alates sellest, millal kalad jõkke tulevad, kui kaua nad seal on ja millal nad merre tagasi lähevad. Näiteks saab niimoodi kindlaks teha, kui kaua on noortel kaladel võimalik jõest merre tagasi pöörduda, ja kui selgub, et see ajaaken on väga väike – et vesi voolab just sel perioodil lühikese ajaga kruusa sisse ära ja jätab kalad kuivale –, siis saame hakata veeseisu vajaduse korral kunstlikult üleväl hoidma.

Kui suurt probleemi kujutavad Läänemere tulnud võõrliigid?

Me ju teame, et mõnel pool maailmas on võõrliigid suutnud veeökosüsteemi toimimist olulisel määral muuta. Oht on olemas. Aga alati tuleb arvestada, et kui mõni võõrliik võib olla väga kahjulik, siis võib mõni teine osutada suhteliselt kahjutuks. Kui rääkida kaladest, siis mina olen oma eluajal näinud kahe võõrliigi tulekut. Esimene oli hõbekoger, kes tuli siia 1980. aastatel ja on praegusel ajal väga tavaline ja arvukas üle kogu Eesti. Kui ta tuli, siis olime muidugi hir-

MARKUS VETEMAA

- Sündinud 5. oktoobril 1965 Tallinnas
- 1990. aastal lõpetas Tartu ülikooli (TÜ) bioloogina
- 1993. aastal kaitses samas magistratöö ja 1998. aastal doktoritöö „Reproduction parameters of fish as indicators in environmental monitoring“ („Kalade sigimisparameetrite kasutamine indikaatoritena keskkonnaseires“)
- 1993–2002 töötas TÜ zooloogia ja hüdrobioloogia instituudis vanemlaborandi, seejärel teadurina
- 2000. aastast töötanud TÜ Eesti mereinstituudis ihtioloogia ja kalanduse vanemteaduri, 2020. aastast kalanduse juhtivateadurina. 2021. aastast kalanduse professor
- 2018. aastast TÜ Eesti mereinstituudi direktor
- Eesti delegaat Rahvusvahelises Mereuurimise Nõukogus (ICES)
- Üle poolesaja teadusliku publikatsiooni autor
- Õpetab Tartu ülikoolis kalabioloogiat
- Romaanide „Ahelikud“ (1991), „Valgelinnu maailm“ (1998) ning „Tarkade kivi ja kannabinoidid“ (2017) autor

mul, et ei tea, mida ta meie ökosüsteemiga teeb, ja milliseid kalu välja surub, aga negatiivne stsenaarium õnneks ei täitunud.

Tegelikult võib ju öelda, et kõik kalad, kes on siia viimase 10 000 aasta jooksul tulnud, on võõrliigid, sest enne seda oli siin jää. Kui need, kes tulevad, sobituvad siinsesse ökosüsteemi, siis nad ei tee kahju, ja sama võib öelda hõbekogre kohta – teiste karplaste, näiteks säina või särje arvukus on võib-olla veidi alla läinud, aga mitte nii, et seda võiks näha loodusele või kalandusele traagilisena.

Järgmine tulija oli ümarmudil, kes tuli kümmekond aastat tagasi ja on nüüdseks samuti väga arvukas terves Läänemeres. Ka siis oli hirm, et äkki ta sööb välja lesta, kellele ta on kõige suurem toidukonkurent, süües põhja peal väikseid karbikesi. Lesta ongi vähem, aga seegi ei tundu olevat nii traagiline, sest õnneks on ümarmudil leidnud kohti röövkalade toidulaua: teda söövad näiteks ahven, koha ja haug ning pisemaid ümarmudilaid isegi siiad ja säinad. On arvatud, et ahvena alamõõtu peaks seetõttu tõstma: et meil oleks võimalikult palju suuri ahvenaid, kes on eriti aplad noori ümarmudilaid sööma. Ja kui noored süüakse ära, siis jääb ka vanasid vähemaks.

Nii et kokkuvõttes ei ole need kaks liiki, kes siia on tulnud, õnneks meie mere ökosüsteeme segi paisanud. Nad on siia mingil määral integreerunud ja leidnud oma niši.

Kuidas võõrliigid siia jõuavad?

Ümarmudil tuli ballastveega Mustast merest. Võib ju küsida, et kui mingi kala siin vetes päris hästi hakkama saab, siis miks ta siia juba varem ei ole tulnud. Maakera on ju päris vana. See, et Läänemeri on võõrliikide suhtes hästi tundlik, on tingitud sellest, et ta on mäge, riimveeline meri. Kuna teised riimveelised maailmamereosad, nagu näiteks Must meri, asuvad meist kaugel, siis ei ole kalad saanud soolase ookeanivee barjääri tõttu siia tulla. Kui aga tankerid pumpavad ühes riimveelises veekogus tünnid täis ja lasevad teises tühjaks, siis transpordivad nad sellega kaasa tohutult elustikku, ja mitte ainult kalu. On küll reeglid, et ballastvett tuleb ookeanis vahetada, aga ikka juhtub, et seda ei tehta.

Kuidas mudil maitseb?

Mulle isiklikult väga ei maitse, aga maitset on erinevad. Osa ütleb, et pole viga. Muide, üks kala, keda me siin võib-olla varsti näeme, on tõepoolest väga hea maitsega ja see on gorbuuša, üks Vaikse ookeani lõheliikidest. Kunagi töid venelased gorbuuša Kamtšatka piirkonnast Valgesse merre, tahtsid seda rikastada, ja ta hakkas seal hoogsalt paljunema. Nüüdseks on ta jõudnud juba Norrasse ja Rootsi ning liigub lõuna poole. Põhimõtteliselt me ju ei taha siia ühtegi uut liiki, tahame kaitsta oma ökosüsteeme sellistena, nagu nad on. Aga kui merre tuleb võõrliik, nagu näiteks tuli ümar-

FÜÜSIKA ÕHTUÕPIK

JÜRI LIIV

AHHAA keskuse teadusnõukogu esimees Jaak Kikas kirjutab värske „Füüsika õhtuõpiku“ tagakaanel:

„Õhtuõpikutest on kujunemas juba traditsiooniline žanr. Nüüd jõuab lugejani „Füüsika õhtuõpik“ Jüri Liivi sulest. Mida lugeja sellest leiab? Õpikule kohaselt on kaetud kõik füüsika ainevallad. Ja nagu õhtusele ajale kohane, ei koorma autor lugejat liigselt valemite ja pikkade tuletuskäikudega, küll aga jagab põnevaid sissevaateid füüsika ajalukku ja sellega võimalikuks saanud arengutesse-leiutistesse. Värvikust lisavad tsitaadid esimesest eestikeelsest füüsikaõpikust aastast 1855.

Raamatut võiks soovitada ka neile, kellele koolist ehk füüsikast kõige meeldivamad mälestused ei jäänud. Kuigi autor hoiatab liigsete lootuste eest, julgustaksin kõiki potentsiaalseid lugejaid siiski riskima.”



RAAMAT 24

Kõik õhtuõpikud on parima hinnaga Raamat24 uues veebipoes:
www.raamat24.ee

mudil, ei ole selle vastu midagi teha. Võib küll püüda arvukust alla suruda, aga kui sellega lõpetad, siis hakkab see jälle tõusma. Pigem mõeldagi nii, et mõni röövkala, nagu ahven, ise tema arvukust ohjes hoiaks.

Kui rääkida veel tuuleparkidest, siis millist mõju nende rajamine kaladele avaldab?

Lühidalt võib öelda, et me oleme need kohad, kuhu tuuleparke praegu rajada plaanitakse, üle vaadanud ja tundub, et põhjakalade poolest erilisi probleeme pole. Saksamaal ja Taanis, kus on merre juba tuulikuid püstitatud, on näha, et nende vundamentide peal hakkavad kohe kasvama karbid ja karpide järgi tulevad kalad, näiteks tursad. See tähendab, et tuuleparkide ümbruses võib kalu olla isegi rohkem kui mujal.

Aga loomulikult on tegemist hästi kompleksse küsimusega. Kui merepõhi on kivine ja me paneme sinna betoonpostid, siis me ei muuda suurt midagi, karpidel tekib lihtsalt rohkem võimalusi, kuhu kinnituda. Kui aga tegu on liivase põhjaga, kus karpe varem ei olnud, ent nüüd me paneme sinna betooni, kuhu peale tekib karp, siis on see mõneti nagu võõrliigi sissetoomine sellesse keskkonda. Võib-olla on need karbid kuidagi kahjulikud teistele loomadele, kes seal elavad.

Mis aga kõige problemaatilisem: need, kes plaanivad rajada tuuleparke Liivi lahte, peavad arvestama, et see on väga tähtis räime kudemisala. Igal kevadel tuleb avamereräim Kura kurgu kaudu Pärnu lähedale kudema. Kui nüüd panna sinna ette mürisema tuulepark, mis tekitab müra ja vibratsiooni, siis tekib küsimus, kas räimed, kes on ühed tundlikuma kõrvaga kalad üldse, tahavad sealt läbi ujduda. See tuleb alles välja selgitada ja selleks me plaanime alustada 2023. aastal suurt ja võimast eksperimenti: teeme müra ja vaatame, mida kala teeb, kas tuleb läbi või ei tule.

Me teame olemasoleva teaduskirjanduse põhjal, et heeringlased kuulevad väga hästi müra, aga kuidas nad sellele reageerivad, me ei tea, sest kusagil mujal maailmas ei peeta räime nii tähtsaks kui Eestis. Taanis, Saksamaal ja Rootsis öeldakse, et räim on tursa toit. Neid see ei huvita, aga Eesti kalureid huvitab räim väga, ja nii ongi vaja teha uuringuid ja koguda spetsiifilist kalateaduslikku teadmist.

Milline on Läänemere tulevik? Kas meil õnnestub negatiivseid suundumusi heaks pöörata?

Kui katsuda endas optimismi leida, siis tundub, et optimismiks ikkagi on natuke alust. Eeskätt annab lootust see, et otsene mürgisuseoht on kadunud. Olid ajad, mil Läänemeri oli väga mürgine: saastatud DDT, kloororgaaniliste ühendite, raskmetallide ja muude ohtlike ainetega. Selles mõttes ma näen, et inimesed on võimelised Läänemere ääres mõtestatult tegutsema, kaitsemeetmeid kehtestama ja sellel on ka tulemus. Ja ma usun, et äkki me suudame ka lämmastiku- ja fosforisaastuse üheskoos ja eeskätt koos Venemaaga kokku tõmmata.

Ja kui me räägime veel positiivsetest asjadest, siis mõelge näiteks sellegi peale, millised on kohati Sri Lanka, Vietnami või India rannad: liiva pole ollagi, on vaid ühtlane plastimass. Meil midagi sellist pole, meil ei loobita rämpsuga niimoodi vette. Nii et on lootust, et ehk me ikkagi suudame mere reostamist tulevikus rohkem kinni keerata.

Räim on meil minu meelest meeletult alahinnatud. Meie inimene teda eriti ei taha. Meil tahetakse sellist kala, kes näeb välja nagu pörsas: suurt koha, suurt lõhet, et lõikadki kohe selliseid pakse viile ja paned pannile.

Aga mis puutub kliimamuutustesse, siis käib sellega ilmselt paratamatult kaasas, et mõnede liikide, näiteks siia arvukus väheneb, ja soojalembeste kalade arvukus suureneb. Samas tuleb siingi arvestada, et kaladele on omane teatav plastilisus. Näiteks on osa haige hakanud kudema teistest varem: esimesed koevad juba märtsis, viimased alles mais. Sama liigi isendid jagunevad eri rühmadesse, kes käituvad erinevalt, otsides endale erinevat ökoloogilist nišši. Võib arvata, et kliima muutudes neist osa arvukus suureneb, ent teistel see kahaneb. Liigid on võimelised adapteeruma ja seega ma arvan, et haug jääb meile ikka elama.

Teine on olukord Peipsis. Meres leiab külmalembene siig ka kõige kuumemal suvel põhjakihtides ikka külmaveelise refuugiumi, kuhu peitu pugeda, kuid Peipsi soojeneb terveni üles. Seega on karta, et külmaveeliste liikide, nagu peipsi siig, rääbis ja tint, arvukus kahaneb. Selles mõttes pole kahtlust, et kliimamuutused toovad muutusi ka kalandusse.

Kas sa ise sööd palju kala?

Ma ei söö juba mitu aastat liha, kala süüa aga peaaegu iga päev. Ma saangi kogu loomse valgu kätte kalast. Meetodeid, kuidas kala valmistada, on ju nii palju: suitsutada, praadida, suppi teha. Võib ju öelda, et räimes on kilo kohta kindlasti rohkem kloororgaanilisi ühendeid kui sealihast; et sealihast on selles mõttes puhtam. Aga kui me vaatame, mida toitumisspetsialistid ja arstid räägivad, siis on räim, kust saab näiteks küllastamata rasvhappeid, sealihast jällegi nii palju kasulikust, et see kompenseerib selle väikese saastuse täielikult.

Ma pole muidugi põhimõtteline lihasöömise vastane, süüa vajadusel ka liha, näiteks kui mõnel üritusel muud ei pakuta, ning käin ka paar korda aastas jahil ja süüa siis loomulikult saagiks saadud põdra liha. Tavamenüüs on mul aga ikkagi pigem kala.

Mis kala sulle kõige rohkem maitseb?

Võib-olla ahven ja räim. Lest on ka hea, aga seda sai vahepeal nii palju süüa – kodusaarel Vilsandil suurt muud vahepeal võrguga ei saanudki –, et tüütas natuke ära. Selge on see, et angerjas maitseb kõigile, aga räim on meil minu meelest meeletult alahinnatud. Meie inimene teda eriti ei taha. Meil tahetakse sellist kala, kes näeb välja nagu pörsas: suurt koha, suurt lõhet, et lõikadki kohe selliseid pakse viile ja paned pannile. Selline on Eesti kalatarbija eelistus.

Venelased ja asiaadid on kalatarbimises rohkem korilase moodi, süüavad ka väga väikseid kalu. Kui meie räim elaks näiteks Jaapanis või Hiinas, siis hinnataks teda väga. Võtame näiteks suitsu- või praeräime – täiesti suurepärase kala! Ja samamoodi on ahven ülihea praekala, aga millegipärast neid alahinnatakse. Ilmaasjata! •

Sky-Watcher®

TELESKOOBID KÕIGILE VAJADUSTELE!

Lai valik teleskoope Sinu lemmikbrändidelt



Külasta veebipoodi aadressil www.teleskoobid.ee ja tutvu teleskoopidega maailma juhtivatelt tootjatelt!

INNA JÜRJO

PÜHA ANTONIUS – SIGADE KAITSJA JA TÕBISTE AVITAJA KESKAJA EESTIS



NIGULISTE MUUSEUM

Püha Antonius Suur
nn Kannatusaltari välisilval,
pühak on lisatud hilisema
(u 1520) ülemaalimise
käigus. Püha Antoniust on
kujutatud mungariüüs, ühes
käes raamat ja teises
T-kujuline pahklik sau,
T-märk leidub ka kuue-
hõimal. Pühaku jalgade
juures on näha tema tähtsat
atribuuti siga. Antoniitidel
olid erilised seapidamise
privileegid, tavaliselt olid
nende sead märgistatud
kellukesega kõrvas või
kaelas, samuti jalale põle-
tatud T-tähega. Korduvalt
ümber tehtud Kannatusaltari
esialgne asukoht pole teada,
ent tänapäeval asub see
Niguliste muuseumis
Tallinnas

Keskaja usuelu oluline osa oli pühakukultus. Pühakutelt oodati imesid, neilt loodeti abi ja kaitset hädade ja õnnetuste vastu. Pühakujud ja -pildid, pühakute säilmed ja reliikviad haarasid keskajal ka Eesti rahva usuelus tähtsa koha. Pühakupäevade järgi arvestati aega, need dikteerisid elurütmi. Maastikupilti tõi pühakukultus hulgaliselt kabeleid, mida rajati populaarsete pühakute auks. Paavsti legaati Antonio Possevino on 16. sajandi lõpul maininud eestlaste väikseid puukabeleid, kuhu pühade puhul kogunes palju rahvast. Veel 1627. aasta Räpina maarevisjoni andmeil olevat igal talupojal olnud väike kabel, kus ta austas oma pühakut.

Mõistagi tekkisid rahval pühakute seas oma lemmikud. Ühte või teist pühakut eelistama kallutas inimest tema amet, seisus, sotsiaalne positsioon jm. Teadaolevalt on eesti talupojad pidanud iseäranis lugu Ristija Johannesest, neitsi Maarja kõrval levis laialt püha Anna kultus. Tunda andsid piirkondlikud eripärad. Nii leidis pühale Olavile pühitsetud kabeleid Lääne-Eestis, kus olid tugevad Skandinaavia mõjud. Pühakukultus pakkus kokkuvõttes küllaltki mitmekesist pilti.

Üks enim austatud pühakuid eesti talupoegade, samuti kohaliku linna-rahva ja saksa eliidi hulgas oli püha Antonius Suur (251–356), kes on tuntud kõrbepühaku ja erakuna, ent ka munkluse rajajana. Tema austamine on jätnud jälje Eesti kultuurilukku – kaugelt kaalukama kui pühaku nime rahvapärastest vormist võrsunud ja tänini armastatud poisslapse nimi Tõnis.

Püha Antoniusse kabelid

Eestist pole keskajast teada ühtegi kõnealusele pühakule pühitsetud kihelkonnakirikut. Küll aga leidis nii linnas kui ka maal püha Antoniusse kabeleid. Siiski on võimatu öelda, milal ja kuhu esimesed sellised siinmail ehitati. On isegi tõenäoline, et maapiirkondades rajati neid varem ja aktiivsemalt kui linnas. Igatahes asusid Liivimaa kõrged vaimulikud juba 1428. aastal lootusetusse võitlusesse ilmalike iseteadliku innukuse vastu rajada kabeleid püha Antoniusse ja teiste pühakute auks. Probleem seisnes selles, et kabeleid kiputi püstitama vaimuliku isanda loata ja nad jäid seepärast pühitsemata. Rahvalik kultus ei pööranud vormitaitmisele suuremat tähelepanu.

Keskaegsetest Antoniusse kabelitest

ei ole iseseisva hoonena nüüdisajaks säilinud mitte ühtegi. Isegi hoonete jäänuseid on raske leida: kuna maakabelid olid sageli kerged puitehitised, pole see üllatav. Põnev erand on Padise kloostri juures asunud Antoniusse kirik (kabel), mille olemasolu tuleb ilmsiks alles 17. sajandi lõpu allikate põhjal. Nimelt on Harju-Madise pastor Gabriel Herlin maininud pühakoda kirjas konsistooriumile. Tema sõnul oli tegu kunagise eestlaste kirikuga, millest olevat veel vundamentki näha. Herlini teade jäänuks lihtsalt huvitavaks, ent tõendamata nendinguks, kui arheoloogilistel kaevamistel 2009. aastal poleks Padise kloostri vahetust lähedusest leitud keskaegse kivihoone jäänuseid. Paksude müüridega, umbes 20 x 10-meetrise põhiplaaniga ning ida-lääne suunas orienteeritud hoonet saab vaevata samastada Herlini mainitud Antoniusse kirikuga.

Linnadest ja alevitest on Antoniusse kabeli kohta teateid Tallinnast, Tartust, Narvast, Viljandist, Lihulast ja Haapsalust. Kõige varem, 15. sajandi esimesel poolel, on Antoniusse kabelit mainitud Tartust ja Tallinnast. Eeslinnas asunud kabel on mõlema linna puhul jätnud jälje toponüümiasse, kuivõrd selle asukohta hakati nimetama Püha Antoniusse ehk Tõnismäeks.

Kõige varem, 15. sajandi esimesel poolel, on Antoniusse kabelit mainitud Tartust ja Tallinnast. Eeslinnas asunud kabel on mõlema linna puhul jätnud jälje toponüümiasse, kuivõrd selle asukohta hakati nimetama Püha Antoniusse ehk Tõnismäeks.

Asukoht väljaspool linnamüüre osutab sellele, et need pühakojad olid mõeldud peamiselt võorastele, võõrsilt saabunutele, sh palveränduritele ning ümberkaudsetele talupoegadele. Antoniusse kabelite juurde on ka maetud.

Linnakabelite puhul torkab silma seotus kohaliku vaimulikkonna eliidiga, kelle hulgast tuli kabelite rajajaid ja annetustega toetajaid. Sellega on kummalises vastuolus asjaolu, et Antoniusse kabeli asukoht on nii mõnelgi juhul olnud seotud millegi rüveda lähedusega. Näiteks Viljandis oli kodanikumäärusega lubatud prahti ja sõnnikut maha panna Veskimäe juurde või Püha Antoniusse kabeli taha. Tallinnas asus hiljemalt 16. sajandi algul Antoniusse kabeli läheduses linna tapahoov või -maja. Tartus on keskaegne Antoniusse mägi identne 18. sajandi Sõnnikumäega. Mõnel juhul võis seos rüvedaga olla siiski alles hilisem, s.o varuusaegne, ning võimalik, et isegi tahtlikult linnavõimude tekitatud, takis-tamaks rahvaliku kultuse jätkumist Antoniusse kabelites.

Altarid, vikaariad ja vabaõhuteenistused

Kihelkonnakirikuis maal ja linnas leidis pühale Antoniussele pühitsetud altareid ja vikaariaid. Näiteks Tallinnas oli selle pühaku altar kõigis linna tähtsamates kirikutes. Püha Antoniusse altareid leidis samuti paljudes maakirikutes. Saare-Lääne piiskopkonnast on 16. sajandi alguskümnenditest teada tema altar Pühalepa, Karja, Käina, Kihelkonna ning ilmselt ka Kärla kirikust.

Kihelkonna kiriku Antoniusse altaril oli iseäranis rikkalikult mitmesugust vara, nagu kullatud karikas ja kullatud pateen, kaks hõbedast missakanu, hõbedast Agnus Dei hõbeketiga, rohelisest damastist ornaat koos juurdekuuluvate esemetega, väike rohelisest damastist altaripadi, püha Antoniusse kuju, kolm Antoniusse hõberisti kahe suure roosikrantsikiviga ja kaheksa väikese koralliga, kolm messing- ja üks tinaküünlajalg. Niivõrd väärtuslik inventar osutab, et pühak ei olnud populaarne mitte ainult sealse talurahva, vaid ka vasallide seas. Mõistagi ei tähenda see, et püha Antoniusse austamine oleks levinud peamiselt Lääne-Eestis ja saartel – muude piirkondade kohta pole lihtsalt säilinud sama häid kirjalikke allikaid.

Paradoksaalsel moel pärineb detailsem info püha Antoniuse rahvaliku austamise kohta alles 17. sajandist, kui seda usinasti dokumenteeriti kui talurahva seas püsinud ebausukommete tunnustust. Nähtub, et rahvalik kultus ei vajanudki ilmtingimata pühakoda või altarit kirikus: pühakupäeva tähistada ja pühakule ohverdada võis väga hästi ka vabas õhus. See ilmneb muu hulgas Saksa juristi ja õpetaja Johann Arnold von Brandi 1673. aasta reisikirjast. Tema sõnul tavatsesid Tartu piirkonna talupojad koguneda tõnisepäeva tähistama metsa.

1694. aastal teatas Mihkli pastor Heinrich Göseken, et Koongas käiakse püha Antoniuse mälestuspäeval ohverdama Pikavere küla lähedal mäe otsas asuvate suurte kivide juures. Tõenäoliselt austati püha Antoniust ka talupoegade püstitatud suurte ristide juures, mida varauusaja allikais nimetatakse ilmselt nende T-kuju tõttu ekslikult Tooma ristideks. Kohati peeti tõnisepäeva aga sootuks proosalises miljöös: Pilstvere pastori Christianus Pankoviuse andmel oli sealsetel talupoegadel kombeks sel päeval hoopis loomalaudas pidutseda.

Püha Antonius, avita!

Keskaja Euroopas tunti püha Antoniust eelkõige tungalteramürgistusse (ehk ergotismi) haigestunute avitajana. Tungaltera on teraviljadel, peamiselt rukkil parasiteeriv seen, millega nakatunud vilja söömine põhjustas inimestel rasket, sageli sandistumise või surmaga lõppenud haigust. Tõve esimene sümptom oli nn püha Antoniuse tuli: inimest hakkasid vaevama ihu kihelemine ja punetus. Haigeid, kelle ihul põles „püha tuli“, põetati püha Antoniuse ordu ehk antoniitide hospitalides. Antoniitidel olid erilised seapidamise privileegid, et võimaliku nakkust kandva teraviljatoidu asemel pakkuda söögiks sealih. Tõenäo-

liselt tuli keskajal ka Eestis ette tungalteramürgistusest põhjustatud haiguspuhanguid, kuid konkreetsed andmed nende kohta puuduvad. Samuti pole alust väita, et püha Antoniust oleks siinmail austatud eelkõige kui ergotismihaigete patrooni.

Tõendada saab keskaja Liivimaal püha Antoniuse kultuse seost teise, tunduvalt hirmutavamaga tõve – katkuga. Püha Antonius oli üks pühakuid, kellelt loodeti keskaja Euroopas kaitset ja abi katku vastu. Tänutäheks 1514. aasta katkupuhangu lõppemise eest asutas Riia peapiiskop Jasper Linde antoniitide kloostri Lielvārdesse ning kutsus sinna munki Mecklenburgist Tempzini kloostrist. Antoniitide aeg keskaja Liivimaal jäi siiski lühikeseks, kestes vaid luterliku reformatsiooni alguseni. Kui klooster oli rajatud, oli lõpuks ka Liivimaal koht, kust saanuks abi ergotismihaiged. Paraku on Lielvārde antoniitide tegevusest vähe teada ja on küsitav, kuivõrd see üldse puudutas või mõjutas Eesti ala.

Usk ja lootus saada pühalt Antoniust abi just katku vastu tuleb ilmsiks ka Riia peapiiskopi 1521. aasta ettekirjutusest, mille järgi tuli järjekordse katkuepideemia tõttu pidada kõigis kihelkonnakirikuis missadel ja tunnipalvustel erilisi palvusi neitsi Maarja ning pühakute püha Sebastiani, Martini, Antoniuse ja Rochuse auks. On alust arvata, et sama katkupuhangu tõttu rajas toomhärja Ludolph Messersmidt püha Antoniuse auks vikaria Haapsalu Püha Antoniuse kabelisse.

Püha Antoniuse kultus leidis Eestis väljenduse ka tema auks asutatud ilmikute vennaskondades. 15. sajandi teisest poolest tegutses Tallinnas peamiselt linnakodanikest koosnenud

Püha Antoniuse usuline gild. Vennaskonna identiteedi alustala oli vaeste abistamine. Ent selle religioosse ühenduse kõige tähtsam ülesanne oli seista hea lahkunud liikmete hingeõndsuse eest ja mälestada neid. Selleks et kergendada surnud kaaslaste hingede pääsu paradiisi, pidas gild suurejooneliselt ülal missateenistusi: Niguliste ja Oleviste kiriku püha Antoniuse altari juures teenis kolm kuni kuus preestrit, kellele maksti vigiiliate ja mälestusmissade eest. Surnute mälestusteenistuse jaoks telliti spetsiaalseid vahast hingedüünlaid. Kaks sellist küünalt tavatseti süüdata vennaskonna altaril viiel tähtsal kirikupühäl, sh püha Antoniuse mälestuspäeval, samuti lihavõtetel ja püha ihu pühäl.

Sigade jumal

Püha Antoniuse populaarsus Eesti talurahva hulgas põhines nähtavasti asjaolul, et tegu oli pühakuga, kes seostus hästi muinasusundiga. Mitmel pool mujalgi Euroopas sai ta lihtrahva hulgas populaarseks just tänu seostele eelkristlike tavade ja uskumustega. Tähtis roll selle juures oli püha Antoniuse atribuudil seal. Püha Antoniust austati keskajal kui sigade kaitsepühakut, ent selle tava ajaloolised juured ulatuvad antoniitide seapidamisest märksa sügavamale. Seaga oli seotud rikkalik kombestik ja uskumused, mis olid eelkristlikul ajal tuntud paljudel rahvastel üle Euroopa. Eestiski oli siga rahva teadvuses väga tähenduslik ning see toitis püha Antoniuse kultust.

Loomakasvatus oli eesti talupojale tähtis elatusallikas, nii on mõistetav, et tema silmis pälvisid erilist austust pühakud, kes karja kurja eest kaitseid ja karjaõnne tagasid. Lammaste

TÕNISEPÄEV RAHVAKALENDRIS

Püha Antoniuse mälestuspäev 17. jaanuaril – tõnisepäev – kinnistus eesti rahvakalendris kui sigade püha. Tõnisepäeva kombestik keerles sea ümber. Sellele heidavad lähemat valgust 17. sajandi allikad. Näiteks selgub, et Vaabina kabeli juures käisid talupojad tõnisepäeval kuivatatud seapäid ohverdama. Paljud Euroopa rahvad on seapead ammusest aegadest tundnud rituaalse või ohvritoiduna.

Johann Arnold von Brandi 1673. aasta reisikirja järgi kuulus Tartumaal tõnisepäeva tähistamise juurde kõva sööming ja jooming ning sea ohverdamine teeristil. Pilstveres tavatsesid talupojad sel pühäl loomalaudas söömapidu pidada, kusjuures loomigi sunniti kaasa pidutseda: „[talumehed] ütlevad, et kari tantsigu kaasa, selle juures on neil vaja lehitrit, millega loomale [jooki] kõrisse kallata“. Räpina kirikuvisiitatsioonil selgus, et seal kandis oli palju kohti, kuhu talupojad kogunesid ning tõnise- ja kadripäeval ebausukommete kohaselt ohverdasid. Veel 17. sajandil jõus olnud tava koguneda teatud paigusse pühakut austama, osutab, et keskajal aitas püha Antoniuse kultus kujundada kohalike palverännakute traditsiooni. •



Pateen – armulaualeiva taldrik
Ornaat – vaimuliku pidulik ametirüü
Agnus Dei – talle kujutisega amulett
Roosikrants – palvehelmed
Vikaaria – teenistuskohat kiriku kõrval-altari juures; selle oli asutanud üksikisik või ühing, et vikaar saaks regulaarselt teenistust pidada
Vigiilia – öine jumalateenistus suuremate kirikupühade eel



Ilmselt 16. sajandist pärit Antoniuse ristist hõberipatsid Tallinnast Tõnis-mäelt, Knoobuse (Kumna) ja Väike-Rõude mõisast. T-kujulisi ripatsid on Eestis arheoloogiliste leidudena saadud eri suuruses, teostuses ja materjalist. Antoniuse rist oli keskajal ja hiljemgi populaarne amulett üle Euroopa, nt Inglismaal, Hispaanias, Taanis, Rootsis jm



Palu mõisast ja Aserist leitud tinamärgid (läbimõõt vastavalt 4 cm ja 2,5 cm) ristilöödu kujutisega T-kujulisel ristil. Sääraseid, ilmselt 16.–17. sajandist pärit kohati üsna rohmaka teostusega märke on seostatud rahvalike palverändudega



Aa mõisast leitud ripats ja selle detail: Antoniuse ristile graveeritud fallos

kaitsjana austati püha Katariinat, hobuste patroon oli püha Jüri. Pühast Antoniusest sai rahvaus loomade kõrge hinnatavate sigade kaitsja ning see arusaam püsis sajandeid. Veel 1681. aastal andis Võnnu pastor teada, et seal kandis austatakse püha Antoniust kui sigade (väär)jumalust. 17. sajandi saksa reisimees on vahendanud, et eestlased tavatsevat isegi oma põrsaid kutsuda aus peetud pühaku järgi Tõnniseks.

Antoniuse ristist ripatsid ja märgid

Kuivõrd püha Antoniuse kultusega seotud keskaegsed kabelid, altarisid ja pühakujud on Eestis peaaegu täielikult hävinud, on käegakatsutavad tunnistused tema austamisest muuseumikogudes säilinud amuletid, palverännumärgid ja ehted. Eestis on Antoniuse risti kutsutud ka paaterristik ning see oli veel varauusajal kohaliku rahva hulgas armastatud ehteasi. Pühaku sau järgi T-kujulise ristiga ripatsid on säilinud eri suuruses, materjalist ja teostusega. Neis esemetes peegeldub püha Antoniuse kultuse eripalgelisus ja mitmekesisus.

Näiteks on Aa mõisast Lüganusel leitud ilmselt 16. sajandist pärit Antoniuse ristist ripatsil kujutatud peale lillornamendi fallos. Pühal Antoniusel ning viljakuse- ja fallosekultusel

tundub raske midagi ühist leida. Ometi on nende vahel üks ühenduslül – siga. Just sea kaudu ulatub side keskajaja populaarse pühaku juurest eelkristlike uskumusteni ja viljakuskultusen. Muinaspõhja mütoloogias oli viljakuse- ja küllusejumala Freyri kult Gullinbursti sigitusjõu võrdkuju ning Freyrile toodi viljaõnneks kuldiohvreid. Keltidel ja germaanlastel oli metskult seotud päikese, päikesejumalaga. Sellest ilmneb veel üks siga ja püha Antonius siduv element – tuli.

Eelkristlikust ajast pärit sea seostamist päikese ja tulega mäletab eesti rahvapärismust veel uusajal, näiteks Kagu-Eestis näidati tõnisepäeval sigade päikest ja söödi seapead; usuti, et selle päeva päike toob tervist nii inimestele (eriti meestele) kui ka loomadele-lindudele. Seal oli tähtis koht talvise pööripäeva, tinglikult päikese kustumise ja taassünni aja tähistamise tavades, samuti seostus siga eestlastel viljakusmaagia ja maaharimisega. Nõnda muutub mõistetavaks, miks püha Antonius ühendati eesti rahvauskumustes viljakusmaagia ja küllusega.

Antoniuse kultuse hoopis teise tähenduskihi annavad Palu mõisast Järvamaalt, Piilsist Ida-Virumaalt või Aserist Lääne-Virumaalt leitud ripatsid, kus T-kujulisel ristil on ristilöödu kujutis. Neid tagasihoidlikke märke võib

pidada kohalikeks palverännusuvenerideks. Samas on ilmne, et ristilöödu ei seostu ei viljakusmaagia ega seakultusega. Aseri tinaripats on leitud muinaskalmest, mille viimane kasutusperiood langeb 15.–17. sajandisse. Tol ajal sängitati vanadesse mittekristlikesse kalmetesse sageli katkuohvreid. Keskaegselt kalmistult pärineb ka Piilsimärk. Nähtavasti oli tegu hauapanustega. Need masstoodanguna valminud väikesed ripatsid juhatavad kristliku kannatusloo juurde, seostudes katku, võib-olla ergotismi, ent miks mitte ka puhastustule piinade ja lunastusega. Amuletid ja hardusesemed osutavad ilmekalt, kuidas püha Antoniuse austamises põimusid Eestis eelkristlikud ja kristlikud, kohalikud ja sissetoodud tavad ja kombed. •

Inna Jürjo (1969) on Tallinna ülikooli ajaloo, arheoloogia ja kunstiajaloo keskuse vanemteadur, kelle peamine uurimisvaldkond on kesk- ja varauusaja igapäevaelu ja linnaajalugu.

KAS AEGA SAAB KÜLMUTADA?

Kui füüsikaseadused päevast päeva muutuksid, oleks neid üpris raske kindlaks teha. Õnneks ei olene näiteks vanaaegse kella pendli võnkumine kuupäevast või toanurgast, kuhu kella tõstame. Füüsikakatse tulemus ei sõltu tühjas ruumis ruumpunktist ega ajahetkest ehk kus ja millal me seda korraldame.

Füüsikud kutsuvad selliseid omadusi sümmeetriateks ja antud juhul on tegu aegruumi enda sümmeetriatega. Tuleb välja, et sümmeetriad on otsest seotud kõikvõimalike jäävuseadustega, näiteks energia jäävusega. Nende omavaheline seos sai selgeks 20. sajandi alguses tänu Saksa matemaatikule Emmy Noetherile, kes sai aru, et energia jäävus tuleneb aja sümmeetriast ja liikumisimpulsi jäävus ruumi sümmeetriast.

Ent ajast ja ruumist sõltumatute seaduste mõjul võivad siiski näiliselt tühja koha pealt tekkida mustrid, mis ruumi sümmeetriat rikuvad. Kui keedusool mitmesajakraadisel temperatuuril üles sulatada, liiguvad naatriumi ja kloori ioonid selles juhuslikult ringi. Kuid jahutage sulatatud sool maha ja ioonid asuvad kristallivõres oma kohtadele nagu ülesrivistuvad sõdurid paraadil! Väikseima energiaga olekus ioonid „valivad välja“ kindlad asukohad kristallivõres. Ainult siis, kui kristallivõret nihutada ioonide vahelkauguse jagu, näeb võre pärast seda välja täpselt samasugune. Seega, ka kristall on tegelikult sümmeetriiline, aga mitte enam suvalise nihutamise, vaid teatud ruumilise sammuga nihutamise suhtes. Füüsikute keeli on pidevast nihkesümmeetriast saanud faasisiirde (ehk külmumise) käigus diskreetne sümmeetria.

Kristallide diskreetsete sümmeetriatega tegeleb terve suur teadusharu – kristallograafia. See on väga praktiline teadusharu, kuna just kristallide eksperimentaalse uurimise tõttu teame näiteks seda, milline mikrostruktuur teeb terase tugevaks ning et pärilikkusaine DNA keerdub kaksikspiraali. Nii on see väga tähtis materjaliteadusele.

Matemaatiliselt saab kenasti ära kirjeldada kõik võimalikud kristallstruktuurid ja näidata, et neid on kindel hulk. Muide, just kristallide maailm vihjab võib-olla ka sellele, et meie

kolmemõõtmeline ruum on üsna eriline. Näiteks ühe- ja kahemõõtmelises ruumis püsivaid kristalle faasisiirdes tekitada ei saa. Seega, kolmemõõtmeline maailm on väikseima ruumimõõteme arvuga maailm, kus saame kristalle tekitada. Ehk on just selles peidus mingi sügavam vihje, miks me elame kolmemõõtmelises ruumis, mitte kahe- või neljamõõtmelises universumis?

Ootoot, võiks nüüd igaüks mõelda. Ruum ja aeg on ju Einsteini relatiivsusteoorias ometi ühe pulga peal. Kui ruumis tekivad kristallid, miks ei võiks siis kristalle tekkida ajas? Näiliselt väga lihtne mõte. Kuid alles 2012. aastal juurdles nobelist Frank Wilczek selle üle, kas paljude osakeste süsteemis, mis otse ajast ei sõltu, võiks tekkida kordused ajas, nii nagu kristallivõre kordab ennast ruumis. Selline ajakristall oleks nagu süsteemi maha jahutamisel iseenesest tekkiv kell.

Võib-olla on kõigepealt lihtsam öelda, mis ei ole ajakristall. Ei ole mingi kunst osakesi perioodiliselt liikuma panna, andes neile energiat juurde. Võnkuma pendli liikumine on ajas perioodiline, aga pendli energia on kõige väiksem, kui ta seisab paigal. Sama käib elliptiliselt orbiidil ümber päikese tiirleva planeedi kohta. Äratuskella seierid liiguvad perioodiliselt ringirattast, aga kellamehhanismi ajab ringi üleskeeratud vedru, mis lõpuks maha käib.

Konks on selles, et ajakristall peaks perioodiliselt liikuma oma kõige väiksema energiaga olekus. Paraku aga kipuvad osakesed, kui neilt energiat ära võtta, pigem peatuma kui liikuma. Ajakristalli igavene liikumine kõlab

Huvitavate omadustega ajakristalli on võimalik teha, pöörates „lõksu jäänud“ osakeste spinne laseriga edasi-tagasi.

Ajakristallide üle mõtisklemine aitab mõista, mille poolest on aeg ja ruum sarnased ja milles erinevad.

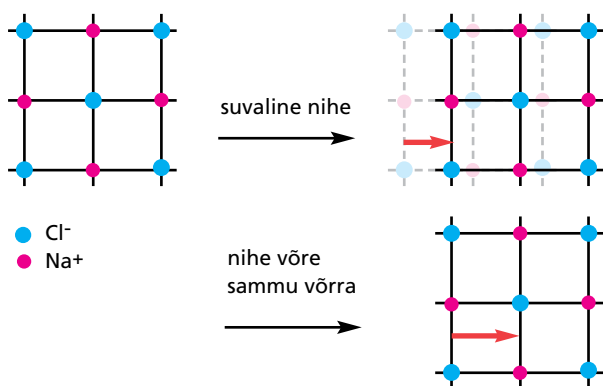
kahtlaselt igiliikuri moodi. Samas, seda liikumist ei tohi saada ära kasutada, sest idee poolest ei saa ajakristallilt enam energiat ära võtta: see peab olema kõige väiksemas energiaolekus. On's säärane kummaline asi ülepea võimalik?

2014. aastal tegidki Jaapani teoreetikud Haruki Watanabe ja Masaki Oshikawa selgeks, et Wilczeki ajakristalle ei saa olemas olla: soojuslikus tasakaalus oleva süsteemi väikseima energiaga olek peab olema staatiline. Kui süsteem võngub, siis pole mingit võimalust, et võnkumise energia ei muutu soojuseks. Seda võib pidada omamoodi üllatuseks, sest teisalt on füüsikud 20. sajandi alguses välja nuputatud erirelatiivsusteooria tõttu harjunud pidama aegruumi ruumi- ja ajamõõtmeid omamoodi eristamatuks. Siiski, Watanabe ja Oshikawa mõtte töö tulemus tuletab meile meelde, et päris nii see pole. Ajal on oma eriline roll, kui meil on tegu suurte süsteemidega, mida kirjeldab statistiline füüsika.

Aga äkki saaks ajakristalli teha nii, et süsteem on tasakaalus väljas? Kui süsteemi perioodiliselt ergastada – otsekui kiikuvat last, andes talle hoo – võiksime ajanihke sümmeetriat rikkuda. Muidugi on sundvõnkumine ammu tuntud, kuid selgub, et huvitava omadustega ajakristalli on võimalik teha, pöörates „lõksu jäänud“ osakeste spinne laseriga edasi-tagasi. Huvitavaks teeb selle asjaolu, et laseri energia ei muutu seejuures soojuseks, erinevalt asjaolust, mille tõttu algne ajakristalli idee ei toimi. Osakesed



Keedusoola kristallid



Kui keedusoola kristallivõret nihutada suvaliselt, on seda näha, kui aga kristalli nihutada ionide vahekauguse võrra, ei muutu midagi

hakkavad ajakristallina edasi-tagasi võnkuma ka siis, kui laserkiirguse võnked on natuke rütmist väljas. On pakutud, et säärase ajakristalli saaks kasutada uutmoodi aatomkella loomiseks.

Ajakristallide üle mõtisklemine aitab mõista, mille poolest on aeg ja ruum sarnased ja milles erinevad. Muide, kummalisest kujuteldavast maailmast, mille asukad elavad ilma ühegi ajamõõtmeta ruumis, võib lugeda Austraalia ulmekirjaniku Greg Egani triloogiast „Ortogonalne“.

Andi Hektor (1975) on keemilise ja bioloogilise füüsika instituudi vanemteadur. Tema teadustöö põhisuunad on osakeste-füüsika, astroosakeste-füüsika, kosmoloogia, kosmilised kiired ja andmeteadus.

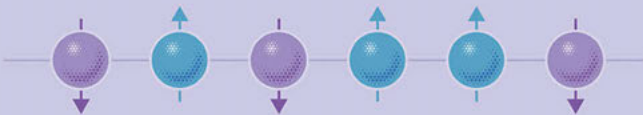
Kristjan Kannike (1978) on keemilise ja bioloogilise füüsika instituudi vanemteadur. Tema teadustöö põhisuunad on osakeste-füüsika, kosmoloogia ja varajase universumi füüsika.

KUIDAS LUUA AJAKRISTALLI?

Ajakristall on aine uus olek, kus aineosakesed liiguvad ajas korduva mustri järgi ja nõnda, et osakeste parv ehk süsteem on väikseima võimaliku energiaga. See sarnaneb meie harjumuspärase (**ruumi**)**kristalliga**, kus osakeste muster kordub ruumis iga teatud sammu tagant. Ajakristalli loomiseks on vaja kolme alltoodud koostisosa.

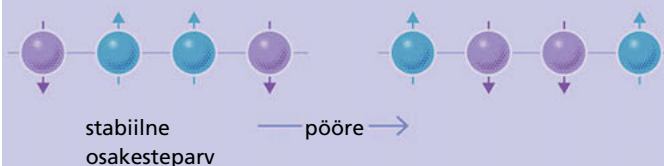
Paljuosakeseline lokaliseatsioon

Osakesed, millel on oma magnetväli ehk **magnetiline spinn**, üritavad üksteise lähedal olles ennast korraldada nii, et kogu osakesesüsteemi koguenergia oleks võimalikult väike. Ent kui süsteem on ümbreusest hästi isoleeritud, võib juhuslik häiritus tekitada olukorra, kus süsteem on lõksus olekus, mis ei ole kõige väiksema energiaga. Sellist olekut kutsutakse **paljuosakeseliseks lokaliseatsiooniks**.



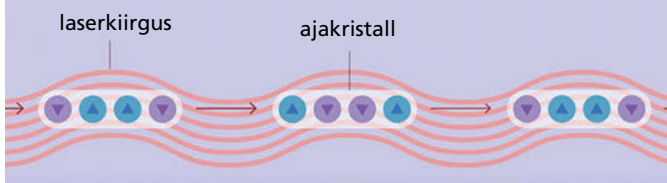
Omaoleku korrastatus

Säärane osakesesüsteem võib olla erilises korrastatud olekus: kui kõik spinnid korraga ümber pöörata, siis on tegu jälle stabiilse paljuosakeselise lokaliseeritud osakeste parvuga.



Perioodiline mõjutaja

Kui mõjutada sellist osakesesüsteemi laserkiirgusega, hakkab süsteem hüppama kahe korrastatud omaoleku vahel, ilma et see neelaks laserkiirgust. Sellist osakesesüsteemi kutsumegi ajakristalliks.



ILM JA MUUSIKA

Pärast pikka pöuda tundus vihmabini kauni muusikana.

Tuttav talunik Põlvamaalt

Toksinud internetti sõnad „Ilm ja muusika“, tuli vastuseks: „Muusika. 16 °C, tuul 20 km/h, pilvine juures 270 m“. Selgus, et Muusika on Harjumaal Saue vallas asuv küla, mille hetkeilma kohta andis sellist teavet üks välismaine ilmaportaali. Ent muusika kui kunstiilgi ja ilma kui pidevalt muutuva atmosfäärioleku seosed on palju põnevamad arvuti tehtud kuivast prognoosist.

„Sa ei pea olema ilmamees, et teada, kust tuul puhub,“ deklareeris Bob Dylan ühes oma laulus. Ja ei pea olema helilooja, et aru saada ilmanähtuste mõjust muusikuile. Muide, just kasvamine heitliku ilmastikuga Minnesota osariigis olevat avaldanud suurt mõju Dylan'i mõttemaailmale: „kas tõesti teab vastust üksnes tuul“, nagu kõlas tema vast kõige kuulsamas laulus.

Meteoroloogiline muusika

Muusika ja ilmastikunähtuste vahelisi seoseid on uuritud märksa vähem kui selle seoseid maalikunstiga (vt „Ilm ja kunst“, Horisont 1/2017). Brittide meteoroloogiaselts avaldas 2011. aastal kahe meteoroloogi, Karen L. Aplini ja Paul D. Williamsi uurimuse „Meteoroloogilistest nähtustest Lääne klassikalises orkestrimuusikas“. Lähemalt analüüsiti 35 teost, alates Vivaldi ja lõpetades Maxwell Daviese „Antarktika sümfooniaga“ aastast 2000. Tuli välja, et kõige populaarsemad ilmastikunähtused „tõsis“ muusikas on tormid, nii tavalised kui ka võimsad äikeserajud. Esimesi esindasid nimekirjas näiteks sümfoonilised poeemid – Sibeliuselt „Tapiola“ ja Tšaikovskilt „Torm“ (Shakespeare'i ainetel), samuti Vivaldi kontsert „Torm merel“.

Selleks et mitmetes teostes äikese

mürinat kuulda, ei pea olema muusikaharidusega. Kõuekärgatusi ja -kõminat kostab eriti kujundlikult Beethoveni sümfoonia nr 6 „Pastoraalne“ neljandas osas, mille pealkirjaks on helilooja pannud „Äike. Torm“, samuti Rossini ooperi „Wilhelm Tell“ avamängus. Kel on mahti vaadata-kuulata vi-

mast lugu YouTube'ist – esimene pikseaksatus käib umbes neljandal minutil.

Parimaks tormi kujutavaks heliteoseks on nimetatud Richard Straussi „Alpi sümfooniast“. Selles võib kuulaja ette kujutada päevapikkust teekonda mägedes. Pärastlõunal (sümfoonia



ANDREAS PRAEFCKE / WIKIPEDIA

Ravensburgi kontserdimaja 20. sajandi algusest pärit tuulemasin

Uurimusest „Meteoroloogilistest nähtustest Lääne klassikalises orkestrimuusikas“ selgus, et kõige populaarsemad ilmastikunähtused „tõsis“ muusikas on tormid, nii tavalised kui ka võimsad äikeserajud.



Parimaks tormi kujutavaks heliteoseks on nimetatud Richard Straussi loodud „Alpi sümfoonia“

WIKIPEDIA

litaania“, teos meeskoorile ja suurele trummile!

Klimatoloogiline muusika

Selle alla kuuluvad muusikapalad, mis on seotud aastaaegade. Tunnuim helilooja selles vallas on muidugi Vivaldi. Tema kontserttsükli mõistmiseks on helilooja arvatavasti ise kirjutanud 12 sonetti. Kevades näiteks võiksime kuulda äikest, mis püüab loodust vabastada talve vangistusest, suve algul domineerib Itaalia rammestav kuumus põhjatuulega, samuti äike rahega. Sügisele viidatakse sonetis kui jahutavale tuulele. Talvel on ilmaelemente õhus tunda õige palju: kõle põhjatuul, ajuti puhub lõunast *sirocco*, maas on jääne lumi.

„Tsükli iga kontserdi muusikaline tekstuur on erinev vastavalt kujutatavale aastaajale. Pizzicato „Talve“ taustal on itaaliapärase jäise vihma krabin. Forte, mis on „Suve“ keskmises osas Piano’de vahel, kujutab aga äikest“. Nii kommenteerivad esitatavat asjatundjad Vikipeedias.

Siinkohal meenus järgmine lugu. Ema pärib eliitkooli esimesse klassi kandideerivalt pojalt: „Kuidas läks?“. Poeg: „Küsit, et mitut aastaaega ma tean, vastasin, et kolme ...“ Ema: „Aga neid on ju neli!“ Poeg: „Meenusid Haydni oratoorium, Tšaikovski klaveripalade tsükkel ja Glazunovi ballett. Aga näed, Vivaldi ei torganud pähe!“

Kliimat kajastava muusika tundmine võimaldab teha mitmesuguseid uurimusi. Näiteks korraldati 2010. aastal Iirimaaal küsitlus tudengite muusikalistest eelistustest aastaaegade kaupa. Mida siis teadlased leidsid?

Tudengite lemmikud olid bluus, džäss, klassikaline ja rahvamuusika (st mõtisklev ja keeruline muusika) sügis- ja talvekuudel ning räpp, hiphop, soul, funk ja elektrooniline tantsumuusika (st energiline ja rütmiline) suvekuudel. Keerulisema ja tõsisema muusika soosimine sügis- ja talvekuudel, mis on ilmade poolest karmimad, ja elavama, energilise ja rütmilise muusika eelistamine vähem koormavatel kevad- ja suvekuudel, mis on tulvil ühiselulist tegutsemist, sobib kokku nn keskkonna turvalisuse hüpoteesiga.

Nimetatud uuringutest olevat ka praktilist kasu. Näiteks võivad nad aidata ennustada, millal tarbijad ostavad suurema tõenäosusega teatud žanri muusikat või millal on artistil või plaadikompaniil kõige soodsam aeg reklaamida teatud tüüpi muusikat.

Teades inimeste muusikaelistusi, saab võidelda samuti aastaaegadest põhjustatud psüühikahäiretega (SAD). Ehkki sedalaadi häirete all kannatavad inimesed soovivad kuulata mõtisklevat ja keerulist muusikat sügisel ja talvel, võib selline introspektiivne sisu tugevdada seisundiga kaasnevat isoleeritust ja depressiooni. Uurijad arvavad, et energilise muusika kuulamine võib mõningal määral aidata sääraseid negatiivseid mõjusid vähendada.

Ajaloost on teada ka üks muusikapala, mille esitamine tekitas tuhandetes kuulajates paanikat. See oli Irving Berliini laulu „White Christmas“ (eesti keelses variandis „Taas sajab valget lund“) kõlamine eetris 29. aprillil 1975. aastal Saigonis. Ehmatav ei olnud mitte loo esitamine kevadel, vaid tõik, et see oli signaal ameeriklastele: viimane aeg on Vietnamist jalga lasta! Muide, paar nädalat varem tuli jaapanlastest ajakirjanikele toda laulu tutvustada, et nad õigel ajal meloodia ära tunneksid.

On laule, mis võivad edastada ilmastiku kohta valeteavet. Näiteks kuuldes Marju Kuuti või Marju Läni kut laulmas „Ring, ring, ring ümber kahvatu kuu, ring, ring – nüüd läheb külmaks, mis muud!“, saate sünoptilisest situatsioonist hoopis vale ettekujutuse. Rõngas Kuu või Päikese ümber näitab meile, et taevasse on ilmunud väga kõrged kiudkihtpilved, enamasti saabuva sooja frondi ennustajad.

Seega oleks laulu eestikeelse variandi autor pidanud Marjude suhu panema meteoroloogiliselt korrektseid värseid: „Ring ümber kahvatu Kuu – nüüd läheb soojaks, mis muud!“. (Muide, tolles ABBA laulus anutakse: „Helista! Helista!“)

Ja veel. Tänapäevaste meditsiiniteadmiste järgi ei ole sugugi paslik toimida nii, nagu laulab Helgi Sallo: „Ja kui oleksin homme Batumis ma, / ennast neegriks siis päevitaks luuni ma“ („Sõit pilvelaeval“).

Lõpetuseks muusika seosest kliimamuutustega: Stradivari-aegsete viiulite imepärane kõla oli tingitud väikese jääaja külmadest suvedest – pillide valmistamiseks kasutatud puit oli erakordselt tihe. •

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

37. minutil) tabab matkajaid tugev äikesetorm. Selle esitamiseks on orkestris ette nähtud kümme löökriista: trummid, timpanid, tamtamm, köuemürin ehk lastra (suur metalltahvel, mida lüüakse trummipulkadega) ja tuulemasin. Peale selle orel.

Muide, kõrgel mägedes on äike päris kohutav elamus, eriti kui juuksed elektriseeruvad ning alpikirka hakkab sädemeid pilduma.

Kui pikset oleme vast kõik ise imiteerinud plekitahvleid väristades, siis tuulemasin on suur vändaga trummel, mille pöörlemisel tekib riide ja puidu hõõrdumisel tuult meenutav heli. Seda riistapuud on oma teostes kasutanud väga paljud heliloojad, näiteks Wagner, keda on nimetatud ka muusikust meteoroloogiks – sedavõrd hästi on ta suutnud ilmastikunähtusi helikeeles väljendada –, ning Rossini („Sevilla habemeajaja“) või Ravel („Daphnis ja Chloe“). Suure tuulemasina väntamist pole peljanud ka kerge muusika loojad, nagu Pink Floyd ja The Beatles.

Üks meie oma helilooja – Veljo Tormis – on aga ilma ja muusika ühendanud juba pealkirjas, see on „Pikse

ANU KANNIKE, ESTER BARDONE

PÄEVIKUMÄRKMED TOIDU HANKIMISEST EESTIS AASTAIL 1991–1992

Isiklikuks otstarbeks peetud päevik on tänuväärne dokument, mis aitab uurida argielu, sealhulgas toidukultuuri ajalugu. Nii ilmnevad argielu detailid, mis võivad ajaloo suures pildis kaduma minna. Olenevalt sellest, kui põhjalikke kirjeldusi on peetud vajalikuks üles tähendada, võib päevikutest leida teavet sellegi kohta, milliseid toiduaineid oli saada ja mida nappis, kuidas toitu hangiti, millised olid hinnad, mis roogi valmistati ja veel palju muud. Üks niisuguseid ainulaadseid allikaid on Jaan Peetsalu (sündinud 1936) päevik aastail 1991–1992. Ta kirjeldab oma pere igapäevast toimetulekut ja eeskätt toidu hankimist.

Eesti mäluasutustesse on päevikud ja muud autobiograafilised dokumendid jõudnud rahva kaasamise ja koostöö kaudu. Üks näiteid on juba 1931. aastast tegutsenud Eesti Rahva Muuseumi kirjasaatjate võrk. 2017. aastal saatis Jaan Peetsalu vastuseks ERM-i küsimuskavale „Söömine ja joomine 1990. aastatel“ mälestusi 1980.–1990. aastate argistest toiduoludest ja väljavõtteid oma päevikust. Tartus sündinud Peetsalu küüditati 1949. aastal teismelisena Novosibirski oblastisse; naastes lõpetas ta keskkooli ja omandas elektriiku kutse ning töötas seejärel aastaid nii tööstuses, ehitusel kui ka põllumajanduses. Kultuurihuviline ja suure lugemusega mees on aastate jooksul saatnud ERM-ile sadu lehekülgi meenutusi, mille hulka kuuluvad ka üle poole sajandi peetud päevikud.

Toidukriisi süvenemine ja talongiajastu

Nõukogude Liidu majandus oli jõudnud 1980. aastate keskpaigaks sügavasse kriisi, mis väljendus muu hulgas toiduainete puuduses ja nende valiku vähenemises. 1988. aasta kevadel kehtestati esmalt Tallinnas suhkrutalongid, peagi läksid kogu Eestis talongide peale mitmed muudki toidu- ja tarbekaubad. 1. veebruarist 1990 hakati kõiki defitsiitseid kaupu müüma ainult Eesti ostukaardi ettenäitajale, lisaks anti välja tuhandeid erisoodustusi.

Sellest hoolimata tuli seista pikka aega sabades: näiteks tuli väiksele lapsele päevas ette nähtud poole liitri piima saamiseks asuda järjekorda juba kell 6 hommikul.



RAHVUSARHIIV

Leiva müük talongide eest Kotka poes Lasnamäel 1992. aasta märtsis



Eesti ostukaart, 1990



Tartu linnas 1991. a kasutusel olnud talongid.
 B 006 eest sai osta 1 kg mannat või riisi,
 B 007 eest 5 toosi tikke ja B 008 eest 5 pakki
 sigarette

13. märtsil Rahel oli tellinud liha...
 3. apr. Tarmo ostis kotti suhkrut välj, koostis toodi 40 kg...
 60 ebl. kg, kahele raha eest (mesilastele). Rahel ostis
 täna teitü kaupluses Tartu raha eest (25 rublast) 60 l
 9. apr. Kõrsin Tarmo nimel põrsastulaga Vakele (sugubane).
 Brigadiis lubas ühe. Siis ostsin veis välj, panna 60 l
 330 ebl eest. Veel ostsin vilja linnuseme kauplusest
 143 kg (472 ebl eest) jõusööta maal loomadale.
 (Vallast ei lubatud küll - peab olema riigile looma
 liha müügi leping).
 10. apr. Hommikust tuli Vakele abikaasaga (Raheli vend) Reola
 niga laste ja ostnud sealt 3 põrsast kokku eluskaasuga
 20 kg x 33 ebl = 660 ebl. Värsid ära maale Amblasse
 vanematele kasvatada.

...ostis 7 kg liha ja 5 kg pärl-jalg, ja
 Rahel keetis süldi ära, aga mehed, kaua lihata olid,
 sõid vedelaht ära!

Katked Jaan Peetsalu päevikust

Septembris 1990 kaotati liha- ja piimasaaduste riiklik dotatsioon, mis tõi kohe kaasa hinnatõusu, aga ka toodangu järsu languse. Kohalikud omavalitsused määrasid kindlaks ühele ostjale müüdavate kaupade kogused ning inimesi teavitati ajalehes, millise talongiga mida ja kui palju osta saab.

1990. aasta sügiseks oli talonge tarvis juba enamiku kaupade ostmiseks, kuid toonase küsitluse andmeil kurtis 56 protsenti vastanutest, et neil pole õnnestunud talongidega ette nähtud kaupa poodidest saada. Ligi kaks kolmandikku rahvast polnud rahul puuvilja ja kohvi kättesaadavusega, enamik tundis puudust ka kalast, jahust, makaronidest ja munadest. Poest pol-

nud saada suhkrut, jahu ega võid. Kõike, mida saada oli, osteti aga igaks juhuks tagavaraks.

1991. aasta jooksul kallines elu Eestis 3,3 korda, kusjuures toiduainete hinnad kerkisid 3 korda. Äsja iseseisvuse taastanud Eestis oli konjunktuuriinstituudi andmetel isegi kartulit saada ainult pooltest ja viinereid veerandis poodidest. Poode, kust 1991. aasta oktoobris sai osta kondita sea-liha, oli vaid kümme protsenti, kurki müüs üksnes neli protsenti poodidest.

Kõige rängem oli toidukriis Eestis 1992. aasta jaanuaris, mil valitsusel tuli teha otsus müüa ka elementaarseid toidukaupu – leiba, piima, võid ja juustu – talongide alusel. Tootjad valmistasid kaupa aga pigem lattu kui

turule, et hinnatõusust kasu lõigata. 1992. aasta jooksul kasvasid tarbijahinnad 5,6 korda, ja ehkki keskmine palk, mis oli 1991. aastal olnud pisut üle 700 rubla, iga kuuga mõnevõrra tõusis, ei jõudnud see inflatsioonile järele. Kuigi pärast Tiit Vähi valitsuse ametisse astumist hakkas kriis 1992. aasta kevadel tänu majanduse kiirele liberaliseerimisele leevenema, jäi olukord raskeks kuni 20. juuni rahareformini.

Lasterikka pere toimetulekustrateegiad üleminekuajal

1980. aastate lõpu ja 1990. aastate alguse üleminekuajal oli Peetsalude perele keeruline: toona katlakütjana töötanud Jaani ja tema õpetajast naise

Raheli peres kasvas kuus last, kellest vaid vanimad olid täiskasvanuikka jõudmas. Et toime tulla, oli perel juba aastaid olnud maakodu, kust sai olulist toidulisa: kasvatati juur- ja köögivilju ning peeti sugulaste abiga sigu, kanu ja lehma. Jaan Peetsalu kirjeldab, kuidas 1980. aastate teisel poolel sai lasterikas pere tõendi alusel õiguse osta Tartus Kalevi tänaval asunud eripoest defitsiitset toidukaupa: viineid, suitsuvorsti, sinki, importkohvi ja mandariine.

Õhkkonna pingelisust näitab Peetsalu kogetud juhtum, kus poe aken oli kord sisse löödud ja uksele kinnitatud silt „Suitsuvorst rahva sekka!“. Enamasti said sellestki poest paremaid tooteid osta ainult nõukogude sõjaveteranid. 1990. aasta suvest jäid sealgi müügile vaid tavalised kaubad, needki talongide eest.

Jaan Peetsalu päevikust ilmneb näiteks, et 7. septembril 1990 avatud Ülenurme kaupluses, kust sai talongide eest toiduaineid osta, oli järjekord tavaliselt sedavõrd pikk, et tavalist saia ja leiba õnnestus osta alles õhtul. Kohalikust sööklast võis ettetellimisel saada paar liitrit piima päevas.

1992. aasta kriisiaja sündmused on Jaan dokumenteerinud oma pere vaatenurgast kuupäevade kaupa. Toiduaineid hangiti nii poest talongide eest kui ka töökoha kaudu, kohalikust majandist ning sugulaste ja tuttavate sidemede kasutades. Tunda andis inflatsioon ja rahakriis, näiteks on Jaan päevikus märkinud, et võid või piima sai ta järgmise kuu palga arvel võlgu. Või kilohind oli 1992. aasta veebruaris 50 rubla, sama aasta aprillis maksis liiter piima umbes 5 rubla, umbes

kümnekilose põrsa eest tuli veebruaris välja käia 150, mais aga juba 225 rubla.

Kuna poest oli tol ajal peaaegu võimatu saada lihakraami, muretses Peetsalu pere seda sageli tutvuste kaudu otse sigalatest. Liha osteti alati suuremas koguses ja soolati tagavaraks. Jaan omakorda muretses oma maal elavatele sugulastele põrsaostulube. Lihakriisi iseloomustavad ilmekalt päeviku sissekanded 1992. aasta kevadest suvest:

23. aprillil sain üle pika aja poest pool kilo vorsti.

23. juulil sain osta Reola sigalast 7 kg liha ja 5 kg päid-jalgu, 24. juulil viisin sealihatiiki koos peade ja jalgadega Koogile (pere suvekoju). Rahel keetis süldi ära, aga mehed, kaua lihata olnud, sõid vedelalt ära!

Sugulaste, sõprade ja kolleegidega vahetati toidu- ja tööstuskaupu, osutati vastastikku teeneid ja võimaldati ligipääsu teenustele. Jaani abikaasa sai oma töökoha kaudu raskesti hangitava suhkrut. Defitsiitset kaupa ei sobinud tavaliselt niisama vastu võtta, vaid selle eest tuli tänuks midagi vastu anda. Jaan Peetsalu on märkinud, et 1992. aasta veebruaris sai nende pere ühe tuttava kaudu osta oma neljale kolleegile 1000 rubla eest viina, sõber omakorda pani Peetsalu pere tarbeks kõrvale terve seakülje. Mais aga õnnestus tema naisel ja tütrele hankida tuttava proua kaudu vatti, mille eest viidi vastu viietärnikonjak.

Kriisiaja päevikus kajastub ka omapärase fenomeni – Tartu raha – üürrike tähelend. 1992. aasta kevadel lasi Tartu Sotsiaalbank sularahakriisi ajal linnavalitsuse otsusel välja Tartu ajuti-

se maksetšeki ehk Tartu raha, mis oli käibel 37 päeva. Rahasedeleid oli kolmes väärtuses: 25, 50 ja 100 rubla. Need olid trükitud vesimärkidega leivatalongidele, mida hoiti Nõukogude Liidu pankades katastroofilukorra tarbeks. 3. aprillil 1992 on Jaan Peetsalu kirja pannud, et abikaasa käis kaupluses toitu ostmas 25-rublase Tartu rahadega.

1992. aasta sügisel tehtud päeviku sissekannete järgi on selgelt näha, et olud paranesid pärast Eesti krooni kasutuselevõttu. 24. septembril on Jaan Peetsalu ilmse rahuoluga kirjutanud:

Nüüd juba mitu kuud peale rahareformi ei ole märganud kauplustes järjekordi. Läheneme kapitalismile!

25. oktoobril loetleb ta Tartu turuhoonest ostetud kaupu ja nende hindu:

Ostsin 2 kg võid hinnaga 16.50 krooni kilo, 800 g juustu hinnaga 17 krooni kilo, 4 kg värsket kilu hinnaga 1,80 krooni kilo, kilo vorsti hinnaga 10 krooni ja 20 muna hinnaga 4.40 krooni.

Samal ajal oli Peetsalu palk 1118 krooni kuus, korterikuludeks tuli maksta umbes kolmandik ehk 372 krooni. Niisiis polnud toit küll odav, kuid enam ei pidanud toidu hankimise nimel pikalt sabas seisma ega tegema närvesöövaid pingutusi. •

LOE LISAKS:

Jaan Peetsalu. Toidu valik ja toidu hankimine. Vastused küsimuslehele nr. 238 „Sõimine-joomine 1990. aastatel“, 2017. – Eesti Rahva Muuseumi korrespondentide võrgu arhiiv. ERM KV 1285: 14, lk 107–116.

Tõnu Tannberg. Üleminekuperiood. – Eesti ajalugu VI. Vabadussõjast taasiseseisvumiseni. Ilmamaa, 2005, lk 385–393.

Anu Kannike, Lauri Vahtre. Tetrapakk, pitsa ja mobla. 1988 – tänapäev. Toit ja sellega seonduv. – Anu Kannike, Lauri Vahtre. Eesti eluolu 100 aastat. Post Factum, 2018, lk 194–199.

Heiki Suurkask. 1991: aasta, mil poeletid jäid tühjaks ja me kõik harjusime seisma hiigelpikkades järjekordades. – Delfi. Forte, 17. juuli 2016.

Põnevad numbrid: millised olid 1991. aastal palgad ja pensionid, millised olid toodete hinnad? – Ärileht, 20. august 2016.

✍ **Anu Kannike** (1967) on etnoloog, ERMi vanemteadur, kes uurib 20.–21. sajandi argikultuuri, eeskätt kodu- ja toidukultuuri teemasid.

Ester Bardone (1975) on Tartu ülikooli etnoloogia lektor, kes on teadustöös keskendunud toidukultuuri ja kultuuripärandiga seotud teemadele.



1992. aasta kevadel lasti Tartus käibele ajutine maksetšekk ehk Tartu raha



FOTO: ERAKOGU

Ülikoolipäevil (1982. aastal) õepoeg Taavile mikromaailma tutvustamas

JAAN TÄTTE LAULUMEES

Mina ja teadus on kahjuks kaks väga erinevat asja. Keskkoolis ei oleks ma uskunud, et pean kunagi selle eelmise lause kirjutama. Minu esimene õppimisvalik oli Tartu ülikooli bioloogia eriala ja pidasin seal vastu tervelt aasta, enne kui aru sain, või pigem teised aru said, et minul pole täppisteadustega midagi ühist. Küll aga jõudsin imetleda oma õppejõude Hans Trassi, Viktor Masingut, Hans Remmi ja Erich Kukke. Kõigile neile olen eksamit andnud ja enamasti läbi kukkunud.

Nii et teadlast minust ei saanud ja seetõttu on maailm mu ümber täis vastuseta küsimusi ja imesid, mida jätkub igasse päeva. Mida vanemaks ma saan, seda uskumatum kõik tundub.

Vilsandil ei sadanud suvel kaks kuud tilkagi vihma, õue-muru oli kõrbenud ja puude lehed longus. Ja kui siis ühel ilusal päeval läks taevast pilve ja sealt hakkas vett alla sadama, sain aru, et see on meie elu suurim ime. Ilma selle imeta ei oleks Maal elu. Taevast sajab vett alla! Vett, mis on meie elu alus! Aga ka selle suure põua ajal ei närtsinud mu aia-

maa ja tomatid kasvuhoones, sest on veel üks ime: puurid maasse kuuemeetrise augu ja pumpad sealt välja ilusat külma selget joogiks kõlblikku vett. Seisin tunde kastmistunnide kõrval ja vaatasin, kuidas vesi voolikust voolas. Vee solin oli ilusam kui mistahes muusika. See oli ime!

Kevadel külvasin aiamaale tilli, redist, porgandit, peeti ja kõiki neid muid asju. Vaatasin oma suurel käelabal väikesi seemneid – kõik üsna ühesugused, aga ühest seemnest tuleb peet, teisest kapsas. Sama suurest seemnest tuleb ka mänd, mis võib kasvada 400-aastaseks hiiglaseks. Ei saa aru, mis käsk seal seemne sees saab olla. Ime mis ime!

Vilsandil on paene pinnas ja peenrad on meil maapealsestes kastides, kuhu ise mereadrust mulda toodame. Lähim mänd kasvab nendest kastidest 20 meetri kaugusel, aga ometi tulevad männijuured neisse kastidesse ja isegi pressivad end läbi geotekstiili, et süüa ja juua seda, mis on porganditele mõeldud. Ei saa aru, kuidas juured need kastid üles leiavad. Kurtsin seda muret kunagi multifilmimehele Heiki Ernitsale ja tema ütles, et käbid ju näevad.

Kevadel oli vahtral väga palju mahla. Lausa sorises, mitte ei tilkunud. Tundub ime, et juured imevad mullast vett ja see voolab mööda puud üles-alla ja jätkub mullegi.

Või kuidas ämblik teeb võrgu kahe puu vahele, mis asuvad teineteisest kolme meetri kaugusel. Nii öelda esimese niidi ime!

Või istun öösel õues, vaatan tähti ja saan aru, et olen kosmiline olend. Et Maad ei kaitse tapva kosmose eest mingi klaaskuppel, vaid mingisugune nähtamatu kiht ja mina võin siin keset kosmost istuda oma trepil ilma skafandrita ja hingata maitsvat ööõhku.

Või kui vaatan kissitades päikest ja tean kuskilt, et ta on nõnda hõõgunud ja meid parajalt soojendanud 4,5 miljardit aastat ja teeb seda ehk sama palju veel. Kuidas tal seda soojust nii kauaks jätkub? Või Maa tuumal siin kuskil mitte väga sügaval meie all?

Või kuidas ikkagi toimib Maa külgetõmbejõud? Me ei ole ju rauast, et mingi magnet meid ligi tõmbab. Ja magnetist ei saa ma ka aru – see tundus juba lapsena suur ime.

Või tõus ja möön? Kuidas saab olla, et Kuu kuidagi tõstab meretaseme kuus meetrit kõrgemale!

Või ookeanidel, ümber maakera või veekera purjetades, ei ole võimalik aru saada, kuidas seda vett saab nii palju olla! Kaks kolmandikku maakerast on kaetud veega ja keskmise sügavus kiilu all on neli kilomeetrit. Kas saab olla suuremat imet!

Või siis, et väsid igal õhtul ära ja jääd magama ehk kaotad kaheksaks tunniks teadvuse. Ja näed elu jooksul sadu kordi unes üht ja sama pikka madalat puust maja, kõnnid mööda kitsast koridori ja avad kahel pool uksi ja kohtad jälle samu nägusid. Neid nägusid ei ole ma nii-öelda päris-elus näinud ja seda maja ka mitte.

Või siis tuleb mõni inimene mulle midagi vaikselt rääkima ja imeb mu nõnda rääkides energiast nii tühjaks, et hakkab värisema ja võibsema. Kuidas see saab nii olla!

Või kuidas korraga tuleb pähe üks laul täiesti valmis kujul, nii et püüa lihtsalt ruttu meelde jätta!

Oh, see loetelu on veel väga-väga pikk ja kasvab iga päevaga. Tahan öelda, et tore on elada keset imesid, või täpsemalt – tore on aru saada, et elu ja elamine on ime. Elu ei ole majanduskasv ja tarbijahinnaindeks. •

EDIT TALPSEPP

GEENI MÄÄRATLEMISE PROBLEEMISTIK

Termini *geen*, nagu ka mõisted *genotüüp* ja *fenotüüp*, tõi 1909. aastal esimest korda avalikku teaduslikku sõnavarasse Taani taimefüsioloog ja geneetik Wilhelm Johannsen (1857–1927). Selle terminiga tähistas ta pärilikkuse elemente, mille pärandumise seaduspärasusi oli 19. sajandil uurinud Austria-Ungaris elanud munk Gregor Mendel (1822–1884). „Pärilikkuse elementide“ all mõtles Mendel organismi tunnuseid mõjutavaid, eraldiseisvalt päranduvaid ning põlvkondade vältel püsivaid pärilikkuse tegureid, mis esinevad dominantsetes või retsessiivsetes vormis. Fenotüüpsete tunnuste seaduspärasuste uurimisele keskenduvat geneetikaharu nimetataksegi Mendeli ehk klassikaliseks geneetikaks. Moodsas tähenduses on *fenotüüp* organismi vaadeldavate tunnuste ja *genotüüp* tema geneetilise info kogum.

UNSPASH



Silmavärvus pole niisugune diskreetselt päranduv tunnus, mille määraks ära üks kindel geenivariant, ning vää on ka arusaam, mille järgi ei saa kahel sinisilmisel vanemal olla pruunisilmseid lapsi

Kui oli tekkinud pärilikkust molekulaarsel tasandil uuriv molekulaargeneetika, hakati ka geeni mõistega seostatavaid nähtusi asjaomaselt kirjeldama. 20. sajandi alguses võeti omaks idee, et geenide kandjad on rakutuumas asuvad kromosoomid. Kromosoom koosneb pikast pärilikkusaine DNA (desoksüribonukleiinhappe) molekulist ja sellega seotud valkudest; DNA kaksikheeliksikujuline struktuur avastati 1953. aastal. Geenide ekspressioon toimub nii, et DNA alusel transkribeeritakse RNA (ribonukleiinhape), millest omakorda transleeritakse valk.

Valkudel on organismis elutähtis roll: nad on keha keemiliste protsesside katalüsaatorid, transpordivad hapnikku ning kontrollivad rakkude eristumist ja keha kasvu ning pakuvad

ehituslikult mehaanilist tuge. Geneetiline kood on kindel vastavus mRNA-d ehk informatsiooni-RNA-d moodustavate nukleotiidikolmikute ja valke moodustavate aminohapete vahel, mis võimaldabki DNA-s paikneva geneetilise info RNA molekulidele tõlkida ning selle alusel omakorda valke sünteesida.

Paraku pole meil siiani päris universaalset ja probleemivaba geenikäsitust. Järgnevalt toon esile mõned geeni määratlused ja nendega kaasnevad asjaolud. Alustagem definitsioonist, mille kohaselt on geen organismi ühe tunnuse väljakujunemist juhtiva informatsiooni kandja. Kas see tähendab, et geeni molekulaarbioloogiline kirjeldus on klassikalise geneetika geenikontseptsiooni teaduslikum edasiarendus ning et molekulaargeneetika

põhjal on see, mida Mendel nimetas pärilikkuse elementiks, üht kindlat diskreetselt päranduvat tunnust kodeeriv DNA-lõik?

Mõnikord võib ajakirjanduse populaarteaduslike rubriikide pealkirjade järgi (nt avastati ülekaalulisust, alkoholismi, homoseksuaalsust vms põhjustav geen) tõesti tekkida niisugune mulje, kuid päriselus ei ole asjad nii lihtsad. Peale vastavuse „üks geen – üks tunnus“ eksisteerivad veel pleiotroopsed (korraga mitut tunnust kodeerivad) geenid ning polügeensed (mitme geeni kodeeritud) tunnused.

Vaadakem näiteks sinisilmsust, Mendeli pärilikkuseaduste kirjelduste õpikunäidet. Levinud teadmise järgi määrab inimese silmavärvuse geen, mille sinisilmsusega seotud alleel (geenivariant) on võrreldes näiteks pruunisilmsust määrava dominantse alleeliga retsessiivne ehk alla surutud. Tegelikult seatakse varieerub inimeste silmavärvus seetõttu, et silmaiirises leidub eri kogus melaniini (tumepruunides silmades on seda tumedat värvust põhjustavat värvainet palju, sinistes aga väga vähe), ning melaniini hulka mõjutavad omakorda eri geenide variatsioonid ja nende vahelised keerulised vastasmõjud. Seega pole silmavärvus niisugune diskreetselt päranduv tunnus, mille määraks ära ühe kindla geeni alleel, ning vää on ka arusaam, mille järgi ei saa kahel sinisilmisel vanemal olla pruunisilmseid järglasi.

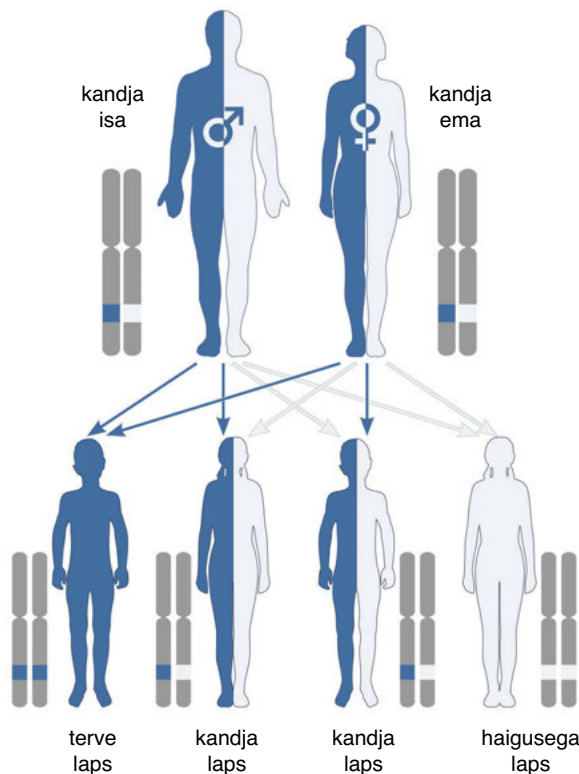
Samuti on olemas tunnuseid, näiteks haiguslikke, mida saab pidada pigem mõne geeni puuduliku ekspressiooni ehk avaldumise tulemuseks kui

geenide poolt kodeeritaks. Geeni ja tunnuse vastavusest rääkides kerkib üles ka küsimus, kui laialt või kitsalt tuleks teatud tunnuseid käsitleda: kas näiteks looma eri kehaosi katva karvastiku värvust saab käsitleda eri tunnustena või on nad osa looma üldisest värvikomplektist kui laiemast tunnusest?

Molekulaargeneetika traditsioonilise geenikontseptsiooni kohaselt on geen DNA-lõik, mis määrab ära ühe funktsionaalse valgumolekuli (või RNA-molekuli) sünteesi. Sellel määratlusel põhinevad osaliselt ka näiteks rahvusvahelise „Inimese genoomi projekti“ (ingl Human Genome Project) geenide tuvastamise ja loendamise moodused. Ka siinkohal pole üksüheselt lihtne määratleda geeni konkreetse valgumolekuli sünteesi kodeeriva DNA-lõiguna, kuna valgusünteesile aitavad kaasa ka näiteks mittekodeerivad regulatoorsed DNA-järjestused.

Nimelt ei sisalda kogu genoomis leiduv DNA instrueerivat geneetilist informatsiooni ehk see ei kodeeri RNA vahendusel valgusünteesi. Anakronistlikult halvustavast nimetusest hoolimata on järjest enam leitud, et vähemalt osal sellisest mittekodeerivast ehk rämps-DNA-st on geeniekspressioonis oma roll näiteks transkriptsiooni (RNA moodustumise) ja translatiooni (valgusünteesi) reguleerijana. Kindla valguahela kodeerimisel põhinev geenimõiste satub kahtluse alla näiteks siis, kui peame iseseisvateks geenideks ka näiteks funktsionaalse, ent valke mittekodeeriva RNA transkriptsiooni aluseks olevaid DNA-lõike.

Geeniekspressioonis on oluline koht ka rakulisel keskkonnal, näiteks võib geeni mõju vaadeldavatele tunnustele muutuda, kui geeni asukohta rakus muuta. Kuna enamikus organismi rakkudes on olemas kogu organismi genoom, oleneb konkreetse koe väljakujunemine, st kuidas ja millised geenid selles avalduvad, organismi antud kehapiirkonda mõjutavatest geeniregulatsioonist mehhanismidest. Näiteks kiilaspäisust soodustavaid geneetilisi tegureid võivad kanda nii mehed kui ka naised, ent suguhormoonide mõjul avalduvad need eri sugudel isemoodi. Kokkuvõtvalt saab öelda, et regulaatormehhanismid ja rakuline kontekst mõjutavad DNA-lõigu ekspressiooni igal valgusünteesi etapil, mille tulemusel võivad ühe lõigu alusel moodustuda eri valgud ning kujuneda eri tunnused.



Joonisel on kujutatud geneetiliste haiguste pärandumisvõimalusi vanematelt lapsele. Meil kõigil on kaks koopiat enamikust geenidest, ühe koopia oleme pärinud emalt ja teise isalt. Vahel esineb muutus ehk mutatsioon geeni ühes koopias, mis põhjustab geeni funktsiooni häire. Kui vigane on ainult üks retsessiivne ehk allasurunud geen (joonisel kujutatud heleda kehavärvina) ja inimesel on teine koopia normaalne (sinine kehavärv), siis enamasti see ei põhjusta geneetilist haigust. Et haigestuda retsessiivsesse pärilikku haigusesse (pärandumiskord 25%), peab laps pärima vanematelt kaks vigast geeni, ühe kummaltki vanemalt. Kui laps pärib ainult ühe mutatsiooniga geeni, siis ta on kandja (pärandumiskord 50%)

Võttes arvesse mittekodeerivate tegurite tähtsust, on pakutud ka määratlusi, mille järgi koosneb geen peale kindlat tunnust või valgumolekuli kodeeriva DNA-lõigu ka selle avaldumise seisukohast olulisest rakukontekstist ja regulaatormehhanismidest. Sellised käsitlused teeb problemaatiliseks ühe tunnuse avaldumisega seotud molekulaartasandi elementide hoomamatult suur hulk, mille tõttu on suutlikkus konkreetseid gene loendada kahtlane. Protsessidepõhise bioloogiakäsitluse pooldajad aga on üritanud geeni määratleda kui organismi teatava arenguetaapi protsessi, mille siht on mingi kindla valgusüntees ja mis hõlmab kõiki selle protsessi seisukohalt põhjuslikult olulisi, nii rakusiseid kui -väliseid arengumaatriksi elemente. Seesugune käsitlusviis aga ignoreerib geenide erilist staatust võrreldes muude, näiteks keskkonnast tingitud arenguteguritega.

Kas see eripärane staatus võiks tuleneda levinud määratlusest, mille kohaselt on geen peamine bioloogilise pärilikkuse ühik? Paraku on peale geneetilise info pärandumise põlvkondade vahel ka epigeneetiline pärandumine, mille käigus antakse järglastele edasi geeniekspressiooni mõjutavaid ning vähemalt osalt keskkonnast tingitud mittekodeerivaid molekulaar-

seid tegureid. Epigeneetilise pärandumise toimet ei mõjuta näiteks naise rasedusaegne toidupuudus mitte ainult tema laste, vaid ka lastelaste tervisenäitajaid – isegi kui lastelaste ema raseduse ajal ei nälgunud. Määrav pole seejuures mitte DNA, vaid toitumisest mõjutatud geeniregulatsioonimehhanismide pärandumine ülejärgmisele põlvkonnale. Samuti pole geenide endi roll piiritletud päriliku info edasikandmisega põlvkondade vahel: geenid reguleerivad organismi arengut, neil on tähtis roll vanemorganismide tunnuste rekombineerumisel järelorganismides, uute tunnuste aluseks olevate mutatsioonide tekkes jms.

Nagu paljude teiste bioloogia mõistete puhul, on ka 'geeni' määratlemine mõneti kontekstitundlik. Geene ja nende avaldumise jaoks olulisi tegureid ei tuvastata pelgalt DNA-ahelat uurides, vaid näiteks moodsa molekulaargeneetika raames juhindutakse sellest, milliste funktsionaalsete valkude ning tunnuste sünteesi ja kujunemise vastu me parajasti huvi tunname. Ent mida me üleüldse tunnusteks või funktsionaalseks valguks peame, oleneb omakorda uurija teoreetilisest taustast ja konkreetsest uurimisküsimusest. •

Edit Talpsepp (1981) on Tartu ülikooli teadusfilosoofia teadur

JAAN LAHE

IMPEERIUM KAHE IMPEERIUMI VAHEL PARTIA RIIK

Partia suurriik kuulub Aasia impeeriumide hulka, mis püsisid sajandeid ning ühendasid eri rahvaid ja kultuure. Oma hiilgeaegadel laius see riik Süüriast ja Mesopotaamiast Kesk-Aasia ja Loode-Indiani. Partia kultuuriline mõju oli veelgi laiem, ulatudes Rooma riigist kuni Hiinani – kulges ju Partia kaudu kuulus Siiditee. Kuidas see Rooma keisririigi ja Hiina Hanide impeeriumi vahel asunud muistne suurriik tekkis ja arenes? Millised rahvad seda asustasid ja milline oli selle ühiskond? Neid teemasid siinne artikkel tutvustabki.



Partia impeeriumi kunagise pealinna Nisa (Parthauinisa) varemed

Erinevalt Ahhemeniidide (6.–4. saj eKr) ja Sassaniidide impeeriumist (3.–7. saj pKr) on meie käsutuses olevad kirjalikud allikad Partia riigi kohta äärmiselt napid. Suurem osa neist ei pärine ka partialastelt endilt, vaid Partia naaberriikides elanud rahvastelt, eeskätt Rooma ja Hiina autoritelt. Rooma autorite puhul on ilmne nende tendentslikkus: roomlased olid juba vabariigi ajajärgust peale sõdinud partialastega mõjuvõimu pärast Mesopotaamias ja Armeenias, mistõttu on nende kirjutistel ilmne propagandistlik eesmärk. Nad kujutavad partialasi võõra ja vaenuliku kultuurilise „teisena“, kellel on kõik roomalike vooruste vastandomadused: nad on salakavalad, sõnamurdlikud ja ohjeldamatud.



UNSPLASH

Hiina autoritel selline negatiivne eelhäälestus puudub, kuid nende kirjeldatud Partia ajaloosündmusi on raske kindlaks teha ja dateerida. Probleeme tekitab ka Partia valitsejad, keda tunneme eeskätt nende müntide põhjal. Enamiku kuningate valitsusaastaid teame üksnes ligikaudu ning mõnede valitsejate puhul pole kindel isegi nende ajaline järgnevus. Peamised kirjalikud originaalallikad on ühest Partia kunagisest pealinnast, Nisast leitud ostrakonid, ent need annavad meile teavet eelkõige majanduse kohta. Pärgamendile kirjutatud tekste ja ka raidkirju on Partia riigist leitud äärmiselt vähe. Seega hõlmavad olulise osa allikatest mündid, ehted, ehitiste vundamendid (tervikehitisi on säilinud vähe) ja teised arheoloogilised allikad.

Parnid – rahvas steppidest

Partia riigile panid aluse Ida-Iraani hõimude hulka kuulunud ja sküütidega suguluses olnud nomaadihõimud, keda kreekakeelsetes allikates nimetatakse „parnideks“ (kr *parnoi*). 3. sajandil eKr asusid need hõimud Kaspia merest kagusse jäävatel aladel. Tõenäoliselt olid nad tulnud sinna koos sküütidega praeguse Lõuna-Venemaa stepialadelt.

3. sajandil sai parnide naabriks hellenistlik Seleukiidide riik. See oli tekkinud pärast Aleksander Suure surma (323 eKr), kui tema väepealikud ehk diadohhid jagasid omavahel ära Aleksandri vallutatud hiigelterritooriumi, mis ulatus Makedooniast Loode-Indiani. Parnidega piirnevast alast, mis oli varem kuulunud Partia provintsina Ahhemeniidide riigi koosseisu (esimest korda on seda Iraani põhjaosa ja praeguse Türkmenistani lõunaosa hõlmanud ala mainitud Pärsia kuninga Dareios I käsul koostatud kuulsas Behistuni raidkirjas), sai samanimeline provints Seleukiidide riigis. Kui sellega liideti Kaspia merest lõunasse ja itta jääv Hürkaania, tekkis Partia ja Hürkaania kaksikprovints. Provintsi kuberner oli ajavahemikul 245–238 eKr Andragoras. Oletatakse, et ta oli iraani, mitte kreeka päritolu, kuid ilmselt helleniseerunud, nagu paljud teisedki tollased Seleukiidide riigi ülikud.

Umbes 245. aastal eKr kuulutas Andragoras end Seleukiididest sõltumatuks Partia kuningaks, kuid kaua ta niimoodi valitseda ei saanud: umbes 238. aastal eKr alustasid parnid

sissetungi tema valdustesse. Nad vallutasid esmalt tema kuningriigi põhjaosa ja seejärel ka ülejäänud alad, kõrvaldasid Andragorase võimult ja tapsid ta.

Partia riigi teke ja kujunemine suurriigiks

Parnide sissetungi Partiasse juhtis väepealik Aršak (kreekapäraselt Arsakes), kes pani aluse iseseisvale Partia riigile ja Aršakiidide kuningadünastiale. Ta valitses Aršak I nime all aastatel 247–217 eKr. Aršaki võimuletulekuga algas Aršakiidide ajaarvamine, milles aasta 247 eKr vastas aastale 1. Kuna samal ajal kasutati riigis teisigi ajaarvamissüsteeme, on sündmusi sageli raske dateerida.

Aršak liitis Partia alale ümberkaudsed piirkonnad Hürkaania, Herāti ja Astauene ning sõlmis Seleukiidide vastu sõjalise liidu Kreeka-Baktria riigiga (vt Horisont 1/2021). Tema valitsusajal tegid Seleukiidid mitu ebaõnnestunud katset neilt vallutatud alasid tagasi võtta.

Partia kuninga Mithridates I valitsusajal (u 171–138 eKr) laienes partialaste valitsuse alla kuulunud ala ulatuslikult: ta vallutas Seleukiididelt Iraani lääneosa, sealhulgas Meedia ja Margiana, ning osa Kreeka-Baktria riigist. Ka Mesopotaamia (koos Seleukiidide riigi pealinna Seleukiaga) läks just tema valitsusajal partialaste võimu alla. Peale uute alade vallutamise õnnestus Mithridatesel peatada sakki-õnnestus riigi idapiiril. Võib liialdada öelda, et just tänu Mithridates I vallutustele sai Partiaast suurriik, mis ulatus Süüriast ja Mesopotaamiast kuni Loode-Indiani ning mille juurde kuulus hulgaliselt väiksemaid sõltlariike.

Riigikorraldus

Nagu naaberriik Rooma, nii laienes ka Partia impeerium vallutuste tulemuseks, ühendades oma võimu alla hulgaliselt esialgu iseseisvaid territooriume. Kuigi riikliku hierarhia tipus seisis kuningas, kelle ametisse seadmise ja troonipärimise kord oli kindlaks määratud (kuninga võisid ametisse seada kindlate Partia suguvõsade pealikud ja kuningavõim pärandus vereliini pidi isalt pojale), jäi mitmel algul iseseisval kuningriigil ka Partia riigi koosseisus alles teatud autonoomia. Nende kuningad muudeti piiratud võimuga asevalitsejateks, kes allusid suurvõimudele.

le ehk „kuningate kuningale“ (tiitel võeti üle Ahhemeniididelt, kelle järeltulijateks partialased end pidasid). Hiljem hakati kohalikke kuningaaid asendada suurrkuninga veresugulastega.

Riik jagunes osastisriikideks, kuid riigi täpne haldusjaotus ei ole selge. Allikates kohtab erisuguseid haldusametnike nimetusi, ent nende omavahelisi suhteid ja võimupiire ei saa enam kindlaks teha. Nii mainitakse neis näiteks aadlisoost kõrgeid haldusametnikke, kelle kohta kasutatakse tiitlit *marzbān*; tõenäoliselt ühendasid nad oma isikus nii administratiivse kui ka sõjaväelise võimu. Lisaks räägitakse „satraapidest“, kelle koht riigis hierarhias oli madalam kui *marzbān*il, aga nende alluvussuhted ei ole selged. Eraldi amet oli armee juht, kes kandis ametinimetust *spāhbed*, mis pärineb muinaspärsia keelest (*spāda* 'sõjavägi'; *pati* 'isand, juht'). Ent ei ole selge, milline oli tema suhe osastisrii-

Nagu naaberriik Rooma, nii laienes ka Partia impeerium vallutuste tulemusena, ühendades oma võimu alla hulgaliselt esialgu iseseisvaid territooriume.

kide valitsejatega, kellele kuulus sõjaline võim. Teada on ka hulgaliselt spetsiifilisi ülesandeid täitvaid ametnikke, nagu „kirjutaja“ (*dipir*) ja „maksude sissenõudja“.

Sõltlasriigid

Otseste osastisriikide kõrval eksisteeris arvukaid riike, mis olid Partia poliitiliselt sõltuvad. Samuti mõjutas Partia mitmete ümberkaudsete riikide poliitikat, majandust ja kultuuri. Partia sõltlasriigid olid näiteks Osroene kuningriik praeguse Lõuna-Türgi ja Põhja-Süüria alal (pealinn Edessa), Kommagene kuningriik praeguse

Kagu-Türgi territooriumil (pealinn Samosata), Charakene Lõuna-Mesopotaamias, sellest kirdes asunud Elymais ning Mesopotaamia põhjaosas asunud Hatra kuningriik, mida asustasid araablased. Hatra oli oluline peatuspunkt Iraani ja Süüriat ühendaval karavaniteel ja tähtis kaubanduskeskus.

Armeenias olid Aršakiidide dünastiast pärit kuningad valitsenud juba 1. sajandi keskpaigast pKr. Kuigi Armeenia kuulus kahel perioodil lühikest aega Rooma riigi koosseisu (69 eKr – 12 pKr ja 114–118 pKr) ning tema ülikkond jagunes Rooma toetajateks ja Pärsia toetajateks, püsis ta kindlalt Partia riigi mõjusfääris. Aršakiidide soost kuningad valitsesid Armeeniat kuni 5. sajandini pKr.

Partialased väljaspool Partia riiki

Eespool nimetatud sõltlasriikide kõrvale tekkis aja jooksul Partia riigist lahku löönud iseseisvaid kuningriike,



mida valitsesid partialased. Tähtsaim neist oli Indo-Partia riik. Partialaste (Indias nimetati neid pahlavateks) valitused jõudsid Loode-India aladele 1. sajandil eKr ning nad alistasid oma võimule sealsed väikesed kreeklaste riigid.

Umbes 20. aastal eKr kuulutas Partia vürst Gondophares ennast suurvürstiks ja rajas oma kuningriigi, mis hõlmas Seistani piirkonda (nüüdne Sistan Ida-Iraanis ja Lõuna-Afganistanis), Kabuli orgu ja Induse orgu (nüüdse Pakistani territooriumil). Tema riigi pealinnaks sai Taxila. Gondophares on tegelane 3. sajandist pärinevas apokrüüfses Tooma tegude raamatus, mis jutustab, kuidas Jeesuse jünger Toomas jõudis Gondopharese riiki ja kuulutas seal evangeeliumi.

Taxila linna külastas samast sajandist pärineva „Tyana Apolloniuse elu“ järgi (ja samuti Gondopharese valitsusajal) ka uuspütaagorlik filosoof ja imetegija Apollonios (u 15–100 pKr), kes pärines Tyana linnast Väike-Aasias. Kui lisada nimetatud toestele fakt, et Taxilas asus kuulus budistlik ülikool, siis võib öelda, et tegemist oli tähtsa vaimse keskusega, kus käis eri päritoluga usukuulutajaid. Partialaste võim selles piirkonnas püsis kuni 1. sajandi viimaste kümnenditeni pKr, mil see langes kušaanide valitsuse alla ja liideti nende riigiga (vt Horisont 3/2019).

Linnad

Vanimad teadaolevad Partia linnad paiknevad tänapäeva Lõuna-Türkmenistani ja Kirde-Iraani aladel. Tähtsaimad neist olid Merv (tänapäeva Türkmenistani territooriumil), Qumis (kr Hekatompylos; asus tänapäeva Iraani alal), Herāt (praeguse Afganistani alal), Rhagae (Teherani lähedal) ning Nisa (Türkmenistani alal, 17 km praegusest Aşgabatist). Nisa oli Partia riigi esimene pealinn, mille algne nimi oli Parthauanisa.

Hiljem olid pealinnadeks muistne Meedia pealinn ja Ahhemeniidide suvepealinn Ekbatana (nüüdisaja Hamadani alal Iraanis), juba nimetatud Qumis ja Rhagae ning Mesopotaamias asunud Ktesiphon, mille partialased rajasid Tigriise jõe äärde, hellenistliku Seleukeia vastu. Olulised keskused olid Partia riigis ka Iraani alal asuv Susa ning mitu vana Mesopotaamia linna (Assur, Ninive, Babilon).

Vene ja hiljem Itaalia arheoloogide



Nelinurkset kupliga kaetud, kolmest küljest suletud ja ühest avatud halli – *ivan*’it – peetakse algupäraseks Partia arhitektuurivormiks, mis levis üle kogu partialaste mõju all asunud territooriumi. Pildil *ivan* Sassaniidide impeeriumi esimese kuninga Ardašir I palee varemeis

välja kaevatud Nisa varemed annavad meile parima ettekujutuse, milline nägi välja üks suur Partia linn. Linn koosnes kahest osast: müüri ümbritsetud elupiirkonnast, mida nimetatakse Uus-Nisaks, ja kõrgendikul asuvast tsitadellist, kus paiknesid kuninga-palee, haldus- ja kultushooned ning matmispaik, kus asusid põletatud savist esivanemate kujud; see tsitadell on tuntud Vana-Nisa nime all. Sealt on leitud rohkesti münte, hõbenõusid, skulptuuride fragmente, klaasemeid, relvi ning vaipade jäänuseid. Linnast on leitud ka üle 2500 ostrakoni, mis annavad informatsiooni majanduselu (eriti veinivalmistamise) kohta. Nisast viie kilomeetri kaugusel asuvas Mansur-Depes paiknes linna tähtsaim kultuskeskus, mis koosnes vabas õhus asuvast kultusplatsist (läbimõõt 165 x 135 m) ning seda ümbritsevast müürist, millesse olid ehitatud väikesed templid. Linn hävis 1. sajandil eKr maavärina tagajärjel ning hiljem teda üles ei ehitatudki.

Arhitektuur

Kuigi paljude Partia võimu alla läinud piirkondades ehitati hooneid endiselt kohalike traditsioonide järgi, võib ometi rääkida mõningatest arhitektuuri omapäradest, mis on seotud just partialastega. Üks selline arhitektuurivorm on *ivan*: nelinurkne kupliga kaetud, kolmest küljest suletud ja ühest küljest avatud hall. Seda peetakse algupäraseks Partia arhitektuurivormiks, millele ei leia varasematest kultuuridest otsesid paralleele. Võlvi-tud lae ja kupli kasutamine arhitektuuris levis üle kogu partialaste mõju all asunud territooriumi.

Partialastele oli iseloomulik ka ümmarguse põhiplaaniga linnade ehitamine; nii nagu on *ivan*’ite eeskujuks peetud ühelt küljelt avatud nomaadide telke, arvatakse need ümarlinnad olevat inspireeritud kunagistest nomaadide laagriploksidest. Nii Partia arhitektuuris kui ka kujutavas ja tarbekunstis leidub palju motive, mis viitavad nende minevikule rändava stepi-rahvana, näiteks nn sarmaadistiilis

Nii Partia arhitektuuris kui ka kujutavas ja tarbekunstis leidub palju motiive, mis viitavad nende minevikule rändava stepirahvana, näiteks nn sarmaadistiilis loomamotiivid tarbeesemetel.

loomamotiivid tarbeesemetel. Samas võtsid partialased omajagu elemente üle kreeka kultuurist: sealt pärinevad nende müntidel kujutatud kreeka jumalad, templeid ja paleesid kaunistav värvitud stukkdekoor, ning dooria, joonia ja korintose kapiteelid, millega nad kaunistasid sageli oma hoonete fassaade. See on mõistetav: oli ju hellenistlik kultuur levinud kogu partialaste vallutatud hiigelterritooriumil.

Põllumajandus

Partia riigi majandust mõjutas nende riigi suurus: selle eri osades valitsesid erisugused geograafilised ja kliimad. Osa riigi territooriumist oli asustamata kõrbe- või stepiala, kus ei olnud võimalik põldu pidada ja kus seetõttu puudus püsisustus. Mõnel pool, sealhulgas Margiana ja Baktria suurtel tasandikel, oli seevastu erakordselt viljakas pinnas. Maapinna viljakuse tagamiseks kasutati Partias ka tehismiisutust: on leitud jälgi kunagisest niisutussüsteemist.

Riigi olulisim viljaga varustaja oli Mesopotaamia. Teraviljadest kasvatati Partia territooriumil nisu, otra ja kaera, veerikkamatel aladel ka riisi; köögiviljadest läätsi, herneid, ube, sibulaid, küüslauku, kurke, eri sorti kapsaid, meloneid ja kõrvitsaid. Puuviljadest olid levinumad õunad, pirnid, granaatõunad, viigimarjad, kirssid, ploomid, virsikud ja viinamarjad, millest valmistati veini, samuti kõikvõimalikud pähklisordid. Armeenia alal kasvatati ka aprikoose. Mesopotaamias, Süürias ja Põhja-Iraanis kasvatati oliive, millest toodeti õli, ning peaaegu kogu riigi alal viljeldi ka lina, millest valmistati eeskätt riidet, kuid samuti õli.

Põlluharimiseks sobimatutel stepialadel oli põhitegevusala loomakasvatus: peeti lambaid, kitsi, veiseid, kameleid, hobuseid ja mitmesuguseid kodulinde. Hobused etendasid olulist rolli nii Partia armees, mille peamine löögijõud oli raskelt relvastatud ratsa-



Partia joogisarv



Partia münt, millel on arvatavasti kujutatud Partia suurvürst Mithridates III-t (valitses 1. sajandi eKr lõpul)



Ahhemeniidid – 6.–4. sajandini Iraani valitsenud kuningadünastia. Nende valitsuse lõpetas 4. sajandil eKr Aleksander Suur.

Behistuni raidkiri – kaljusse raiutud bareljeef kolmekeelse (vanapärsia, akadi ja eelami) tekstiga, mis kirjeldab Pärsia kuninga Dareios I võite. Raidkiri asub Lääne-Iraanis Kermānshāhāni provintsis Behistuni (Bisutun) mäel. (Vt Horisont 3/2011)

Fergana org – kõrgmägedest (Tian Shan, Alai ahelik) ümbritsetud org Usbekistani, Kõrgõzstani ja Tadžikistani territooriumil Kesk-Aasias.

Ostrakonid – savinõude killud, millele vanal ajal kirjutati.

Sassaniidid – 3.–7. sajandini Iraani valitsenud pärsia päritolu kuningadünastia. Nende valitsenud riiki nimetatakse Uus-Pärsia riigiks.

Zoroastrism – legendaarse prohvet Zarathustra (eluaeg teadmata) reformitud muinaspärsia usund.

vägi, kui ka liikumisvahendina, et läbi- da pikki vahemaid. Tähtsamad hobuse- kasvatuskeskused asusid Farsi piirkon- nas, Hamadani tasandikul, Kirde-Iraa- nis, Kaspia mere ja Kasahstani kõrgus- tike vahele jäävatel aladel ning Ferga- na orus. Sellest orust pärinevad hobu- sed pidid olema eriti kiired (neid nime- tati „tiivulisteks hobusteks“), mistõttu neid osteti ka välismaal.

Kaubandus

Partia mängis omaaegses maailmakau- banduses olulist rolli, sest Partia riigi kaudu kulges Hiinat Vahemere ranni- kuga ühendanud Siiditee. Partia riik sai seal liikuvate kaupade eest eri mak- sude ja tollidena arvestatavat tulu. Maismaakaubanduse kõrval oli oluline jõe- ja merekaubandus. Tähtsamad kaubateed kulgesid Eufraati ja Tigrise

Partia mängis omaaegses maailma-kaubanduses olulist rolli, sest Partia riigi kaudu kulges Hiinat Vahemere rannikuga ühendanud Siiditee.

jõel. Merekaubandus käis Eufraati ja Tigriise jõe deltas asuvate sadamate kaudu, kaubeldi nii Hiina kui ka India-ga. Indiast toodi Partiasse poolvääriskive, ehteid ja vürtse, Hiinast imporditi aga apelsine, siidi ja mitmesuguseid maavarasid, mida Partia tuumikalal nappis. Hiinasse eksportisid partialased väärispuitu, pärleid, orje ja metsloomi (eriti lõvisid). Kõige hinnatumad olid seal aga Fergana orust pärinevad hobused. Rooma eksportisid partialased Hiinast pärit siidi, India puuvilla, lina, vürtse ja arstirohtusid.

Rahvad, keeled, kirjasüsteemid

Partia riigile aluse pannud parnid kõnelesid mingit idairaani keelt, mille kohta pole kirjalikke mälestisi säilinud. Pärast Seleukiidide Partia provintsi hõivamist võtsid nad omaks seal kõneldud loodeiraani keelte hulka kuuluva partia keele. Kuigi partia keelest sai ametlik õukonnakeel, kasutati ametliku asjaajamisekeelena kogu riigis selle kõrval aramea keelt ja varasemal perioodil ka kreeka keelt, mis oli jõudnud Partia riigi alale koos Aleksander Suure vallutustega.

Peale partialaste elas Partia impeeriumis veel teisigi iraani keeli rääkivad rahvaid – sogdid, baktrialased, horesmlased –, kes säilitasid oma keele. Samuti elas Partia riigis kreeklasi, babüloomlasi ning mitmesuguseid Kaukaasia rahvaid, kellest olulisim etniline rühm oli armeenlaste oma.

Partia kirjakeel oli tekkinud aramea kirjast, mille võtsid üle ka teised iraani keeli kõnelevad rahvad. Varasemad Aršakiidide kuningad kasutasid oma müntidel ka kreeka keelt ja kirja, kuid hiljem asendati see müntidel üksnes partia keele ja kirjaga. See annab tunnistust partialaste rahvusliku eneseteadlikkuse kasvust. Mesopotaamia alal pruugiti veel meie ajaarvamise alguseni ka kiilkirja.

Usundid Partia riigis

Kuna Partia riik hõlmas paljusid rahvaid ja kultuure, olid seal esindatud ka eri usundid ja kultused. Partia kuningad järgisid zoroastrismi, kuid

puuduvad andmed hierarhilise zoroastristliku organisatsiooni kohta, mida me kohtame järgnenud Sassaniidide ajajärgul. Peale zoroastrismi eksisteeris kindlasti teisigi Iraani päritolu kultusi, sest partialaste kõrval elas Partia impeeriumis mitmeid iraani rahvaid. Koos hellenistliku kultuuriga jõudsid sinna kreeka jumalad, keda samastati erisuguste iraani jumalatega ja kujutati müntidel. Kuna Partia riigi osa oli ka Mesopotaamia, eksisteerisid iraani ja kreeka jumalatega kõrvuti babüloomia jumalad – veel meie ajaarvamise esimestel sajanditel oli Mesopotaamia usund elav religioon.

Juba alates Paabeli vangipõlve ajast (6.–5. saj eKr) oli Mesopotaamias olnud arvestatavalt suur juudi kogukond. Kristlus eksisteeris partialaste valitsetud Mesopotaamias alates 2. sajandist. Ka legendi Tooma Indias-käigust on käsitletud kui Partia kiriku misjonitöö kajastust Loode-India aladel.

Alates meie ajaarvamise algusest oli Indo-Partia riigis levinud ka budism. Riigi pealinnas Taxilas tegutses kuni 6. sajandini suur budistlik klooster koos ülikooliga. Viimaks olgu nimetatud, et Partia riigi territooriumil sündis 216. aastal ka oma usund: manihheism, mille rajas prohvet Mani. Päriluse järgi põlvnes ta isa poolt Aršakiidide soost; Mani ülesastumine prohvetina ja tema järgnev tegevus jäävad aga ajaliselt juba Sassaniidide ajastusse (Mani suri 276 või 277 pKr).

Partia riigi lõpp

Partia riigi viimaseid sajandeid iseloomustavad vürstide omavahelised sisetülid, mille tõttu hakkas riigi ühtsus murenema, ning lakkamatu võitlus roomlastega. 198. aastal kaotasid partialased roomlastele lõplikult Mesopotaamia (varem oli piirkond käinud käest kätte), mis oli olnud riigi tähtsaim viljaait. Kuigi partialastel õnnestus 217. aastal peatada keiser Caracalla korraldatud sõjakäik, jäi see Partia riigile viimaseks võidukaks sõjaks. 220. aastatel toimus Persise provintsis suurvürst Ardašir ülestõus, mida juhtis kohalik vürst Ardašir. 224. aastal kukutas ta võimult viimase Partia suurvürsti Artabanos IV ning 226. aastal krooniti ta uue riigi, Sassaniidide riigi esimeseks kuningaks. Sellega oli jõudnud lõpule ligi viissada aastat kestnud Partia impeerium, mille kultuuriline mõju kestis edasi ka Sassaniidide valitsusajal. •



Partia üliku pronkskuju Elymaisist

 **Jaan Lahe** (1971) on religiooniloolane. Ta on Eesti evangeelse luterliku kiriku usuteaduse instituudi erakorraline professor, Tartu ülikooli usuteaduskonna religiooniuringute kaasprofessor ning Tallinna ülikooli humanitaarteaduste instituudi kultuuri- ja religiooniuringute dotsent. Tema peamised uurimisteemad on Rooma keisririigi usundilugu ja antiikmaailma kontaktid idamaadega.

TUMEAININE JA ÜRGSED MUSTAD AUGUD

Kõrbesipelgas, kelle elupaik on ääretu Sahara kõrb, teab, et maailm on tehtud liivast. Tema seisukohalt on see kahtlemata nii: terve oma elu piiratud lapikesel veetes ei olegi tal põhjust midagi muud eeldada. Sipelgaga võrreldes on inimkonna läbi hekseldatud lapike tunduvalt avaram: terve koduplaneet Maa pluss mõned üksikud reisid Kuule. Kõige kaugemale jõudnud tehiskaaslased Voyager 1 ja 2 lahkusid Päikesesüsteemist vastavalt 2012. ja 2018. aastal. Nüüdseks võrdub vahemaa ligikaudu 150 ja 125 Maa ning Päikese vahelise kaugusega. Ent tee lähima täheni on veel umbes 2000 korda pikem. Kui kujutleksime meile vaatluslikult kätte saadavat universumit maakerasuuruse pallina, siis oleksid Voyageri tehiskaaslased sellises skaalas jõudnud katta vaid ligikaudu kolmandiku mikromeetrit ehk praegu populaarsetes ühikutes umbes kolme kõrvuti asetseva SARS-CoV-2 viriooni jagu.

On selge, et vahetu kompamise meetodil me universumi uurimisel kaugele ei jõua. Seetõttu lähevad käiku niisugused kosmilised sõnumitoojad nagu footonid, kosmilised kiired (aatomituumad), elektronid, neutriinod ning alates 2015. aastast ka gravitatsioonilained. Valdavalt saame infot siiski footonite kaudu. Seega ei saa me enam aktiivselt eksperimentides osaleda ning peame leppima kõige sellega, mida on loodusel pakkuda, piirdudes ainult passiivse vaatleja rolliga. Siiski saame seejuures valida mitme vaatluskanali ja sageduspiirkonna vahel, saame muuta jälgitava taevaala ulatust ning kanalite tundlikkust.

Aastakümnete jooksul kogutud vaatlusinfo põhjal on välja kujunenud kosmoloogiline standardmudel. Kõige lihtsamal kujul sisaldab see üksnes kuut vaba parameetrit: nähtava ja barüonaine tihedus, Hubble'i parameeter, kaks esialgseid tihedushäiritusi kirjeldavat parameetrit ning kosmilise gaasi taasiooniseerimise hetk. Samas suudab säärane mudel kooskõllaliselt kirjeldada enamikku rikkalikust vaatlusmaterjalist. See on paisuva universumi mudel, kus algne tihe ja kuum kosmos on järk-järgult jahtudes läbinud mitu faasi-muutust. Alghäiritused, mis kasvavad gravitatsioonilise ebastabiilsuse tõttu ja loovad struktureeritud universumi, alates tähtedest ja planeetidest kuni galaktikate superparvedeni, on tekkinud väga varajase nn inflatsioonilise perioodi jooksul. Vast kõige üllatavam on selle mudeli juures asjaolu, et meile teada olev aine, millest kõik meid ümbritsev tehtud on, hõlmab ainult ligi 5% kogu universumi aine-energia bilansist. Ülejäänud on nn tumedad osad: peaaegu 25% tumeaine ja 70% tume energia. Selles kirjatükis keskendumegi peamiselt tumeainele. Erilist rõhku paneme ürgsetest mustadest aukudest tumeaine käsitlusele. Ent juttu tuleb ka gravitatsioonilainetest, millega on avanenud universumi uurimiseks täiesti uus aken.



Tumeaine

Paari aasta pärast saame tähistada tumeaine 90. aastapäeva. Nimelt, 1933. aastal analüüsis Šveitsi astrofüüsik Fritz Zwicky (1898–1974) galaktikate liikumist Coma galaktikaparves. Coma parv on üks lähimatest suurtest galaktikaparvedest, mis koosneb enam kui tuhandest galaktikast ning asub Maast umbes 300 miljoni valgusaasta kaugusel. Eldades, et Coma on enam-vähem tasakaalulises olekus süsteem, mis ei tõmbu kokku ega paisu, sai Zwicky selle uurimisel rakendada klassikalisest mehaanikast tuntud nn viriaalteoreemi, mis seob omavahel süsteemi potentsiaalse ja kineetilise energia. Teoreemi sisu on väga lihtne: mida suurem on süsteemi mass, seda suurem on vastav gravitatsiooniline potentsiaal, mis omakorda dikteerib graviteeruvate osade suuremaid kiirusi. Mõõtes galaktikate spektrijoonte nihetest galaktikate kiirusi, selgus, et need on oodatust märksa suuremad. Asjaolu viitas sellele, et peale nähtava massi pidi Coma parv sisaldama suurt hulgal nähtamatut graviteeruvat komponenti – tumeainet.

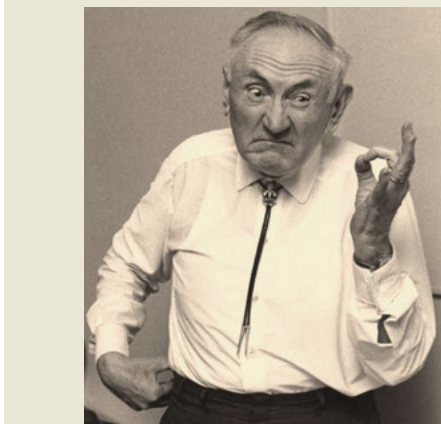
Mitu olulist suurust, nagu näiteks Coma parve kaugus, polnud tol ajal veel täpselt teada. Seetõttu erinevad Zwicky tulemused märkimisväärselt tänapäevastest arvutustest. Sellest hoolimata on Zwicky esialgne järeldus igati korrektne ja kui kedagi üldse tumeaine avastajaks nimetada, siis just teda.

Zwicky uurimistöö tumeainest oli tollal oma ajast mitukümmend aastat ees ega pärinud üldsuse erilist tähelepanu. Alates 1960. aastatest hakkas esile kerkima vajadus tuua universumi kirjeldamisel sisse tumeaine. Tõuna uuriti tumeainet peamiselt galaktikate pöörlemiskõverate mõõtmise kaudu. Seejuures tuleb tingimata mainida Vera Rubinit (1928–2016). Selgus, et spiraalgalaktikate pöörlemiskiirus püsis üsna muutumatuna ka suurte kaugustel, kus nähtava aine panus oli juba järsult kahanenud. See kinnitas selgelt ulatuslike tumeainehalode olemasolu. Alates 1970. aastatest on tumeaine otsingutesse suuresti panustanud akadeemik Jaan Einasto koos oma kolleegide ja õpilastega.

ÜLIANDEKAS JA VASTUOLULINE FRITZ ZWICKY

Fritz Zwicky oli Bulgaarias sündinud Šveitsi astrofüüsik. Tegemist on läbi aegade ühe geniaalseima astrofüüsikuga. Ta avastas tumeaine, kuid teda võib pidada ka neutrontähtede ja supernoovade vaarisaks. Koostöös Saksa astronoomi Walter Baadega (1893–1960) esitas ta 1934. aastal idee, et supernoovad võivad olla põhjustatud kaugele arenenud tavaliste tähtede kokkuvarisemisest neutrontähtedeks. Seda vaid kaks aastat pärast seda, kui James Chadwick (1891–1974) oli avastanud neutroni. Geniaalsusest hoolimata oli Zwicky äärmiselt vastuoluline ja vahel väga konfliktne. Näiteks läks ta lõplikult tülli varase kolleegi Baadega. Oma vaenlasi tavatses ta kutsuda „sfäärilisteks ebarditeks”: vaata neid, mis suunas tahad, ikka jäävad ebarditeks.

Zwicky oli üks varastest universumi suuremastaabilise struktuuri vaatluslikest uurijatest. Ta andis 1960. aastatel välja galaktikate ja galaktikaparvede kataloogi, mis hõlmas teavet ligikaudu 30 000 galaktika ja 9000 galaktikarühma või -parve kohta. Ta avastas üle 120 supernoova. Säärane vaatlusvõime sai realiseeruda alles pärast seda, kui oli võetud kasutusele Naissaarelt pärit Bernhard Schmidti (1879–1935) välja töötatud kaamera, nüüdseks tuntud kui Schmidti kaamera. •



WIKIPEDIA

Arvutiimatsioonipilt näitab, kuidas ülimalt massiivse ehk enam kui 10 000 Päikese massiga musta augu gravitatsiooniväli moonutab taustal olevalt galaktikalt tulevat valgust. Musta augu ümber tekkinud gravitatsiooniläätis paljastab muidu inimsilmale nähtamatu kosmilise keha silueti

Vajadus tumeaine järele lähtub väga eri skaaladelt, alates galaktikatest ja galaktikaparvedest kuni kosmilise taustkiirguse fluktuatsioonidest mõdetud suurimate skaaladeni. Seejuures saadakse kooskõlalisi tulemusi, rakendades täiesti erisuguseid vaatlusmeetodeid, näiteks tähtede ja galaktikate dünaamika meetodeid, või mõttes galaktikaparvi täitva gaasi röntgenikiirgust ja kiirgusspektri mikrolainepiirkonnas esinevat nn Sunyaev-Zeldovichi moonutust (kiirgusvälja moonutus, mis tekib, kui parv läbib kuumat gaasi), analüüsides kosmilise reliktikiirguse fluktuatsiooni ja mõttes ainekuhjumite tekitatud gravitatsiooniläätse efekti.

Arvatavasti kõige veenvam tumeaine olemasolu argument tuleneb universumi tihedushäirituste arengust. Varased häiritused meile nähtavas aines on kosmilise taustakiirguse mõttest väga täpselt teada. Need häiritused on sedavõrd väikesed, umbes üks osa sajast tuhandest, et kui kogu aine oleks tavalise aine kujul, siis ei jõuaks rikkalik kosmiline struktuur välja areneda. Tumeaine pakub loomuliku lahenduse sellise ülesehituse tekke kohta: muu ainega väga nõrgalt vastastikmõjustudes, seega kiirgusrõhku tundmata, saab see gravitatsiooniliselt hakata märksa varem kuhjuma. Nähtav aine aga kukub hiljem tumeaine moodustatud struktuuridesse, tehes võimalikuks vaatlustega kooskõlalise häirituste arengu.

Universumi struktuuritekke analüüsi oluline eeldus on Einsteini üldrelativistliku gravitatsiooniteooria kehtivus. Mis siis, kui mõni muudetud gravitatsiooniteooria võimaldaks häirituste kiiremat kasvu selgitada tumeainet sisse toomata? Tuleb välja, et tumeainest nii lihtsalt ei pääse. Tumeaineta oleks varase universumi barüonfootongaasis levivate helilainete panus hilise kosmose fluktuatsioonide spektrisse liiga suur. Seepärast võiks sobida vaid muudetud gravitatsiooniteooriad, mis sisaldaksid tumeainega samamoodi käituvat nn külma tolmu sarnast osa.

Loomulikult kerkis otsekohe küsimus, kas tumeaine võiks koosneda mõnest meile teadaolevast osakestefüüsika standardmudeli osakesest. Ühe esmase tumeaine kandidaadina käidi välja neutriino.

1980. aastate alguses Moskvast tehtud katses mõõdeti elektronneutriino massiks ligikaudu 30 elektronvolti

(elektronvolt ehk eV on osakestefüüsika massiühik; 1 eV on ligikaudu $1,78 \times 10^{-33}$ grammi). Sellise massi korral (ning arvestades neutriinode oodatava arvtihedusega) saaks tumeaine kogumassi väga edukalt seletada. Siiski selgus, et selline mudel ei toimi, sest niivõrd kerged neutriinod käituvad kuumat tumeainena, mille korral algaks struktuuri teke superparvede skaalal ja universumi ehituse väiksemad osad galaktikad ja galaktikaparved tekiksid hilisemas arengufaasis suurte struktuuride killustumisel. Selline struktuuritekketsenaarium on vastuolus vaatlustes nähtava, n-ö alt üles arenguga, kus tekivad esmajärjekorras väikesed kääbusgalaktikate mõõtu ehituskivid, mis panevad hierarhilise arengu käigus liitudes aluse üha suurematele struktuuridele.

Lõpuks selgus, et Moskva-eksperimenti tulemusi ei suudetud kusagil korrata ja neutriinod kui peamine tumeaine kandidaat lükati kõrvale.

Neutriinode (elektron-, müü- ja tau-neutriinode) massi mõõtmine on endiselt väga aktuaalne. Neutriino-ostsilatsioonide eksperimentides saab kahjuks mõõta ainult massi ruutute erinevusi. Absoluutse massi skaalal on need katsed aga tundetud. Praegu tulenevad parimad absoluutse massi piirangud just kosmoloogilistest vaatlustest. Nende järgi ei tohi eri tüüpi neutriinode masside summa ületada 0,12 elektronvolti. Sellise massiga neutriinod saavad hõlmata üksnes väikese osa tumeainest – kogu neutriinodes olev mass on ligikaudu võrreldav tähtede kogumassiga.

Valdav osa tumeainest peab siiski olema külm (või leige/soe), ehk osakeste termilised liikumised (rõhk) peavad olema piisavalt väikesed, et suuremastaabiline struktuur saaks areneda eespool kirjeldatud hierarhilisel alt üles moel.

Välistades neutriinod peamise tumeaine kandidaadina, tuleb tõdeda, et osakestefüüsika standardmudel on sel-

Välistades neutriinod peamise tumeaine kandidaadina, tuleb tõdeda, et osakestefüüsika standardmudel on sellega ammendatud ja võimalik kandidaat saab tulla ainult väljastpoolt, avades tee uue füüsika juurde.

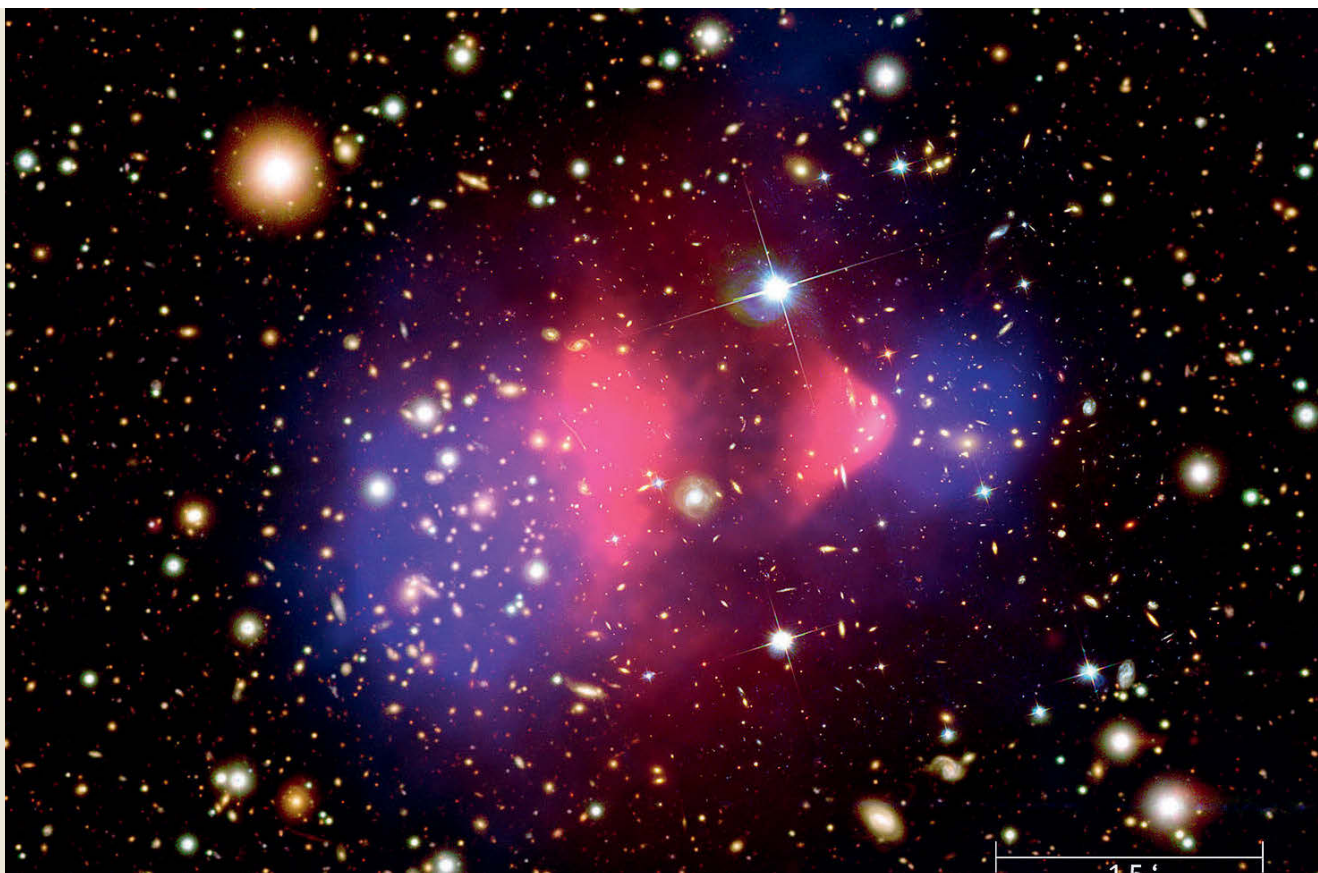
lega ammendatud ja võimalik kandidaat saab tulla ainult väljastpoolt, avades tee uue füüsika juurde. Standardmudelit saab väga mitmel viisil laiendada. Arvestades, et teame tumeainest väga vähe, on sobituvate kandidaatide nimekiri väga rikkalik.

Tumeaine ja nähtava aine kohta käivate teadmiste eri hulka aitab hoomata ilmekas näide. Nimelt, meile teadaoleva aine füüsika lühiretsepti võib väikest tähesuurust kasutades kirja panna umbes ühel A4-suurusel leheküljel. Tumeaine kohta, eeldades, et selle koguhulk on antud välise parameetrina, võime kirja panna ainult ühe rea: efektiivne rõhk on ligikaudu võrdne nulliga ($p \approx 0$).

Enamasti eeldatakse, et peale gravitatsiooni mõjustub tumeaine nähtava ainega või iseenesega ka mingil muul viisil. Vastastikmõju nähtava ainega on loomulikult väga tugevalt piiratud – tegemist on ju tumeainega! Seevastu tumeaine enesevastastikmõju võib olla üllatavalt suur. Näiteks pörkuvate galaktikaparvede süsteem, mis on tuntud ka kui Kuuli parv (ingl *bullet cluster*), annab enesevastastikmõju ristlõike piirangu $1 \text{ cm}^2/\text{g}$, mis on tuumafüüsika ristlõigetega samas suurusjärgus.

Tumeosakese mass ja vastastikmõju täpne olemus ning tugevus võivad varieeruda mitu suurusjärku. Eksperimentide tundlikkus on üldjuhul aga piiratud suhteliselt kitsastes parameetrite ruumi piirkondadesse. Seega on meie suutlikkus tumeainet detekteerida väga tugevalt piiratud. Veidi koomiliselt võiks seda olukorda võrrelda pubist koju tuleva raskes joobes mehega, kes otsib kaduma läinud võtmeid tänavalaterna valgusvihus.

Õigupoolest ei ole pilt siiski nii hull, sest tumeaine otsimiseks on olemas eelistatumad parameetrite ruumi piirkonnad. Alljärgnevalt anname lühikäikvaate aastate jooksul enim tähelepanu pälvinud tumeainekandidaatidest. Üldiselt peetakse asjakohasemaks mudeleid, mis püüavad käsikäes tumeaine probleemiga lahendada veel mõnd teist osakestefüüsika, astrofüüsika või kosmoloogia küsimust, andes seega standardfüüsikale kompaktsemaid ja miks mitte ka elegantsemaid laiendusi. Sellest hoolimata ei tohiks unustada kõrbesipelga näidet, millega kirjutist alustasime. Miski ei garanteeri meile elegantselt lihtsat tumedat sektorit!



GALAKTIKAPARV KUI KOSMILINE PÖRGUTI

Galaktikaparv 1E 0657-56, enamasti tuntud kui Kuuli parv (ingl *bullet cluster*), koosneb tegelikult kahest pörkuvast galaktikaparvest, mis asuvad meist umbes 3,7 miljardi valgusaasta kaugusel. Parvede ligikaudne mass on vastavalt 3×10^{14} ja 2×10^{14} Päikese massi.

Kuuli parv on suurepärane näide selle kohta, kuidas pörkevabad süsteemiosad – tähed ja tumeaine – käituvad erinevalt vahetult vastastikmõjustuvast osisest ehk parve täitvast kuumast röntgenigaasist. Sellel liitpildil on spektri nähtavas piirkonnas tehtud taevaülesvõttele lisatud röntgenisignaali (pildi keskel nähtav roosa helendus) ning gravitatsiooniläätse efekti abil mõõdetud massi jaotus (kaks siniselt helendavat piirkonda).

See Kuuli parve pilt on arvatavasti üks paremaid ja lihtsamini hoomatavaid illustratsioone selle kohta, et galaktikaparved tõepoolest sisaldavad suurel hulgal nähtamatut, tähtedega samamoodi käituvat pörkevaba komponenti – tume-

ainet. Parved on pörkefaasi juba läbinud ja üksteisest eemaldumas. Enamik massist on koondunud pildil siniselt helendavatesse piirkondadesse, mis on pörkel lihtsalt üksteisest läbi lennanud. Seal on ka hulgaliselt parvi moodustavaid galaktikaid, ent nende mass on siiski tühine võrreldes gravitatsiooniläätse efekti abil leitud kogumassiga. Parvi täitev gaas on pörkumise tõttu tunduvalt aeglustunud ja peamistest massiosadest selgelt eraldunud. Gaasis levivate lööklainete, nn Machi koonuste helenduse ja välisehituse üksikasjalik uuring annab parvede suhteliseks eraldumiskiiruseks ligikaudu 4500 km/s (s.o umbes 1,5% valguse kiirusest).

Kuuli parv pakub ka suurepärase võimaluse mõõta tumeaine enesevastastikmõju. Vastava mõjuristlõike piiiranguks saadakse 1 cm²/g. Ehkki see on parvegaasi elektromagnetilise vastastikmõjuga võrreldes väike, on siiski tegemist tuumafüüsika ristlõigetega samasse suurusjärku jääva suurusega. Seega võib tumeaine enesevastastikmõju olla üllatavalt suur. •

Huvipakkuvad ürgsed mustad augud

Juba aastakümneid on ürgseid musti auke peetud populaarseks tumeaine kandidaadiks. Kui 2015. aastal avastati gravitatsioonilained, elavnes mustade aukude uurimine tunduvalt. Teiste tumeainekandidaatidega võrreldes on ürgsete mustade aukude eelis see, et meil pole vaja leida mingit seni tundmata objekti või osakest. Gravitatsioonilainete täppismõõtmised ei jäta kahtlust, et need esmapilgul eksootilised

üldrelatiivsusteooria lahendid on looduses tõepoolest olemas. Astrofüüsikast on teada mitu mustade aukude tekke kanalit, alates Päikese massiga võrreldavas skaalas olevatest aukudest kuni galaktikate keskel paiknevate üli-

Teiste tumeainekandidaatidega võrreldes on ürgsete mustade aukude eelis see, et meil pole vaja leida mingit seni tundmata objekti või osakest.

massiivsete mustade aukudeni. Ka varases universumis on mitu võimalust tekitada musti auke.

Must auk on astronoomiline keha, millel on sedavõrd tugev gravitatsiooniväli, et sellest ei pääse miski välja, kaasa arvatud valgus. Musta augu pinna nimetatakse sündmuste horisondiks. Et horisondi taga toimuva kohta info meieni ei jõua, võiks musti auke pigem lahti mõtestada kui sündmuste horisondiga ümbritsetud ruumi piiirkondi.

Esimesena ennustas mustade aukude olemasolu Saksa astrofüüsik Karl Schwarzschild (1873–1916) aastal 1916, tuginedes aasta varem formuleeritud Einsteini üldrelatiivsusteooriale. Mõõdunud sajandi esimesel poolel arvas mitu füüsikut, kaasa arvatud Einstein, et mustad augud on pigem väljavõranditest tuletatud matemaatiline veiderus kui miski, mida looduses tegelikult leiduda võiks. Juba 1930. aastatel näitasid Subrahmanyan Chandrasekhari (1910–1995) ja Richard Tolmani (1881–1948) ning Robert Oppenheimeri (1904–1967) ja George Volkofi (1914–2000) arvutused, et kui tähe mass ületab teatud piiri, siis ei suuda selle sisemine rõhk tuumakütuse lõppedes raskusjõule vastu panna, millele järgneb tähe kokkuvarisemine.

Nende arvutuste loogiline järeldus oleks, et kokkukukkumise tagajärjel tekib must auk. Aga 1930. aastatel ignoreeriti seda tulemust suurel määral. Alles sajandi teisel poolel näitas Roger Penrose'i mullu Nobeli füüsikaauhinna pärjatud töö veenvalt, et gravitatsiooniline kollaps võib tõepoolest lõppeda mustade aukude tekkega.

Praeguseks on mustade aukude olemasolu üldtunnustatud. Astronoomilised vaatlused näitavad, et peaaegu iga galaktika tuumas paikneb ülimalt siivne must auk. Hiljuti, aastal 2019, suudeti galaktika M87 keskmist ülimalt siivset musta auku ka raadioteleskoopide abil pildistada. Samuti on gravitatsioonilainete abil nüüdseks nähtud üle 50 musta augu ühinemist. Need mustad augud on kõigest mõnikümne korda raskemad kui Päike – tõelised sulgkaallased võrreldes Päikesest kuni miljardeid kordi raskemate ülimalt siivsete mustade aukudega.

Viimase aastakümne eksperimentaalfüüsika areng esotsas gravitatsioonilainete avastamisega LIGO interferomeetritega ja gravitatsioonilainete astronoomia teke on toonud mustad augud fundamentaalfüüsika eesliinile. Meie teoorium on esimene, kes selle uue teadussuuna Eestis tegelema hakkas.

Kui 10 000 Päikese massiga ürgsed mustad augud hõlmaks üksnes väga väikese osa tumeainest, oleks see puuduv lüli universumi ülesehituse tekkes.

Peale tumeaine olemuse lahendamise võivad ürgsed mustad augud anda vastuse ülimalt siivsete mustade aukudega seotud küsimustele. Nimelt pole praegu teada, kuidas need galaktikate keskmes paiknevad mustad augud on nii suureks kasvanud. Et nende mass suureneks tänu gaasi „söömisele“ (akretsioonile) umbes 10^6 – 10^{10} Päikese massini, nii nagu kinnitavad galaktikate vaatlused, peab „seemneks“ olev must auk olema vähemalt 10 000 Päikese massiga. Tähetekkelised mustad augud on aga liiga kerged,

vaid kuni saja Päikese massiga. Kui 10 000 Päikese massiga ürgsed mustad augud hõlmaks üksnes väga väikese osa tumeainest, oleks see puuduv lüli universumi ülesehituse tekkes. Seega on ürgsed mustad augud väga olulised ka siis, kui need hõlmavad ainult tühise osa universumi ainest. Siiani puudub teaduslik üksmeel nii gravitatsioonilainete kaudu jälgitud kui ka galaktikate keskmistes paiknevate mustade aukude päritolu ja tekkemehhanismide kohta.

GRAVITATSIOONILINE KOLLAPS JA MUSTAD AUGUD

Kogu universumis eksisteeriv struktuur – alates galaktikaparvedest ja galaktikatest, tähtedest ja planeetidest kuni meie endini – on saanud alguse alghäirituste gravitatsioonilisest ebastabiilsusest. Gravitatsioon püüab algseid ületihedusi võimendada. Piltlikult öeldes kehtib ka siin põhimõte, et rikkad saavad rikkamaks ja vaesed jäävad vaesemaks. Seda kõike suudab vastastikmõju, mis on kõigist teistest tuntud vastastikmõjudest tohutult palju nõrgem! Võrdluseks võiks esile tuua, et gravitatsioon on nõrgast vastastikmõjust, mis põhjustab näiteks aatomituumade radioaktiivset lagunemist, ligi 10^{25} korda nõrgem. Seevastu elektromagnetilisest vastastikmõjust, mis hoiab koos aatomeid ja molekule, on see peaaegu 10^{37} korda nõrgem. Tugevast vastastikmõjust, mis hoiab koos aatomituumadega, on aga gravitatsiooniline vastastikmõju koguni 10^{39} korda nõrgem. Kogu trikk seisneb selles, et erinevalt tugevast ja nõrgast vastastikmõjust on gravitatsioon kaugele ulatuv vastastikmõju ning erinevalt elektromagnetismist, mis on samuti suure mõjuraadiusega, ei saa gravitatsiooni varjendada – selleks oleks vaja negatiivseid masse. Seetõttu ei ole gravitatsioonile piisavalt suurte mastaapide või piisavalt suurte ainehulkade korral vastast.

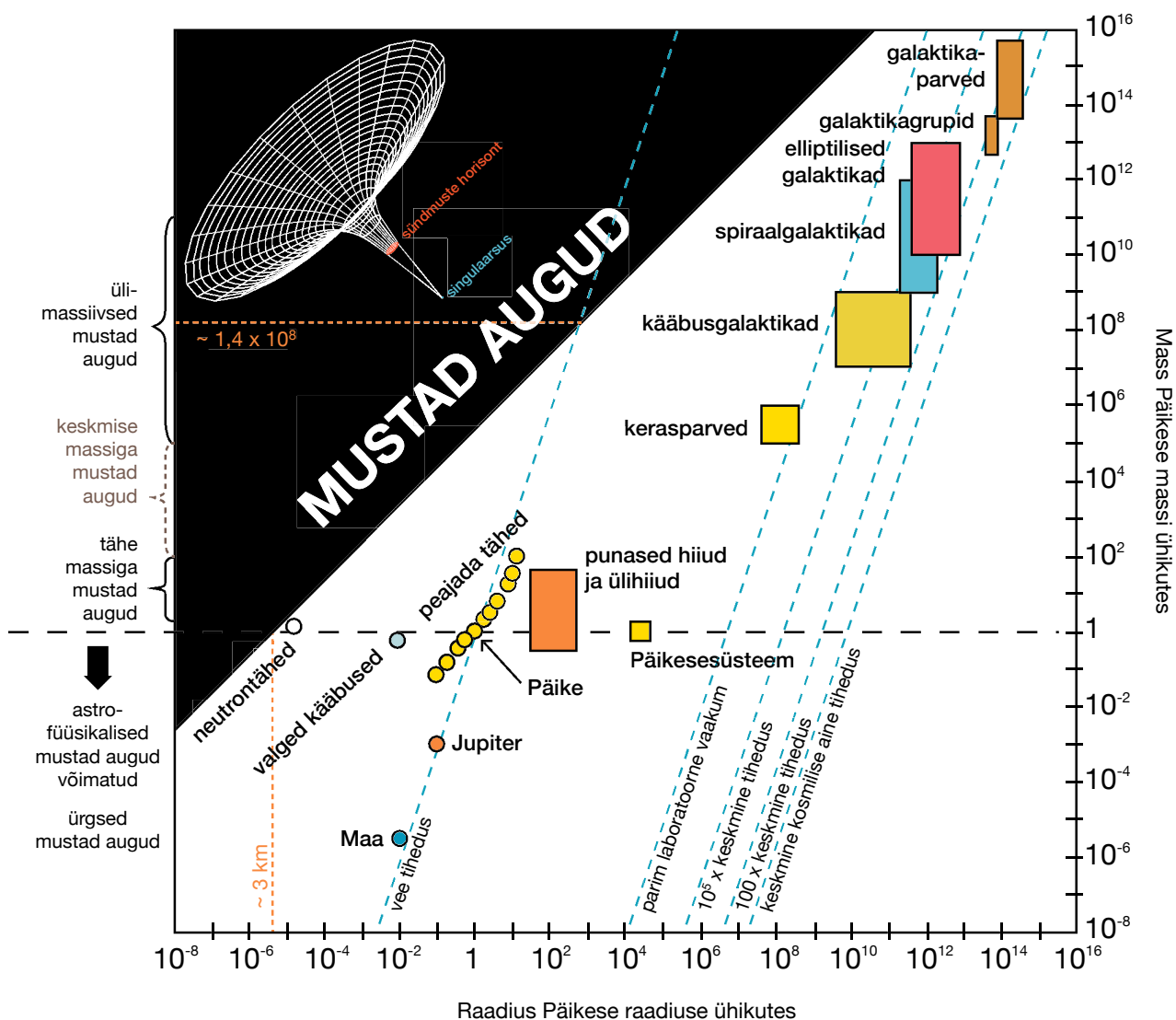
Gravitatsioonilist kollapsit saab peatada ainult kokkutõmbuva objekti sees tekkiv efektiivne rõhk. Nõnda saavutatud tasakaal on rangelt võttes siiski vaid kvaasitasakaal. Nimelt, kui objekt saab kiirata ära energiat (seda ta enamasti saab!), näiteks massi või kiirgusena, siis tõmbub ta kokku ja seega muutub tema gravitatsiooniline seotus üha tugevamaks. Efektiivne rõhk (või temperatuur) peab aga uue tasakaalu saavutamiseks olema üha suurem. Siit järeldub üks huvitav fakt isegravitee-

ruva süsteemi kohta: isegraviteeruva süsteemi on negatiivne soojusmahtuvus – energiat ära kiirates süsteem aina soojeneb. Energiat kiirgava süsteemi korral saab tasakaalulist olekut hoida vaid seniks, kuni jätkub protsesse, mis suudaksid vajaminevat rõhku üleväl hoida ja kiiratud energiat kompenseerida. Kui madalamatel temperatuuridel toimuvad protsessid lakkavad, tõmbub objekt kokku, temperatuur tõuseb ja lülituvad sisse üha järgmised, juba kõrgematel energiatel toimivad protsessid. Mingil hetkel tuleb aga sein ette ning rõhu tekkeks vajalikke mikrofüüsikalisi protsesse enam võtta ei ole. Tagajärg on objekti kokkuvarisemine mustaks auguks.

Ehkki mustade aukude tõelise olemuse mõistmiseks on mõõdapääsmatu tunda üldrelatiivsusteooriat, saab näiteks mittepöörleva musta augu pinna ehk seda ümbritseva sündmuste horisondi suuruse leida ka lihtsat Newtoni mehaanikat kasutades.

Juuresoleval joonisel on kujutatud valik kosmilisi struktuure suuruse ja massi tasandil. Suurus ja mass on siin antud vastavalt Päikese raadiuse ja Päikese massi ühikutes. Toodud on ka mõnede konstantsetele tihedustele vastavad jooned: universumi keskmine ainetihedus, 100 ja 10^5 korda keskmist tihedust, parim laboratoorne vaakum ja vee tihedus. Halliks värvitud piirkond tähistab parameetrite ruumiosa, kus mustaks auguks kokkuvarisemine on vältimatu. Kõige massiivsemad objektid meie universumis, mis on suureskaalalisest paisumisest eraldunud ja oma elu elama hakanud, on galaktikaparved.

Kosmoloogilises standardmudel is leiab see aset umbes sajakordsel ületihedusel (ületihedus – tihedus keskmise ainetiheduse ühikutes). Ka galaktikate tekkimise hetkel oli nende tihedus umbes sada keskmist ainetihedust.



Galaktikad tekisid galaktikaparvedest tunduvalt varem: siis, kui universum oli märksa tihedam, seega ületab nende keskmine tihedus umbes 10^5 korda kogu aine keskmist tihedust (pärast paisumise eraldumist ja nn virialiseerumist püsib objekti tihedus muutumatu, erinevalt taustauniversumi tihedusest).

Galaktikates ja galaktikaparvedes tekitab gravitatsiooni tasakaalustava efektiivse rõhu peamiselt tumeaine kaootiline liikumine, mis võib tumeaine mikrofüüsikast olenevana püsida muutumatuks väga kaua. Seevastu galaktikate tavaline aine saab jahtuda, moodustada tihedaid molekulaarpilvi, millest omakorda arenevad tähed ja täheparved. Tähtede tüüpiline tihedus on lähedane vee tihedusele. Tähearengu lõppsaadused on aga märkimisväärselt tihedamad. Näiteks tähed, mille algne mass on väiksem kaheksa Päikese massist, lõpetavad oma elu valgete kääbustena: objektidena, mille mõõtmed sar-

nanevad Maa omadega, ent massid võivad küündida kuni 1,4 Päikese massini (tavaliselt piirduvad siiski 0,6 Päikese massiga). Kui tähe algne mass jääb vahemikku 8–25 Päikese massi, siis lõpetab täht oma teekonna neutrontähena, mille raadius on umbes 10 km ning mass 1–2 Päikese massi (tüüpiliselt ligemale 1,4 Päikese massi).

Kui tähe algne mass ületab 25 Päikese massi piiri, siis variseb ta vältimatult kokku mustaks auguks.

Nagu jooniselt näha, on neutrontäht musta augu piirile päris lähedal. Päikese massiga objektile vastavast Schwarzschildi raadiusest, mis on ligikaudu 3 km, lähtub, et ligi 10-kilomeetrise raadiusega neutrontähe muutmiseks mustaks auguks tuleks seda kokku suruda veel umbes kolm korda. Päikese massiga objektide korral on need tihedused hoomamatult suured. Ent suuremate mustade aukude tekkeks vajaminevad tihedused on tublisti väiksemad. Näiteks 10^8 Päikese massi korral jääb

vastav tihedus vee tiheduse kanti.

Joonise vasakul serval on ära toodud mustade aukude tüüpiline klassifikatsioon: tähe massiga mustad augud jäävad vahemikku ligikaudu 3–100 Päikese massi; vahepealse massiga aukude all mõistetakse objekte massiga 10^5 – 10^2 Päikese massi; mustad augud massiga üle 10^5 Päikese massi liigitatakse ülimassiivseteks. Erinevalt vahepealse massiga mustadest aukudest on ülimassiivsed ja ka tähe massiga mustad augud vaatlustest hästi teada. Väga võimalik, et looduses vahepealse massiga musti auke ei olegi. Sel juhul ei saaks ülimassiivsed mustad augud tekkida algetest tähe massiga aukudest aine akretsiooni tulemusena ning nende tekkeks tuleks leida mõni muu viis. Praegu toetatakse kõige rohkem ülimassiivsete mustade aukude tekke ehk nn otsese kollapsi mudelit, kus juba algne tekkinud auk on ligikaudu 10^5 Päikese massiga. •

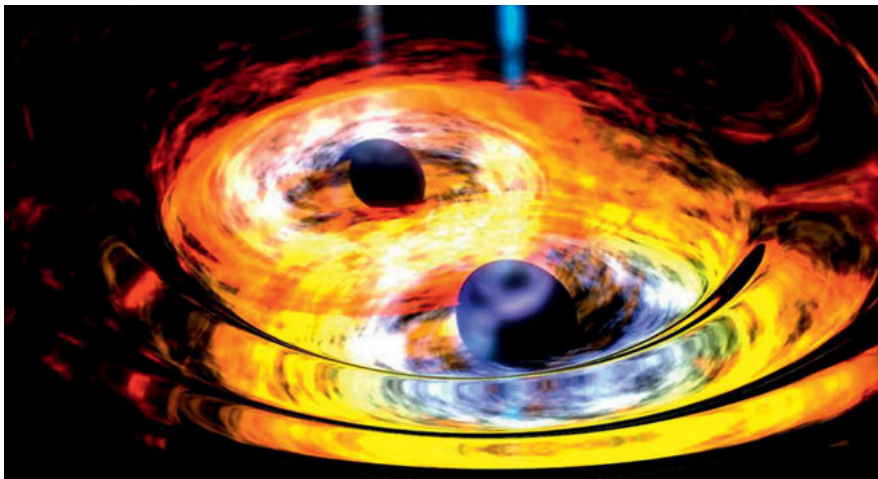
Millised mustad augud on ürgsed?

Musti auke võib päritolu järgi liigitada ürgseteks ja tähetekkelisteks. Viimased tekivad kustuvate tähtede gravitatsioonilise kollapsi tagajärjel, ent esimesed pärinevad perioodist, kui universum oli ülinoor, vähem kui sekundi vanune. Ürgsete mustade aukude idee pole uus. Selle pakkus välja Stephen Hawking (1942–2018) aastal 1971. Siiski on mustad augud täielikult kirjeldatud nende massi ja pöördeimpulsiga. Pole vahet, kas need moodustusid nähtavast aineist või mõne eksootilise tumeaine osakestest. Kõik sama rasked ja sama kiiresti pöörlevad mustad augud on identsed. Kuidas siis vahet teha, millised mustad augud on ürgsed ja millised tähetekkelised?

Et sellele küsimusele vastata, tuleb esmalt vaadelda ürgsete mustade aukude teket. Lühidalt, ürgsed mustad augud moodustuvad varajase universumi ületiheduste gravitatsioonilise kokkukukkumise tulemusel. Uurime seda väidet lähemalt.

Nagu öeldud, mida kaugemale ajas tagasi liikuda, seda tihedam ja kuumem oli maailmaruumi täitev aine. Samuti oli aine minevikus palju ühtlasemalt jaotunud. Küsimusele, miks oli aine jaotunud just nii, aitab vastata kosmoloogilise inflatsiooni teooria, mille järgi paisus universum oma esimese 10^{-32} elusekundi jooksul eksponentsiaalselt kiirenevalt. Kvantfüüsika ütleb, et absoluutne paigalseis on võimatu. Nii pidi kvantefektide tõttu fluktueerima ka tol perioodil maailmaruumi täitev materia. Need väikesed kvantfluktuatsioonid võtsid ruumi paisumise tõttu astronoomilise mõõtmed ja panid aluse suuremastaabilistele kosmoloogilistele struktuuridele. Esmased tihedushäiritused pidid suurtel pikkusskaaladel olema võrdlemisi väikesed. Seevastu väikesematel skaaladel võisid tekkida piirkonnad, mis olid keskmisest tunduvalt tihedamad. Just sellised piirkonnad võisid hiljem, kui paisumine oli piisavalt aeglustunud, mustadeks aukudeks kokku kukkuda. Isegi kui säärased suured ületihedused on ruumis väga hõredalt jaotunud, võivad need tekitada piisavalt ürgseid musti auke, et seletada kogu tumeainet.

Eespool kirjeldatud idee kõrval on ka teisi, kosmilisest inflatsioonist eraldi seisvaid teoreetilisi raamistikke, mis ennustavad suuri ebataasusi varajase universumi aine jaotuses ja või-



NASA

Teineteise ümber tiirlevad ja ühinevad mustad augud kiirgavad gravitatsioonilaineid

maldavad seega ürgsete mustade aukude teket. Seega pole teooria kuigi piirav: ürgsete mustade aukude mass võib varieeruda üle 30 suurusjärgu: grammidest mitmekümne tuhande Päikese massini. Selles teoreetilisest vabaduses peitub esimene vihje esialgsele küsimusele: kuidas eristada tähetekkelisi musti auke ürgsetest? Nimelt puuduvad astrofüüsikas protsessid, mis võimaldaksid tekitada musti auke, mis on kergemad kui paar Päikest. Kõige veenvam eksperimentaalne tõestus ürgsete mustade aukude olemasolu kohta oleks Päikesest kergemate mustade aukude avastamine.

Siiani nii kergeid musti auke nähtud ei ole.

Mustadest aukudest koosnev tumeaine

Kui mustadest aukudest miski välja ei pääse, siis kuidas saaksime neid näha, et kontrollida mustadest aukudest koosneva tumeaine hüpoteesi? Ilmneb, et on mitu võimalust.

Alustuseks, väide, et mustad augud ei kiirga, pole päris õige. Tõepoolest, klassikaline üldrelatiivsusteooria ei lase isegi valgusel mustast august pääseda. Aga kui võtta arvesse kvantfüüsikat, siis selgub, et mustal augul on temperatuur, mistõttu ta kiirgab nagu tavaline must keha. Kusjuures kergemad mustad augud on kuumemad ja kiirgavad intensiivsemalt. Seetõttu ei saa tumeaine koosneda ürgsetest mustadest aukudest, mis on kergemad kui

sada miljardit tonni. Need oleks praeguseks kogu oma massi ära kiiranud ehk aurustunud.

Kuigi raskemad mustad augud ise praktiliselt ei kiirga, võib seda teha musta auku sisse langev kuum aine. Kui selliseid musti auke oleks liiga palju, kuumutaks nende akreteeritav aine üles maailmaruumi täitva gaasi. Raskemad mustad augud akreteerivad tõhusamalt. See efekt võimaldab vaatluste abil välistada rohkem kui saja Päikese massiga ürgsetest mustadest aukudest koosneva tumeaine. Ürgsete mustade aukude akretsiooni füüsika kuulub ka meie tööühma uurimistemade hulka.

Mustade aukude raskusjõud painutab neist mööduvaid valguskiiri, põhjustades sellega gravitatsiooniläätse efekti. Kui must auk peaks meie ja mõne kaugel asuva tähe vahelt läbi lendama, paistaks see täht meile veidi heledamana. Kui tumeaine koosneks ürgsetest mustadest aukudest, mis on raskemad kui 10^{-11} Päikese massi, oleks niisuguste moonutuste sagedus liiga suur.

Teineteise ümber tiirlevad ja ühinevad mustad augud kiirgavad gravitatsioonilaineid. Kui kogu tumeaine koosneks mustadest aukudest massiga 0,2–800 Päikese massi, siis peaks ühinemise toimuma mõõdetust sagedamini. Kuidas gravitatsioonilainete abil ürgseid musti auke uurida, sellest räägime lähemalt järgmises alapunktis. Usaldusväärsed piirangud puuduvad ainult massivahemikus 10^{-16} – 10^{-11} Päikese massi. Seega, kui tumeaine koosneks ürgsetest mustadest aukudest, siis oleksid need umbes asteroidi massiga. Suuremate masside korral saavad need hõlmata vaid väikese osa tumeainest.

Ürgsed mustad augud moodustuvad varajase universumi ületiheduste gravitatsioonilise kokkukukkumise tulemusel.

VEEL POPULAARSEID TUMEAIN KANDIDAATE

WIMP-id (*Weakly Interacting Massive Particles*) – nõrgalt vastastikmõjuvavad massiivsed osakesed

Tegemist on vast läbi aegade enim tähelepanu pälvinud tumeainekandidaadiga. Valdav osa tumeainet otsivatest katsetest on keskendunud just nimelt WIMP-ide tuvastamisele. Nende mass on ligikaudu 100 gigaelektronvolti (GeV); juuresoleval joonisel paigutuvad nad elektronõrga skaala ümbrusesse. Massi skaalat on siiski võimalik veidi laiemaks venitada ning üldisemalt võib rääkida WIMP-ide kui osakestest, mille mass jääb vahemikku ligikaudu 1 GeV – 100 TeV (teraelektronvolti). Nende vastastikmõju nähtava ainega on tüüpiliselt sarnane nõrga vastastikmõju tugevusega. Seejuures on huvitav märkida, et niisuguse massi ja vastastikmõju tugevusega osakeste kosmiline arvukus tuleb just selline, et seletada loomulikult kogu vaadeldava tumeaine hulka. See asjaolu on tuntud nn WIMP-i imena (ingl *WIMP miracle*). Paljud osakeste standardmodeli laiendused annavad WIMP-ide hulka sobituvaid osakesi. Enim tähelepanu on pälvinud standardmodeli supersümmeetrilised laiendused, kus stabiilsuse tõttu on hea tumeainekandidaat kergeim superpartner. WIMP-ide otsingud on kestnud mitu aastakümnet, kahjuks eriliste tulemusteta (kui mõned anomaalsed, küsitava usaldusväärsusega tulemused kõrvalt jätta). Suur osa parameetrite ruumist on juba välistatud, ent alati jääb WIMP-il võimalus end seniks peita kontrollimata piirkondades. Universumi ülesehituse tekke seisukohalt on WIMP-id klassikalised nn külma tumeaine kandidaadid.

Steriilsed neutriinod

Standardmodeli neutriinod osalevad ainult nõrgas vastastikmõjus ning nad kõik on vasakukäelised: neil on liikumissuuna vastassuunalised spinnid. Paremakäelised osakesed nõrgas vastastikmõjus ei osale. Kui eksisteeriksid paremakäelised neutriinod, siis need saaksid vastastikmõjustuda ainult gravitatsioonilise vastastikmõju kaudu ja oleksid kõigi teiste vastastikmõjude mõttes steriilsed. Seega võiksid sellised osakesed olla ideaalsed tumeaine kandidaadid. Võrreldes näiteks supersümmeetriliste standardmodeli laiendustega, mis kahekordistavad osakeste arvu, on steriilse neutriino (või neutriinode) sisse toomine äärmiselt minimalistlik standardmodeli laiendus.

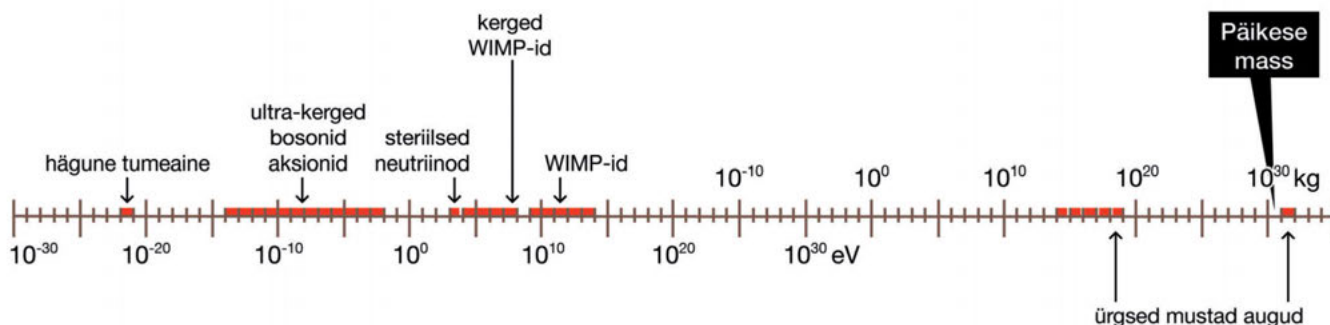
Peale tumeaine on steriilseid neutriinosid võimalik rakendada mitmel muul moel. Näiteks saab neid kasutada mudelites,

mis genereerivad aine ja antiaine vahelist asümmeetriat, võimaldades seega ainekoguse maailma teket. Tumeainega seoses pakub huvi juhtum, kui steriilne neutriino on piisavalt kerge, et võimaldada standardsest külmast aineist erinevat fenomenoloogiat. Kui steriilse neutriino mass on ligikaudu 1–10 kiloelektronvolti, siis käitub see nagu soe tumeaine, mis on olemuselt külma ja kuumade tumeaine vahelise juhtum. Soe tumeaine aitab leevendada mõningaid külma ainega kaasnevaid kosmoloogilisi probleeme: liialt suurt väikeste tumeaineklompide arvukust ning ka klompide liiga suurt tsentraalset kontsentreeritust.

Aksionid ja aksionilaadsed osakesed

Tugevat vastastikmõju kirjeldav teooria – kvantkromodünaamika (ingl *quantum chromodynamics*, QCD) – sisaldab nn CP-sümmeetriat (CP asendab osakese antiosakesega ja võtab peegelpildi) rikkuvaid liikmeid. Seevastu näitavad vaatlused CP-sümmeetria kehtivust tugevas vastastikmõjus. Miks CP-sümmeetria rikkumine ei avaldu? Seda näivat vastuolu on kõige loomulikum lahendada dünaamilise pseudoskalaarse aksionvälja abil. Tüüpiline QCD aksioni mass jääb ligikaudu vahemikku 10^{-5} – 10^{-3} eV. Erinevalt termilises tasakaalus osakestest, kus väiksem osakese mass vastab suuremale tüüpilisele liikumiskiirusele, käitub aksion hoolimata oma väga väikesest massist nagu külm tumeaine.

Aksionilaadseid kergeid skalaarvälju tuleb ette ka väljaspool kvantkromodünaamikast. Näiteks stringiteooria sisaldab hulgaliselt nn moduli-välju. Sellistele väljadele vastavate osakeste mass võib olla QCD aksioni massist suurusjärgu võrra väiksem. Erilist huvi pakub juhtum, kus mass on vaid ligikaudu 10^{-22} – 10^{-21} eV. Nii võrd väikeste masside korral avalduvad aine kvantmehaanilised laineomadused makroskoopilistel, siin lausa kiloparseki-suurustel skaaladel. Võrdluseks: Päikesesüsteemi kaugus Linnutee keskmele on ligikaudu 8 kiloparsekit. Selline tumeaine on tuntud hägusa tumeainena (ingl *fuzzy dark matter*). Samamoodi kui sooja tumeaine korral on ka siin eesmärk lahendada küsimused, mis seostuvad külma tumeaine kirjeldamisega suhteliselt väikeste mastaapides. Kui sooja tumeaine korral kõrvaldati seda tüüpi probleemid eeldusega, et osakesed liiguvad kiiremini, siis siin saavutatakse samalaadne efekt kvantmehaanilise laialimäärimise tulemusena. •



Joonisel on massiskaalaal esitatud mõned olulised tumeaine kandidaadid. Nagu näha, võib tumeaine koosneda ülakergetest osakestest massiga ligikaudu 10^{-22} kuni 10^{-21} eV kuni ürgsete mustade aukudeni, mille mass võib ulatuda peaaegu 100 või enama Päikese massini (s.o ligikaudu 10^{30} eV või enam). Seega katab võimalik massivahemik üle 90 suurusjärgu.

Steriilsete neutriinode ja hägusa tumeaine kohta on ära toodud vaid massivahemikud, kus tumeaine käitumine erineb külmast aineist piisavalt, võimaldades sellega lahendada mõned külma tumeainega kaasnevad probleemid. Ürgsete mustade aukude kohta on ära toodud kaks massivahemikku. Üksnes selle massivahemiku korral, mis jääb asteroidide massi piirkonda, saab kogu tumeaine olla ürgsete mustade aukude kujul. Teine massivahemik, kuhu kuuluvad märksa massiivsemad struktuurid, on erilist tähelepanu pälvinud LIGO ja Virgo detektoritega tuvastatud mustade aukude ühinemiste valguses.

Gravitatsioonilainetega musti auke jahtimas

LIGO ja Virgo interferomeetrid mõõdavad ülitäpselt kahe teineteise suhtes risti asetseva vaakumtoru otstes paiknevate peeglite vahelkaugust. Kui seda interferomeetrit läbib gravitatsioonilaine, siis muutub peeglitevaheline kaugus perioodiliselt. Just sellist kauguse võnkumist nähti esimest korda 2015. aasta 14. septembril. Signaali profiili võrdlus üldrelativistlike mudelitega sedastas, et selle oli tekitanud kahe umbes 30 Päikese massiga musta augu ühinemine üle miljardi aasta tagasi. Mustade aukude suur mass tuli paljudele astrofüüsikutele üllatusena.

Kuigi nüüdseks on selge, kuidas nii rasked mustad augud tähtedest tekkinud võiksid, on nende päritolu endiselt lahtine.

Ürgsed mustad augud võivad tekitada gravitatsioonilaineid mitut moodi. Esiteks võime näha ürgsete mustade aukude ühinemisi. Praegused detektorid võimaldavad jälgida musti auke massiga umbes 1–500 Päikese massi. See vahemik on mustade aukude kaugusest. Lähemal asuvad ühinemised tekitavad tugevama signaali ja seetõttu on neid kergem jälgida. Teiseks tekivad gravitatsioonilained ka varajases universumis seoses ürgsete mustade aukude moodustumisega. Niisugused gravitatsioonilained täidavad kogu ruumi ja moodustavad gravitatsioonilaine-taustkiirguse. Vaatleme kumbagi võimalust eraldi.

Et vastata küsimusele, kas tuvastatud gravitatsioonilained pärinevad ürgsetelt või tähetekkelistelt mustadelt aukudelt, tuleb uurida, kuidas tekivad mustade aukude paarid. Nagu ürgsed mustad augud, moodustuvad need varajases universumis. Vahetult pärast tekkimist liiguvad mustad augud ruumi paisumise tõttu teineteisest eemale. Mustade aukude paarid saavad moodustuda alles siis, kui ruumi paisumine muutub piisavalt aeglaseks, et lähedikkude paiknevad mustad augud hakkaksid tundma teineteise gravitatsioonilist tõmmet. Enamik varajases universumis moodustunud paaridest pörkub teiste mustade aukudega. Vaid üksikud jäävad järgneva 13 miljardi aasta jooksul segamatult teineteise ümber tiirlema. Need mustade aukude paarid kaotavad gravitatsioonilaineid kiirates energiat ja lähenevad teineteisele aegamööda, kuni lõpuks ühinevad. Üksnes viimaseid mustade auku-



Selle artikli autorid (vasakult) Gert Hütsi, Hardi Veermäe ja Martti Raidal pälvisid silmapaistvate tulemuste eest mustade aukude füüsika uurimisel täppisteaduste valdkonnas riigi 2021. aasta teaduspreemia

de paare saab jälgida gravitatsioonilainete detektoritega.

Paaride teke ja nende edasine areng, sealhulgas pörked teiste mustade aukudega, on keeruline mittelineaarne probleem, mille edasiarendus oli üks meie töörühma olulisi panuseid. Nüüdseks on meie osalusel välja töötatud teoreetiline raamistik saanud ürgsete mustade aukude paaride ühinemissageduse hindamise standardiks. Töö ühe põhitulemusena selgus, et kui tähe massiga ürgsed mustad augud hõlmaksid kogu tumeaine, oleks LIGO-Virgo interferomeetrid pidanud nägema tunduvalt rohkem ühinemisi. See seab tugevad piirangud ürgsete mustade aukude hulga: ürgsed mustad augud massiga 2–400 Päikese massi ei saa hõlmata tumeainest üle 0,2%.

Uurides mustade aukude üldkogumit tervikuna, on võimalik teha nende päritolu kohta täpsemaid järeldusi. Nimelt, kui isegi ainult 0,2% tumeainest koosneks ürgsetest mustadest aukudest, võinuks LIGO-Virgo eksperiment näha just neid musti auke. Selgus, et nähtud masside jaotus ei klapi hästi ürgsete mustade aukude teoreetilise ennustusega, mistõttu on valdav osa ühinemistest tõenäoliselt tähetekkelised. Lõplike järeldusi teha on veel liiga vara. Selleks tuleb rohkem andmeid koguda.

Lõpetuseks põgusalt ka gravitatsioonilaine-taustkiirguse vaatlustest. Möödunud aasta septembris teatati USA-Kanada eksperimendi NANOGrav põhjal, et on avastatud võimalik gravitatsioonilainete signaal. Selle eksperimendiga jälgitakse kaugetelt pulsari-telt pärinevaid ülitäpseid perioodilisi

raadiosignaale. Maad läbivad gravitatsioonilained võivad muuta maa kella- kulgu, mistõttu saab neid tuvastada, otsides kõrvalekaldeid näiteks kosmiliste pulsarite võnkeperioodis. Just sellist signaali NANOGrav mõõtiski.

Sääraste gravitatsioonilainete päritolu on teadmata. Neid võisid kiirata teineteise ümber tiirlevad ülimate ühinemised mustad augud. Alternatiivse selgitusena näitasime, et see NANOGravi signaal võis kaasneda Päikesest 10 000 korda raskemate ürgsete mustade aukude tekkimisega. Viimased võivad omakorda olla seemneks ülimate ühinemistele mustadele aukudele galaktikate keskes. •

Artikkel on avaldatud ka tänavu augustis ilmunud Eesti teaduste akadeemia raamatus „Eesti Vabariigi preemiad 2021“ (lk 53–75).

Gert Hütsi (1975) on astrofüüsik. Doktoritöö kaitsnud Müncheni Ludwig Maximiliani ülikoolis, järel doktorandina täiendanud end Londoni ülikooli kolledžis. Ülikooli lõpetamise järel töötanud Tartu observatooriumi teaduri ja vanemteadurina. Alates 2016. aastast keemilise ja bioloogilise füüsika instituudi teadur.

Martti Raidal (1968) on füüsik. Töötanud alates ülikooli lõpetamisest Helsingi ülikoolis abiteadurina, keemilise ja bioloogilise füüsika instituudi teaduri ja vanemteadurina, järel doktorina Valencia ülikoolis, California ülikoolis, Euroopa tuumauuringute keskuses CERN ja Tartu ülikoolis kõrge energia professorina. Alates 2012. aastast keemilise ja bioloogilise füüsika instituudi juhtteadur. Kuulub enim viidatud Eesti teadlaste sekka.

Hardi Veermäe (1985) on füüsik. Töötanud alates ülikooli lõpetamisest Tartu ülikooli füüsika instituudis ning keemilise ja bioloogilise füüsika instituudis insenerina, järel doktorina Euroopa tuumauuringute keskuses CERN. Alates 2017. aastast keemilise ja bioloogilise füüsika instituudi teadur.

TELESKOOP.EE

AINULT HEAD TELESKOOBID



Bresser Quasar 80/900 EQ

Ø=90 mm

F=900 mm

Akromaatiline läätsteleskoop ekvaatorilisel monteeringul. Komplektis on kaks okulaari, päikesefilter, nutitelefon adapter pildistamiseks.

Täiskomplekt alustavale astronoomiahuvilisele - optikatoru, statiiv, okulaarid, punatäpp otsija ja muud lisad. Kasutatav nii öösel kui päeval.

295 €



Sky-Watcher StarQuest 130P

Paraboloidse peapeegli reflektor Ø=130 mm

F= 650 mm

Suhteline ava F/5

Okulaarid 10 mm ja 25 mm

Punatäpp otsija

Uue disainiga Eq/AltAz monteering kolmjalal

369 €

Sky-Watcher

CO₂ indikaator

ruumi siseõhu kvaliteedi hindamiseks



Magamistoa, kabineti jne õhu kvaliteedi hindamiseks. Mõõdud 110x33x123 mm

129 €

Klassiruumi, elutoa ja muu suurema ruumi õhu kvaliteedi hindamiseks. Mõõdud 388 x 43 x 288 mm

269 €

Võta julgelt ühendust!

Ostueelne ja -järgne nõustamine eesti keeles.



Mikroskoop Biolux NV

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

155 €



Stereomikroskoop Analyth STR 10x-40x

Suurendus 10x, 20x, 40x. Toide AA patareidelt, USB kaabliga või vooluvõrgust.

Putukad, kahjurid, mineraalid, margid, mündid, trükkplaadid jne

239 €



Biolux LCD Touch HDMI

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

319 €

- **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

E-pood: teleskoop.ee

Helista: 528 9895

Kirjuta: taevatoru@teleskoop.ee

facebook.com/teleskoop.ee

JUULI-AUGUST: KOSMOSETURISMI AVAPAUK

• **1. juulil** startis Vostotšnõi kosmodroomilt Venemaa kanderakett Sojuz-2.1b ja viis ettenähtud orbiitidele Londonis asuva firma OneWeb 36 järjekordset lairibainternetiühendust pakkuvat satelliiti. Sellega on planeeritud 650 satelliidist jõudnud orbiidile 254.

• **3. juulil** startis Põhja-Hiinast Taiyuani kosmoskeskusest kanderakett Long March 2D, et viia orbiidile viis väiksemat kaugseiretehiskaaslast.

• **4. juulil** startis Hiina loodeosast Jiuquani kosmoskeskusest kanderakett Long March 4C ja viis orbiidile meteoroloogia-satelliidi Fengyun 3E, mille abil loodetakse parandada ilmaennustuste täpsust.

• **4. juulil** väljusid Hiina kosmosejaamast Tiangong avakosmosesse astronautid Liu Boming ja Tang Hongbo ja paigaldasid tööplatvormile jalatoed ning oma kohale ka panooramkaamera. See oli Hiina kosmoseajastu teine väljumine avakosmosesse: esimene oli 2008. aastal Shenzhou 7 missiooni ajal.

• **6. juulil** startis Hiina edelaosast Xichangi kosmoskeskusest kanderakett Long March 3C ja viis orbiidile Tianlian 1-05 sidetehiskaaslase, täiendamaks satelliitide võrgustikku, mis vahendab sidet Hiina kosmosejaama ja Maal oleva juhtimiskeskuse vahel.

• **8. juulil** eraldus rahvusvahelisest kosmosejaamast (ISS) SpaceX-i veolaev Cargo Dragon, et tuua Maale tagasi 2,4 tonni lasti, enamasti mikrogravitatsiooni tingimustes saadud materjale ja muid teadusuuringute tulemusi. 10. juulil maandus veolaev ettenähtud piirkonnas Mehhiko lahte.

• **9. juulil** startis Hiina põhjaosast Taiyuani kosmoskeskusest kanderakett Long March 6, mis viis orbiidile viis väikest tehiskaaslast, et tuvastada ja seirata üleilmset raadiosidest.

• **11. juulil** startis Virgin Galacticu stardikompleksist Spaceport America kandelennuk VMS Eve ning 14 km kõrgusel startis selle külge kinnitatud kosmoselennuk VSS Unity. Umbes minutilise töö järel lülitati selle mootorid välja ning sõiduk jätkas ballistilisel trajektooriga tõusu kuni kõrguseni 86 km, mis ületab 3,5 miili võrra USA-s kasutatavat kokkuleppelist kosmosepiiri. Pärast lühikest kaalutaolekut pöördus VSS Unity lauglennul tagasi stardipaika. Lennul osales ka firma omanik Richard Branson. Pärast veel mõnesid katselende plaanitakse komertslende alustada aastal 2022. Niisuguse lennu piletihinnad algavad 250 000 dollarist.

• **17. juulil** teatas NASA, et kosmoseteleskoop Hubble hakkas pärast enam kui kuuajalist pausi jälle teaduslikke vaatlusi tegema. Teleskoobi töö oli vahepeal katkenud juhtarvuti toitebloki rikke tõttu. Juhtarvuti töö võttis nüüd üle varuarvuti ja juba 30 aastat orbiidil olnud teleskoop on jälle töökorras.



Hubble'i kosmoseteleskoop Maal orbiidil



Virgin Galacticu asutaja Richard Branson on kaaluta olekus VSS Unity alongi lae alla kerkinud

• **18. juulil** startis Hiina edelaosast Xichangi kosmoskeskusest kanderakett Long March 2C ja viis orbiidile kolm järjekordset Hiina Yaogan 30 seeria militaar-tehiskaaslast.

• **20. juulil** startis Blue Origini stardikompleksist kanderakett New Shepard, mis viis 107 km kõrgusele kosmosekapsli nelja meeskonnaliikmaga, nende seas oli ka firma Blue Origin omanik ja netikaubamaja Amazon asutaja Jeff Bezos. Pärast lühikest kaalutaolekut naasis kapsel atmosfääri ja maandus edukalt kolme langevarju abil. Selle aasta sees plaanitakse veel

kaht reisijatega New Shepardi lendu; piletimüük on ettevõttele sisse toonud juba ligi 100 miljonit dollarit.

• **21. juulil** vahetas ISS-il põkkumislüüsi SpaceX-i kosmoselaev Crew Dragon, vabastades koha Boeing Starlineri teise mehitamata proovilennu jaoks. Et Crew Dragon on meeskonnale ühtlasi ISS-is viibimise ajal „päästepaat“, oli kogu meeskond ümberpaigutamise ajal selle pardal: juhuks, kui põkkumine teise lüüsiga oleks mingil põhjusel ebaõnnestunud. Kõik läks siiski edukalt.



Pildi keskel olevad vennad Mark (vasakul) ja Jeff Bezos tervitavad kaaluta olekus oma ema. Neid vaatab astronaut Wally Funk

• **21. juulil** startis Kasahstanist Bajkongõri kosmodroomilt Vene kanderakett Proton ja viis orbiidile ISS-i uue teadusmooduli Nauka. Moodul on üks ISS-i suurimaid: kaalub 20,2 tonni ja on umbes 13 meetrit pikk. 29. juulil pökkus moodul kosmosejaamaga. Kolm tundi pärast pökkumist hakkasid aga ootamatult korras tööle mooduli tõukurmootorid ja viisid ISS-i ettenähtud asendist välja. Automaatne süsteem ei suutnud algasendit taastada ning selleks tuli käivitada mooduli Zvezda ja veolaeva Progress tõukurmootorid. ISS selles vahejuhtumis siiski viga ei saanud.



Rahvusvahelise kosmosejaama külge kinnitatud Venemaa teadusmoodul Nauka

• **26. juulil** eraldus ISS-ist veolaev Progress MS-16 koos mooduliga Pirs, et teha ruumi saabuvale uuele moodulile Nauka. Pirs saabus septembris 2001 ja oli kasutusel õhulüüsi ning kosmoselaevade Sojuz ja veolaevade Progress pökkumissõlmena.

• **29. juulil** startis Uus-Meremaa põhjasaarel asuvalt Rocket Labi baasi stardikompleksist kanderakett Electron ja viis orbiidile USA militaarsatelliidi Monolith. Sellega naasis Rocket Lab pärast 15. mail tabanud ebaõnne taas edukate startide juurde.

• **29. juulil** startis Hiina loodeosast Jiuquani kosmosekeskusest kanderakett Long March 2D, mis viis orbiidile Tianhui 1-04 militaarsatelliidi.

• **30. juulil** startis Prantsuse Guajaana kosmodroomilt ESA kanderakett Ariane 5 ja viis orbiidile Brasiilia satelliidi Embratel's Star One D2 ja Prantsuse geostatsionaarsed sidesatelliidid Eutelsat Quantum. Tegu oli Ariane 5 saja kümnenda stardiga alates aastast 1996.

• **3. augustil** startis Hiina loodeosast Jiuquani kosmosekeskusest iSpace'i kanderakett Hyperbola 1, et viia orbiidile tehiskaaslane, kuid katselend ebaõnnestus ja satelliit orbiidile ei jõudnud. iSpace on esimene Hiina erakapitalil põhinev ettevõtte, millel õnnestus esimene tehiskaaslane orbiidile viia 2019. a juulis.

• **4. augustil** startis Hiina põhjaosast Taiyuani kosmosekeskusest kanderakett Long March 6 ja viis orbiidile kaks Saksa katsesatelliiti, et panna proovile nende elektrilised tõukurmootorid ja laserside.

• **5. augustil** startis Hiina edelaosast Xichangi kosmosekeskusest kanderakett Long March 3B, et viia orbiidile Hiina militaarsidesatelliit.

• **10. augustil** startis USA-s Virginia osariigis asuvalt stardiplatvormilt firma Northrop Grumman kanderakett Antares ja viis orbiidile veolaeva Cygnus. Sellega viiakse ISS-i 3,6 tonni mitmesugust varustust, sealhulgas 3D-printimise süsteem ja tualeti varuosad. 12. augustil pökkuti edukalt ISS-iga. See oli Cygnus tüüpi veolaevade 16. varustuslend alates aastast 2013.

• **12. augustil** startis India idarannikult Satish Dhawani kosmosekeskusest India kanderakett GSLV Mark 2, et viia orbiidile Maa vaatlusteks mõeldud teleskoobiga tehiskaaslane EOS-03. Ent kanderaketi kolmas aste ei käivitunud ning missioon

ebaõnnestus. Sellega katkes India 16 järjestikuse eduka raketistardi jada.



India kanderakett GSLV Mark 2 stardiplatvormil

• **17. augustil** startis Prantsuse Guajaana kosmodroomilt ESA kanderakett Vega ja viis orbiidile teise kaugseiresatelliidi Pléiades Neo ning veel kaks ESA kuupsatelliiti, nanosatelliidi Itaaliast ja Prantsuse merejärelevalve tehiskaaslase.

• 18. augustil startis Hiina põhjaosast Taiyuani kosmosekeskusest kanderakett Long March 4B, mis viis orbiidile kaks radarkardistamise tehiskaaslast Tianhui.

• **20. augustil** väljusid Hiina kosmosejaamast Tiangong avakosmosesse astronautid Nie Haisheng ja Liu Boming. Kuue tunni jooksul paigaldasid nad jahutuspumba ja kohendasid jaama panoraamkaamera asukohta.

• **21. augustil** startis Kasahstanist Bajkongõri kosmodroomilt Vene kanderakett Sojuz-2.1a ja viis orbiidile firma OneWeb 34 järjekordset lairibainterneti-ühendust pakku-

vat satelliiti. Sellega on planeeritud 650 satelliidist orbiidile jõudnud 288.

• **24. augustil** startis Hiina edelaosast Jiuquani kosmosekeskusest kanderakett Long March 2C, mis viis orbiidile kaks internetiside katsesatelliiti.

• **24. augustil** startis Hiina edelaosast Xichangi kosmosekeskusest kanderakett Long March 3B, et viia orbiidile militaartehiskaaslane TJS 7.

• **26. augustil** startis Blue Origini stardikompleksist Launch Site One'i kanderakett New Shepard ja viis ballistilisel trajektoiril 105,6 km kõrgusele mehitamata meeskonnakapsli, mis sisaldas 18 laadungit teaduseksperimentidega.

• **28. augustil** startis Alaskalt Kodiaki saarelt Pacific Spaceporti kompleksist ettevõtte Astra väikeste satelliitide kanderakett, et viia orbiidile USA kosmosejõudude tehiskaaslane. Üks viiest mootorist aga ei töötanud, rakett kaldus lennutrajektoorist kõrvale ja seega missioon ebaõnnestus.

• **29. augustil** startis NASA Kennedy kosmosekeskuse stardiplatvormilt 39A SpaceX-i kanderakett Falcon 9 ja viis orbiidile veolaeva Dragon. 30. augustil pökkuti autonoomsel režiimil ISS-i mooduliga Harmony. Kosmosejaama toodi 2,2 tonni mitmesugust varustust ja teaduseksperimentide materjali. Tegemist oli SpaceX-i 23. varustuslennuga alates 2012. aastast.

 **Jüri Ivask**
Horisondi kosmosekroonik

Uus infokild Leppneeme küla ajaloo kohta

Selle aasta augusti lõpus edastas tähelepanelik torumees muinsuskaitseametile teate, et Viimsi poolsaare kirdeosas Leppneemes on ehitustööde käigus välja tulnud inimluustik. Leiu teeb erakordseks seik, et tegemist oli kunagise Liiva talu õuega, samuti puudusid selle matmispaiga kohta varasemad teated.

Kahenädalase välitöö käigus avastati sealt 17 tervet või osaliselt säilinud hauda. Inimluud olid liivase pinnase tõttu väga halvasti säilinud. Surnud olid maetud selili-siruli asendis, kristliku kombe kohaselt peaga läände. Kõikidest haulohkudest leiti kirstud, millest olid alles kõdupuit ja sepanaelad. Kokku puhastati välja 12 täiskavanu ja viie alaealise matus. Peale skelettide leiti kirstudest esemeid, mis pärinevad 17. sajandi teisest poolest ja 18. sajandi algusest. Surnutele oli kaasa pandud münste, kahe lapse hauast leiti värvilised klaashelmekested, enim koguti haudadest väikseid hõbedast vitssõlgi. Surnud olid maetud ühes kihis ja korrapäraselt, mis viitab sellele, et tegemist oli külakalmistuga. Hoolimata luude kehvast seisukorrast õnnestus hammastel tuvastada kaariest, stressijooni, hambakivi ja eluajal välja langenud hambaid.

Surnud leiti ainult 30–40 cm sügavuselt praegusaegsest maapinnast. Ent ajaloolistelt kaartidelt selgub, et matmispaigal oli olnud liivaküngas, mida on hiljem kaevandades tasandatud või on see lihtsalt ajapikku kulunud. Kindlasti oli matmispaik säilinud suuremal alal, kuid liiva hilisema kaevandamise ja taluhoonete tõttu oli see säilinud vaid osaliselt. Ehkki Leppneeme küla ajaloo allikad ulatuvad 15. sajandi lõppu ja küla on jäädvustatud mitmel 17. ja 18. sajandist pärineval kaardil, pole neist ühelgi matmispaika mainitud ega märgitud.

Olles laste kaudu seotud Leppneeme põliste suguvõsade, otsis Lembi Lõugas digiandmebaasidest võimalikke seoseid külas 17. sajandi lõpus ja 18. sajandi alguses elanud inimeste ja maetute vahel, samuti oma laste otseliinis põlvnemist mõnest dokumentides märgitud talude elanikust. Esimeseks ajalooliseks allikaks sai valitud Maardu mõisa Viimsi poolsaare idapoolsete maade kaart 1693. aastast (vt rahvusaarhiivi Saaga andmebaas). Sellel kaardil kalmistut märgitud pole, küll aga on näidatud tollased talude asukohad koos taluperemeeste nimedega.

Otsides neid nimesid oma sugupuust ehk Geni andmebaasist, sai leitud kaks otsest esivanemat (tänapäeval Tammneeme külast), mis pani muu hulgas mõt-



FOTOD: LEMBI LÕUGAS

Fragment 1693. aasta Maardu mõisa maade kaardist. Ristiga on märgitud leitud külakalmistu ligikaudne asukoht ja laev tähistab tänapäevase Leppneeme sadama asukohta. Tekstis mainitud esivanemate talud paiknevad kaardi allosas



Välja puhastatud lapse matus

lema neile, kes siiani tundmatutena Leppneeme on maetud. Mitmed nimed, kelle talud olid leitud kalmistule lähemal, on 18. sajandi dokumentidest kadunud. Samuti ei leidunud neid Geni andmebaasis. Kas tegu võib olla katkenud sugupuuliinidega? Kas nende inimeste säilmed tulidki nüüd päevavalgele? Küsimusi kerkis järjest enam ning kujunes kindel veendumus kaasata rohkem uurimismetodeid ja spetsialiste.

Kaevamisjärgne uurimine nüüd alles algab ning loodetavasti annavad tulemused olulist teavet ühe väikese piirkonna ajaloo ning ammu elanud inimeste ja nende sugulussidemete kohta. •

 **Martin Malve**, Tartu ülikooli arheoloogiaosakonna osteoarheoloog

Lembi Lõugas, Tallinna ülikooli arheoloogia teaduskogu juhataja ja vanemteadur



KUULDEAPARAADID.EE



Sest iga sõna on oluline.

Pakume Teile tasuta konsultatsiooni, paigaldust, kuulmisuuringuid ning soovi korral ka **12 kuud järelmaksu 0% intressiga**. Esindame üht maailma suurimat kuuldeaparaatide brändi GN Resound Taanist.

Broneeri aeg personaalsele ja turvalisele nõustamisele!

Leidke endale lähim kuulmiskeskus ja broneerige aeg tasuta konsultatsioonile kodulehel **kuuldeaparaadid.ee** või lihtsalt helistage meile lühinumbril **17800**.



Selle reklaami ettenäitamisel iga uue kuuldeaparaadi ostjale **tasuta 2 aastane varu patareisid** (120 patareisid).



KIIRELT
vastuvõtule!

TASUTA
kuulmisuuring!

PARIMAD
aparaadid!

TALLINN Tulika 19 C, 2. korrus
Telefon: 53 011 529
Tallinn@kuuldeaparaadid.ee

Lasnamäe Medicum, Punane 61,
kab 344, 3. korrus,
Telefon: 53 011 529
Tallinn@kuuldeaparaadid.ee

TARTU Medita Kliinik
Teguri 37B, 2. korrus, kab 4
Telefon: 53 807 287
Tartu@kuuldeaparaadid.ee

RAKVERE
Tuleviku 1, kab 32
Telefon: 324 3253
Rakvere@kuuldeaparaadid.ee

NARVA Kerese keskus
Kerese 3, 3. korrus, kab 311
Telefon: 53 011 529
Narva@kuuldeaparaadid.ee

VILJANDI Tervisekeskus, I korrus,
B korpus, sissepääs Turu tänavalt
Telefon: 433 3783
Viljandi@kuuldeaparaadid.ee

PÄRNU Ülejõe Tervisekeskus
Jannseni 7a
Telefon: 53 011 529
Parnu@kuuldeaparaadid.ee

PAIDE AS Järvamaa Haigla
Tiigi 8, kab. 412
Telefon: 53 011 529
Paide@kuuldeaparaadid.ee

autoriõigus MTÜ Loodusajakiri



ANU PRINTSMANN JA ÜLLE LIIBER

GEOGRAAFIAOLÜMPIAADID DISTANTSILT

Sel aastal olid koolid ja muu maailm COVID-19 pandeemia tõttu kaugõppega juba paremini kohanenud ja virtuaalsed võistlusedki omasemaks saanud. Kõik planeeritud üritused said teoks, neist neli distantsilt ja vaid üks tavapärasel moel.

Eesti distantsilt

9. veebruaril peeti 1800 osalejaga olümpiaadi piirkonnavoro harjumuspäraselt Moodle'is, kuid maakonnakeskuste asemel koolides ning osa õpilasi tegi testi, olles isolatsioonis. Hoolimata üksikutest viperustest, mis igasuguse korraldusega kaasas käivad, kujunes kogemus positiivseks.

Olümpiaadi lõppvoor toimus 7. mail; samamoodi nagu mullu vastati küsimustele kodus. Ajaliselt oli üritus lühem, kuid võistlema kutsuti 100 asemel pea-aegu 200 õpilast. Kuna võistluse virtuaalne toimumiskoht oli Ida-Virumaa, olid küsimuste ja ülesannete fookuses suuresti selle maakonna loodus, asustus, rahvastik, majandustegevus ja kultuurielu. Õpilased lahendasid ülesandeid, mille tarbeks tuli infot otsida internetist ning „tutvuda olukorraga kohapeal“, kasutades maa-ameti ja Google Mapsi kaardirakendusi. Ühtlasi pidid üheksanda klassi õpilased koostama kaardiskeemi Sillamäe ajaloolise arengu kohta ning gümnasistid tegema tulevikulinna plaani.

Euroopa distantsilt

Alates 2015. aastast on Euroopa geograafiaolümpiaadi korraldust juhtinud serblased. Eesti osales teist korda virtuaalsel võistlusel tänavu 18.–21. juunil. Üldse lõi kaasa 145 õpilast 14 riigist, Tšehhist ja Sloveeniast läänes kuni Kasahstanini idas. Igast riigist sai osa võtta kaheksa õppurit nii vanemas (16–19-aastased) kui ka nooremas (12–15) vanuserühmas. Eestit esindasid lõppvooru tulemuste pingerea esitsa õpilased, kes said nendel kuupäevadel osaleda.

Nagu kõikidel rahvusvahelistel olümpiaadidel, hõlmas ingliskeelne võistlusprogramm kirjalikku tööd, välitööd ja multimeediatesti, mida lahendati MS Teamsi keskkonnas. Küsimused olid

koostanud serblased ja ka žürii koosnes peamiselt serblastest. Tagasisidest selgus, et meie noored hindasid ülesandeid küllaltki lihtsaks. Auhinnatsermoonial jagati välja 6 kuld-, 16 hõbe- ja 27 pronksmedalit seenioridele ning 6 kuld-, 14 hõbe- ja 23 pronksmedalit juunioridele. Seenioride üldvõit läks Türki, juunioride oma Leetu.

Selle aasta kavva oli lisandunud avatsermoonia, mille jaoks pidi iga õpilane saatma 30-sekundilise enesetutvustusvideo. Kultuuriõhtu tarbeks tuli koostada riigi kultuuri näitlikustav kolmeminutilise video. Nende poolt võis igaüks hääletada nii palju kui tahtis – nõnda said kõik auhinnalise koha. Eraldi hinnati mõlemas vanuserühmas postereid selle kohta, kuidas koroonapandeemia on mõjutanud turismi. Esitlusi kuulasid ja küsimusi esitasid kaks Belgia üliõpilast. Eesti juunioride poster saavutas teise koha.

Olümpiaadi korralduses oli arenguruumi, näiteks tekitas segadust kaks ajakava testide toimumise kohta; ei olnud selge, mitu postrit üks riik peab esitama, seetõttu jäid osa riikide juunioride esitlused ära; kultuuriõhtul näidati esialgu internetist leitud videot Eesti kohta, mitte meie õpilaste tehtut, sama juhtus ka mõne teise maaga. Meile juba omaseks saanud netiketis oli lahknevisi: vältimaks pettusi, pidid mikrofonid olema sisse lülitatud, ent nõnda häiris tööd pidev taustajutt.

Balti mull

27. juunist kuni 1. juulini peeti 7. Baltimaade geograafiaolümpiaadi Suwalkis Poolas. Eelmisel aastal jäeti koroonapandeemia tõttu olümpiaad ära ning seda ei asendatud ka virtuaalse võistlusega. Varasemad võistlused on peetud Daugavpilsis, Klaipėdas ja Kaliningradis ning mitmel korral Valmieras.



Rahvusvahelise geograafiaolümpiaadi võistkond Tartus TÕ geograafiaosakonnas (vasakult): Martin Rahe, Anna Milena Linder, Oliver Möttus ja Mikk Rooden

FOTOD: ANU PRINTSMANN

EESTI GEOGRAAFIAOLÜMPIAADI VÕITJAD

Järk	Nimi	Klass	Kool	Õpetaja
10.–12. klass				
I	Mattias Kerge	12.	Läänemaa ühisgümnaasium	Imbi Raudkivi
9. klass				
I	Rasmus Ründva	9.	Gustav Adolphi gümnaasium	Tiina Naissoo
I	Liisa Pata	9.	Tallinna reaalkool	Piret Karu
8. klass				
I	Maarja Katherine Link	8.	Kuusalu keskkool	Ene Uibo
I	Karl-Erik Volberg	8.	Sütevaka humanitaargümnaasium	Ene Kõo
7. klass				
I	Helena Rull	7.	Tartu Tamme kool	Kristina Villemson
I	Tuuli Hanson	7.	Kalamaja põhikool	Ene Trepp

Eesti medalid Euroopa geograafiaolümpiaadilt

Koht	Nimi	Klass	Kool	Õpetaja
SEENIORID				
2.–3.; kuld	Mattias Kerge	12.	Läänemaa ühisgümnaasium	Imbi Raudkivi
2.–3.; kuld	Mikk Rooden	11.	Miina Härma gümnaasium	Ita Ilves
11.; hõbe	Marten Jaani	11.	Saue gümnaasium	Ulvi Urgard
30.; pronks	Oliver Möttus	12.	Miina Härma gümnaasium	Maiu Kaljuorg
JUUNIORID				
4.–5.; kuld	Karl-Erik Volberg	8.	Sütevaka humanitaargümnaasium	Ene Kõo
15.; hõbe	Katarina Jaska	8.	Tallinna reaalkool	Piret Karu
29.; pronks	Tuuli Hanson	7.	Kalamaja põhikool	Ene Trepp
42.; pronks	Kristjan Klein	7.	Gustav Adolphi gümnaasium	Katri Mirski

Eesti medalid Baltimaade geograafiaolümpiaadilt

Koht	Nimi	Klass	Kool	Õpetaja
15.; pronks	Endrik Einberg	10.	Tallinna reaalkool	Piret Karu
16.; pronks	Mikk Rooden	11.	Miina Härma gümnaasium	Ita Ilves

Eesti medalid rahvusvaheliselt geograafiaolümpiaadilt

Koht	Nimi	Klass	Kool	Õpetaja
32.; hõbe	Anna Milena Linder	10.	Gustav Adolphi gümnaasium	Katri Mirski
55.; pronks	Mikk Rooden	11.	Miina Härma gümnaasium	Ita Ilves
78.; pronks	Martin Rahe	12.	Tallinna reaalkool	Piret Karu
87.; pronks	Oliver Möttus	12.	Miina Härma gümnaasium	Maiu Kaljuorg

Kokku osales 29 õpilast Lätist, Poolast, Venemaalt ja Eestist; meilt viis gümnasisti ja kolm üheksanda klassi õppurit. Kahjuks jäid seekord võistlustest eemale Leedu ja Valgevene.

Võistlus koosnes kolmest osast. Kirjaliku töö temaatika oli tuul, malaaria jt haiguste levik, liustikud, maailmaimed ning perifeeriad. Välitööde esimese osa käigus tuli uurida Wigry poolsaare ajaloolist ja nüüdisaegset otstarvet, teises osas koostati Suwałki kesklinna rekreatsioonialade planeeringuid. Viimane osa-

võistlus oli valikvastustega multimeediast.

Baltimaade olümpiaadi üldvõit kuulus korraldajamaale Poolale, järgnesid Venemaa õpilased. Välja jagati 4 kuld-, 5 hõbe- ja 8 pronksmedalit.

Üks kohapeal toimuvate olümpiaadi eelis on võimalus piirkonda uudistada ja kohalikku toitu proovida. Käisime Wigry järve ääres ja sealsel poolsaarel asuvas kloostri. Kohaliku kooli õpilased tegid meile linnaekskursiooni. Pärast testide sooritamist matkasime Suwałki

maastikukaitsealal, mis meenutab oma liustikutekkeliste pinnavormidega Lõuna-Eesti kõrgustikke. Päev lõppes õhtusöögiga, mille osalised küpsetasid ise lõkkel. Viimasel päeval saime testide kohta tagasisidet – tihti ei jõuta seda olümpiaadidel teha.

Maailm distantsilt

Mullu Istanbulis toimuma pidanud 17. rahvusvaheline geograafiaolümpiaad jäi ära. Sel aastal anti türklastele võimalus olla taustajõuna virtuaalse ürituse korraldaja rollis. 11.–16. augustil peetud võistlus oli ajaloo suurim: osales 46 riiki 177 õpilasega. Meenutuseks: rahvusvaheline geograafiaolümpiaad sai alguse 1996. aastal, toona said kokku ainult viie riigi võistlejad.

Avatseremoonial loeti esimest korda koos vannet, lubades ausalt käituda. Selle nimel jälgiti pidevalt Zoomi vahendusel igat õpilast ja eraldi kaameraga ka ruumis toimuvat.

Tartusse kogunenud õpilased said esimese osavõistluse ehk multimeediatesti lahendada veebikeskkonnas. Kirjalikud ja välitöö ülesanded koos fotode, kaartide ja joonistega ilmusid arvutiekraanile Showbie keskkonnas, kuid vastused tuli kirjutada paberile, mis siis kohe pärast testi lõppu skanniti ja samasse keskkonda üles laeti. Kirjalikus töös käsitleti muu hulgas hiljutist Suessi kanali ummistust, ristlusturismi, liustikke jm. Kaheosalise virtuaalse välitöö raames tuli tunda nii kivimeid kui ka taimi ning arvutada kaudsete andmete põhjal jõe äravool.

Eraldi esitleti kliimamuutuse postreid. Osalejad said aega veeta virtuaalses kohvikus ning Facebooki-rühmas.

Üldjoontes võib võistlust pidada korralikuks, kuigi segadusi oli üksjagu, näiteks ajatsoonide, Zoomi linkide ja infovahetusega. Käsikirjaliste skannitud vastuste parandamine ekraanil nõudis üsna palju aega.

Tartus asendas reiseiseiklusi erakordselt intensiivne sadu, mis kasis meid lõunale minnes läbimärjaks, ja suur uputus, mis pani mõtlema nii kliimamuutustele kui ka linna planeerimisele.

Viimasel olümpiaadipäeval jagati välja 19 kuld-, 32 hõbe- ja 46 pronksmedalit. Eesti jäi riikide arvestuses 16. kohale. Nii individuaalses kui ka riikide arvestuses sai üldvõidu Venemaa. Järgmisel aastal loodetakse kohtuda Pariisis.

Eesti õpilaste osalust rahvusvahelistel võistlustel rahastab haridus- ja teadusministeerium ning korraldab Tartu ülikooli teaduskool. •

 Anu Printsman ja Ülle Liiber, Eesti geograafiaolümpiaadi žürii liikmed

SULEV KUUSE

EDUKAS AASTA EESTI BIOLOOGIAOLÜMPIAADI MAASTIKUL

Koroonaviiruse kiuste peeti tänavu 5.–6. juunil Tartus 60. Eesti bioloogiaolümpiaadi (EBO) lõppvoor gümnaasiumiõpilastele.

Olümpiaadi lõppvoor pidi plaanide järgi toimuma juba märtsis, kuid siis lõi koroonna kõik plaanid segi ning õpilased pidid kodus üksi bioloogiat õppima. Esialgu kutsusime kogu Eestimaalt osalema 60 õpilast, kuid pandeemia reeglite tõttu sai lõppvoorst osa võtta üksnes 24 tublimat. Sel korral said õpilased esimest korda kutse arvuti kaudu peetud piirkondliku olümpiaadi tulemuste põhjal.

Lõppvoor algas Tartu ülikooli (TÜ) molekulaar- ja rakubioloogia instituudi direktori Maia Kivisaare avaloenguga „Mida me teame geenidest?“. Seejärel võeti käsile lõppvooru praktilised tööd, mis vältasid terve laupäeva. Mikrobioloogia praktikumis tuli määrata tundmatu bakteritüvi, kasutades seitset mikrobioloogilist testi (nt tsitraadi- ja β -galaktosidaasi test või Grami järgi värvimine). Õpilastel tuli leida ka bakterite üldarvukus proovis.

Bioinformaatika töö koosnes kolmest osast. Esimene oli vaja programmi BLAST otsida kahe järjestuse (DNA ja/või aminohappe) vahelist homoloogiat, näiteks tuvastati, kas etteantud järjestus kuulub inimesele või hiirele. Teiseks oli tarvis programmi WebLogo abil leida ühe konkreetse transkriptsioonifaktori (CEBPB) seondumissaidi järjestuse logo, programmi HMMSCAN uuriti konkreetse valgujärjestuse struktuuri ja ülesandeid, määrati nukleotiidsete järjestuste GC-dinukleotiidide (aluspaaride) sisaldus ja tehti kindlaks nn CpG-alade (saarte) esinemus inimese genoomi järjestuses.

Loomafüsioloogia ja anatoomia praktiliste tööde käigus määrati selgrootute hõimkondi ja viidi need vastavusse etteantud fülogeneesipuu harudega. Peale selle koostati tabel eri hõimkondade anatoomia ja arengubioloogia kohta (ainuõõssed, lameussid, rõngussid ja okasnahksed). Ühtlasi koostati UPGMA programmi võimalusi kasutades fülogeneesipuid ning joonisitati saadud tulemuste põhjal dendrogramm. Zooloogia viimases osas tuli suure hiidaustri näitel tutvuda karpide



Eesti bioloogiaolümpiaadi mikrobioloogia praktikum

anatoomiaga. Siin osutus väga keerukaks mõeldud abivahendiga. Praktikum juhendajad loodavad, et õpilased said vähemasti selle poolest väärt praktilise kogemuse. Viimase tööna tuli määrata uuritava kala liik, uurida tema uimi, lahata kala, võtta proove kindlatest organitest ja vastata teoreetilistele küsimustele.

Paljude arvates kujunes kõige raske-

maks neljas praktikum, mis käsitles taimefüsioloogiat. Õppurid pidid leidma hariliku müürlooga lehepinnal õhulõhede arvu ja määrama selle põhjal kolm müürlooga taimeliini. Parajaks pähkliks osutus ka fotosünteesipigmentide eraldamine spinatilehtedest ja spirulina-pulbrist. Oskusi ja täpsust oli vaja ka selleks, et valmistada ette õhuke kromatograafiaplaadi kiht ning saada õiged tulemused ja neid tõlgendada. Lõpuks

pidi olema tähelepanelik, vastates keerulistele praktilistele töödega seotud küsimustele. Pikk praktikapäev väsis, kuid ees ootas pühapäevane mõõduvõtt veelgi raskemate teooriaülesannetega.

Teise olümpiaadipäeva lõpetas Eesti maaülikooli loomakliiniku ülemarsti Aleksandr Semjonovi loeng „Kuidas elav magab?“. Kindlasti ei jätnud see loeng kellelegi võimalust tukastada.

Pärast kahepäevast pingutust selgusid koondtulemuste järgi võistluse parimad: Johan Tamm (Hugo Treffneri gümnaasiumi 12. klass), Martin Rahe (Tallinna reaalkooli 10. klass) ja Sofia Marlene Haug (Tallinna reaalkooli 12. klass).

Kümnenenda klassi esikolmikusse kuulusid Claudia Olev (Tallinna reaalkool), Emma Goos (Hugo Treffneri gümnaasium) ja Eke Tooming (Tallinna reaalkool). Üheteistkümnenenda klassi õpilaste esikolmik oli Liis Siigur (Miina Härma gümnaasium), Vesta Selg (Hugo Treffneri gümnaasium) ja Kristjan Tropp (Rakvere gümnaasium). Kaheteistkümnenenda klassi õppuritest olid esimesed kolm Johan Tamm (Hugo Treffneri gümnaasium), Martin Rahe ja Sofia Marlene Haug (mõlemad Tallinna reaalkoolist).

Praktikumide parimad: mikrobioloogia võitis Liis Siigur (Miina Härma gümnaasiumi 11. klass), bioinformaatika parim oli Sofia Marlene Haug (Tallinna reaalkooli 12. klass), loomafüsioloogias ja -anatoomias oli edukaim Sofia Marlene Haug (Tallinna reaalkooli 12. klass) ja taimefüsioloogias saavutas parima tulemuse Emma Goos (Hugo Treffneri gümnaasiumi 10. klass). Täielikud tulemused koos žürii lõppotsusega on toodud Tartu ülikooli teaduskooli kodulehel teaduskool.ut.ee/et/olümpiaadid/bioloogiaolümpiaad.

Eesti tublimad said 18.–23. juulil osaleda 32. rahvusvahelisel bioloogiaolümpiaadil (IBO).

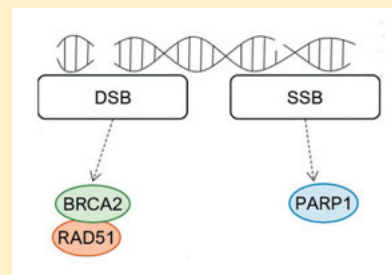
Esialgu pidi see toimuma Portugali pealinnas Lissabonis, kuid koroonaviiruse tõttu peeti tänavu Portugali eestvedamisel juba teist korda virtuaalne IBO Challenge II. See oli pühendatud Portugali maadeavastaja Fernão de Magalhãesi (1480–1521) Vürtsisaarte avastusretkele, mis lõppes 1522. aastal. Sellest retkest, mida peetakse esimeseks teadaolevaks ümbermaailmareisiks, möödub peagi 500 aastat.

Eesti IBO-võistkonda kuulusid Johan Tamm (Hugo Treffneri gümnaasiumi lõpetanu) ja Sofia Marlene Haug ning Kaur Reidma (mõlemad Tallinna reaalkooli äsjased vilistlased) ning Claudia Olev (Tallinna reaalkooli 11. klass).

Kuigi tänavune IBO toimus üle maailma eri paigus, oli seekordne jõuproov

NÄIDE MAAILMAVOORU TEOORIAOSAST:

Kui kahe geeni samaaegne deletsioon tingib raku hukkumise, siis kummagi geeni iseseisev deletsioon ei põhjusta rakusurma. Seda tuntakse kui geenide koosmõjust tingitud rakkude surma (ingl *synthetic lethality*). Sellised sünergilised surmapõhjustajad (ingl *synthetic lethal compounds*) on välja uuritud, et leida uusi ravimeid kasvaja vastu (nt rinnanäärme kasvaja ravis on uuritud DNA parandamise radu, et luua geenide BRCA1/2 mutatsioonidest tingitud võimalikke uusi raviskeeme).



Joonis 1. DNA parandamine. DSB – kaheaheelaline katke (*double strand break*); SSB – üheaheelaline katke (*single strand break*)

Märgi, milline järgnevatest väidetest on tõene (T), milline väär (F). (4 punkti; 1 punkt iga õige vastuse eest)

- A Geenide koosmõjust tingitud rakkude suremus (*synthetic lethality*) pole paljutõotav strateegia, kuna ravi tõttu võivad surra nii normaalsed kui ka kasvaja rakud. (F)
- B BRCA2 inhibiitortie kasutamine pole edukas strateegia BRCA2-defitsiitsete kasvaja raviks. (T)
- C RAD51 inhibeerimine on võimalik terapeutiline ravi BRCA2-defitsiitsete kasvaja puhul, kuna RAD51 osaleb DNA kaheaheelalises parandamises (DSB). (F)
- D Farmakoloogiliste polü-ADP riboosi polümeraasi (PARP) inhibiitorite kasutamine geenide koosmõjust tingitud rakusurma (*synthetic lethality*) tekitamiseks on võimalus BRCA2-defitsiitsete kasvaja ravis. (T)

senistest suurim. Osales 76 riiki ja 304 õppurit. Pingerea esimesed 10% said kuldmedali, järgmised 20% hõbe- ning neist järgmised 30% pronksmedali. Veel 15% õpilastest pälvis aukirja. Kõiki meie bioloogiaturundajaid tunnustati medaliga: Johan võitis hõbemedali ning Sofia, Claudia ja Kaur said pronksmedali. Jõuda 300 maailma parima bioloogiahuvilise noorbioloogi sekka on igati väärt saavutus.

Kuna virtuaalmaailma võimaluste tõttu korraldati matemaatika, füüsika, lingvistika ja bioloogia ülemaailmne jõuproov samal ajal, võistlesid kõik Eesti esindused Tartus. Seetõttu avanes meie õpilastel hea võimalus võtta koos juhendajatega osa TÜ teaduskooli korraldatud pidulikust õhtusöögist ja käia Tartus Ronimisministeeriumis seinaronimise algkursusel, kus kõigile oli tagatud väga asjalik õpetus. Seda, et õppimise ja teadmiste näitamise kõrval on niisama oluline üksteisega suhelda, tõendas osalejate suur huvi hobi- ja sportkeegli vastu.

Pärast olümpiaadi ametlikku lõppu käis Eesti bioloogiaühiskond koos

juhendajatega Otepää kõrgustikul Väike-Trommi turismitalus, kus uuriti loodust, nauditigi võistkonnatunnet ja peeti tulevikuplaane. Osalejad loodavad, et järgmisel aastal toimub bioloogia rahvusvaheline mõõduvõtt Armeenias päriselt, mitte virtuaalselt.

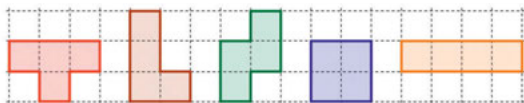
Bioloogiaolümpiaadi toetasid haridus- ja teadusministeerium, Tartu ülikool, TÜ teaduskool, TÜ molekulaar- ja rakubioloogia instituut, TÜ maateaduse ja ökoloogia instituut, TÜ loodusmuuseum, MTÜ Loodusajakiri, AS Icosagen, OÜ T-Style, OÜ Lindenhill ning Tartu Antoniusse Gildi keraamik Piret Veski.

Olümpiaadi aitasid teoks teha Kristina Põšnograjeva, Merike Jõesaar, Signe Viggor, Anneliis Rea, Mari Remm, Karl Jürgenstein, Ando Vaan, Kaspar Koolmeister, Mati Martin, Kalle Tihemets jpt. Korraldajad tänavad kõiki osalejaid ja õpilaste tublisid vanemaid ning häid õpetajaid. •

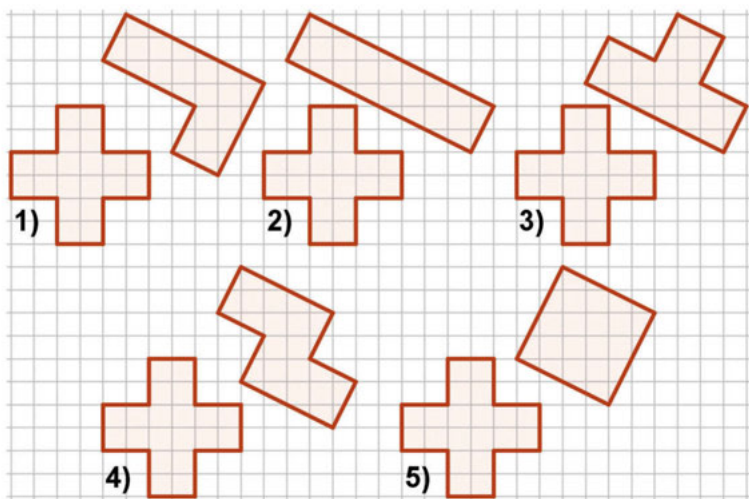
Sulev Kuuse, Eesti bioloogiaolümpiaadi žürii esimees

X-pentaminost tetramino kujundid

Erisuguseid tetramino kujundeid on viis ja need tekivad nelja ühikruudu ühendamisel nii, et igal ruudul on vähemalt üks ühine külg mõne teise ruuduga ülejäänud kolmest. Kõiki tetramino kujundeid näed alljärgneval joonisel:

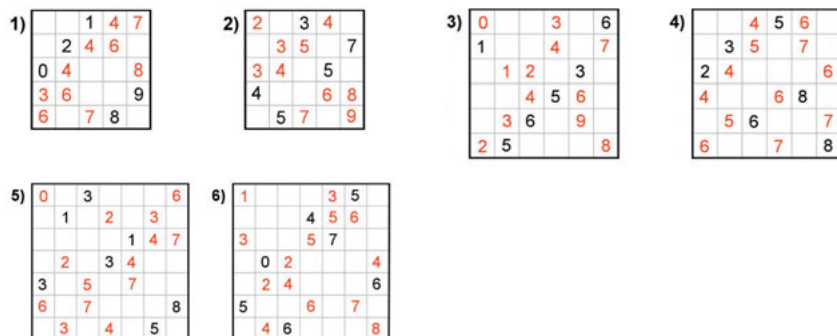


Horisondi 2019. aasta neljandas ja 2020. aasta viiendas numbris tuli viiest ruudust koosnevad F-pentamino ja W-pentamino kujundid jaotada sirgete lõigete abil minimaalseks arvuks väiksemateks tükkideks nii, et neist tükkidest saaks kokku panna tetramino kujundid. Seekord tuleb igas ülesandes plussmärgikujuline X-pentamino kujund sirgete lõigete abil jaotada minimaalseks arvuks väiksemateks tükkideks ning panna neist tükkidest kokku tetramino kujundid. Kõiki tükke võib pöörata ja ka ümber pöörata.



Et erinevaid minimaalse tükkide arvuga tükeldusi võib olla rohkem kui üks, tuleb seekord iga ülesande puhul teele saata üksainus selline lahendus, kus tükke on võimalikult vähe.

Neljanda vooru ülesannete vastused



Vastuste ärasaatmise tähtaeg on 10. oktoober 2021.

Lahendused saata aadressil MTÜ Loodusajakiri (ajakiri Horisont), Endla 3, 10122 Tallinn või tonu@mathema.ee.

2021. 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.

Neljanda vooru kokkuvõte

Neljanda vooru ülesanded ei olnud rasked. Kõik ülesanded lahendasid õigesti ja kuus punkti teenisid Vladimir Jaanimägi, Kalle Kulbok, Anti Sõlg, Kuldar Traks, Hannes Valk ja Heldur Väljamäe. Vooruauhinna võitis neist HANNES VALK.

Vaata veebilehelt

Tulemuste tabeli leiata aadressilt www.loodusajakiri.ee ja Horisondi Facebooki-seinalt.

Tõnu Tõnso, matemaatik, Tallinna ülikooli lektor

Magna jaotumine kaheks mittemeganevaks osaks	Läti odaviskelegend			Vunts	Lennukimark	Maalimark	Kirikulõhe	Õiguskadina k.	<i>Kuma</i>	Vene k. eessõna	Riik Aafrikas	Teadus on inimkultuuri 	
<i>Kuma</i>	Laht Hiiumaal Jaapani multikas								Element nr. 22 Must joonistus-pulk				
Kongo DV eksnimi					Partisan Armujumal					Saksa teoloog			
Loengu sissejuhatuse								Maalimark Künlahoidja					
Saksa k. asesõna					Maksekäsurend Spordifilosoof								
<i>Kuma</i>	Seene- Tarvik					Amet Privaat					Eliit inglise k.		
Küla Märjamaa vallas							Endine USA tennisist Suuõõne osa						<i>Kuma</i> Pikk kitsas süvend
<i>Kuma</i>	Eesti Vabariik Mehenimi				Inglise laulja Ruum laevas			Või; ehk Kunst					<i>Kuma</i> SAT-TV kanal
Jäme olend							Kolm- Võõr (murdes)			Tähe- Husaari-kuub			Vormeli- sõitja
Vene- pärane n.-nimi					Terrori- organ. Mehenimi				Skulptor Tundma- tu sõna				Kes on pildil?
Liit- vabariik	Nõnda- ütelda											Kõrvuti tähed	
RANKIN		Järjest. tähed			Kurat (eufem.) Rooma sadam				Vastik Võõrap. m.-nimi			FLEMING	
Keem. element							Endine maletaja Mehenimi			Emane siga Sõlm- tehnika			
	Rõõmu- rohket sügist!				Saar Vormsi vallas							Kuidas vene k. Kõrvuti tähed	
<i>Kuma</i>						Vankri osa Number				Üleni Element nr. 81			
Emas- looma sugukih							Saksa tennis- legend					Element nr. 1	
Mõtte- vahetus										Väavli-			

**RAUDSELT
PARIM
LOOGIKA-
MÕISTATUSTE
AJAKIRI EESTIS!**



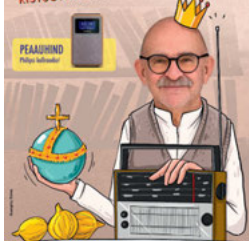
Lahendajate vahel läheb loosi „Kuma Kange”. Eelmise ristsõna vastus „HEAS MÖTTES DRAMATURGIAT on ka teaduskirjanduses” viitab tänavuses kolmandas Horisondis ilmunud näitekirjaniku ja lavastaja Ivar Põllu mõtisklusele endast ja teadusest.

Loosi tahtel võitis „Onu Uno Valitud Ristsõnade” aastatellimuse PILVI LAAS.

Kõigil lahenduse saatjatel palume ära märkida ka selles numbris KÕIGE ENAM MEELDINUD KIRJUTIS!

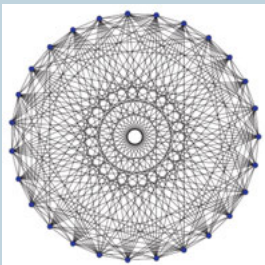
KUMA Nr. 5, 2021
Hind 2,30 €

KANGE
RISTSÕNAD KOGENUD LAHENDAJATELE



Arva ära!

- 1** See 27 tipu ja 216 servaga struktuur, mille abil saab modelleerida seoseid objektide vahel, kannab ühe 19. sajandi matemaatika nime. Mis nime see struktuur kannab?



- 3** Küsitav lahing oli üks suurimaid kaotusi Osmanite riigile ning tähistas nende impeeriumi languse algust. Saksa-Rooma riigi vägede poolel langes alla 500 mehe, kuid türklased kaotasid üle 30 000 mehe. Kristlaste kätte langesid Türgi sultani haarem, aardekirist ja riigipitsat ning peaaegu kõik kahurid. Millist nime see lahing kandis?

FOTOD: WIKIPEDIA



- 5** Ta oli ainus eesti helilooja, kelle looming kõlas Eesti esimesel üldlaulupeol 1869. aastal. Ta oli üks eesti rahvusliku muusika rajajaid. Baltisaksa literaat ja rahvaluuleteadlane Georg Julius von Schulz nimetas teda geeniusseks. Küsitav helilooja looming oli populaarne ka laulva revolutsiooni ajal alates aastast 1988. Kellest on jutt?



LUGEJATE LEMMIKUD

Lugejate lemmikloom eelmises numbris olid „California kulla radadel” ja intervjuu arheoloog Aivar Kriiskaga „Kiviaja elust ja inimestest” (mõlema autor Helen Rohtmets-Aasa).

Kui ei ole seda lugenud, osta (e-)ajakiri e-poest www.loodusajakiri.ee!



- 2** See sale, enamasti värvikirev kuni 25 cm pikkune kala koeb Vahemeres. Neil on kaks rida teravaid hambaid, millega noorkalad puhastavad mõnikord teisi kalu. Osa emaseid isendeid muudab hiljem oma sugu. Kala nimi sisaldab sõna, millega on tähistatud nii suurmaaomanikke kui ka sõjakooli õppureid. Mis kalaga on tegemist?



- 4** See 1883. aastal ehitatud valitsejapalee oli oma piirkonnas esimene hoone, mis varustati elektriga ning kus võeti kasutusse lift. Palee asub vanalinnas, mis kuulub UNESCO maailmapärandi nimekirja ja on üks asukohariigi olulisemaid turismiobjekte, kuhu on sulandunud erilaadsed kultuurid. Linnas elab üle 200 000 inimese. Kuni 1964. aastani valitsushoonena kasutatud palee varises 2020. aasta lõpus osaliselt kokku. Millisest linnast on jutt?

MÄLUSÄRU 4/2021 VASTUSED

1. Kandy (Sri Lankal), Hambatempel (Sri Dalada Maligawa).
2. Margery Allingham (1904–1966).
3. Herkules.
4. Fersenid (pildil krahv Hans Axel von Fersen).
5. Väänkael (*Jynx torquilla*).

● Mälusäru auhinnaraamatu, Marc-André Selosse „Ei iial üksi. Mikroobid – taimede, loomade ja ühiskonna alus” kirjastuselt Argo, võitsid MAIT RAAG, SVEN HALJAS ja TIIT PRUUL.



✍ Jevgeni Nurmla, Indrek Salis
mälumängurid



VASTA JA VÕIDA RAAMAT!

Vastanute vahel loosime välja kolm raamatut: Katrin Tiidenbergi ja Emily van der Nageli „Seks ja sotsiaalmeedia” kirjastuselt ARGO.

- Koos vastustega andke toimetusele teada ka selle numbrilemmikkirjutis.

VASTUSEID

ootame 15. oktoobriks aadressil Endla 3, 10122 Tallinn või horisont@horisont.ee.

NB! Vastuste juurde kirjutage auhinna-loomis osalemiseks kindlasti oma mobiiltelefoni number ja postiaadress.

MÄLUSÄRU
RUBRIIKI TOETAB
KIRJASTUS ARGO.



Kodumaine Stiilne Kestev

MOSS

SLIM



OOT-OOT STUDIO

Rävala 7, Tallinn

www.oot-oot.com





**ALLROUND
WORK**



TAMREX

SoftShell

IGA ILMAGA!



SNICKERS Workwear AllroundWork, kapuutsiga SoftShell

Uue põlvkonna SoftShell ühendab endas kaasaegse disaini, vastupidavuse ja mugavuse suurepärase funktsionaalsusega. Vetthülgav, tuulekindel ja venivast kangast SoftShell sobib igapäevasteks töödeks või vabal ajal kandmiseks pea aastaringsest. 3D disain, sitked Cordura™ tugevdused, võrkvooder ja reguleeritav kapuuts teevad sellest sinu järgmise lemmiku. Helkurdetailid annavad parema nähtavuse ja ohutuse. Palju vaba pinda ettevõtte sümbolika näitamiseks.

1229/0404
1229/5804

138 €



SNICKERS Workwear
AllroundWork
tuulekindel fliisjakk

8005/5804, 8005/0404

119 €



SNICKERS Workwear
AllroundWork
naiste SoftShell

1207/0404

126 €



SNICKERS Workwear
AllroundWork
SoftShell

1200/0404

127 €



SNICKERS Workwear
Hi-Vis AllroundWork
SoftShell, klass 3

1230/6658

145 €



SNICKERS Workwear
FlexiWork Gore®
Windstopper® jakk

1982/0404

239 €

Hinnad sisaldavad käibemaksu 20% ja kehtivad kuni kaupa jätkub!

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 • HAAPSALU 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