

Zvaigžņotā 2021 VASARA **DEBESS**

NESKAIDRĪBAS
ar Visuma izplešanos

Latvijas astronomi
meklē **TUMŠO**
matēriju

PIRMAIS
lidojums
Marsa
atmosfērā



Izdevējs



LATVIJAS
UNIVERSITĀTE

Vai Saules sistēmā ir
DEVĪTĀ planēta?

**Starship dosies
uz Mēnesi**

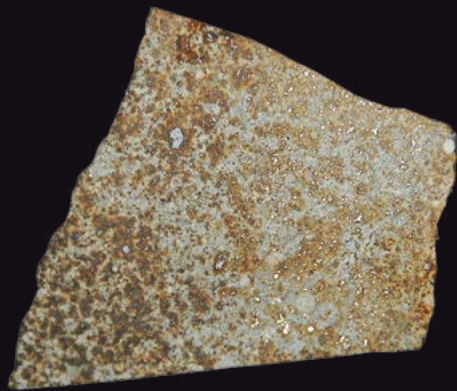
2. lpp.



**Pulksteņu vēsture Latvijas
Universitātē**

50. lpp.

Fiziķi zina "visu" par fiziku 38. lpp.



**Laiks meklēt
meteorītus!**

6. lpp.

**Ko astronomijas fanam
darīt Varšavā?**

49. lpp.



**Kosmiskā
tehnoloģija tavā
kabatā**

30. lpp.

ZVAIGŽNOTĀ DEBESS

2021. GADA VASARA (252)

Izdevējs:

LATVIJAS
UNIVERSITĀTE

Dibinātājs: Latvijas Zinātņu akadēmijas
Astrofizikas laboratorija (1958).

Zvaigžnotā Debess ir populārzinātnisks
izdevums par astronomiju.
Iznāk četras reizes gadā. Žurnālā tiek
sniegta informācija par astronomijas
un kosmonautikas sasniegumiem, tas
piedāvā jaunākās ziņas par Saules
sistēmu un citplanētām, par zvaigznēm,
galaktikām un Visuma uzbūvi, kā arī
stāsta par orbitālajiem un virszemes
teleskopiem un kosmiskajiem aparātiem.

Redakcijas kolēģija:

Galvenais redaktors

Dr. paed. Ilgonis Vilks,

galvenā redaktora vietnieks

Dr. sc. comp. Mārtiņš Gills,
Anna Gintere,*Dr. sc. ing.* Jānis Kaminskis,*Mg. sc. comp.* Raitis Misa,*PhD* Artūrs Vrublevskis,*Mg. paed.* Ieva Žarāne,
Vents Zvaigzne.**Maketētāja:** Baiba Lazdiņa**Literārais redaktors:** Oskars Lapsiņš**Žurnāls sagatavots:**

Latvijas Universitātes

Akadēmiskajā apgādā

Tālrunis: 67034889

E-pasts: apgads@lu.lv**Iespiests:** SIA Latgales druka**Interneta resursi:** www.lu.lv/zvd**Digitālais arhīvs:** <https://dSPACE.lu.lv/dSPACE/handle/7/1171>**Uz 1. vāka:** 2021. gada 18. februārī

Jezero krāterī uz Marsa nolaidās

NASA jaunais izpētes visurgājējs

Perseverance, kura mērķis ir

meklēt dzīvībai piemērotu vidi

un Marsa fosilās dzīvības pēdas.

NASA brīvpieejas attēls

Uz 4. vāka: labs planetārija šovs rada

klātbūtnes efektu. Skatītāji Varšavas

planetārija *Kopernika Debess* seansa

laikā. Adam Kozak, CC BY-SA 4.0

AKTUĀLI**Jaunumi īsumā.** *Ilgonis Vilks* 2**Vai arī tavā pagalmā ir meteorīts?** *Kārlis Bērziņš* 6**Perseverance.** Pirmie mēneši uz Marsa. *Raitis Misa* 12**VISUMA IZPĒTE****Habla spriedze.** *Ilgonis Vilks* 18**MOBILĀ LIETOTNE****Plaukstā – telpiskas planētas.** *Mārtiņš Gills* 23**SAULES SISTĒMA****Saules sistēmas devītā planēta – būt vai nebūt?**

Artūrs Vrublevskis 24

FOTOSTĀSTS**Gredzenveida galaktika.** *Kristaps Kemlers* 28**ZINĀTNES SASNIEGUMI****Globālās navigācijas satelītu sistēmas***Harijs Paveļčuks, Jānis Kauliņš* 30**Ko spēj un nespēj fizika?** *Vjačeslavs Kaščejevs* 38**OLIMPISKAIS IZAICINĀJUMS****Karuselis.** *Sagatavojusi Inese Dudareva* 47**ASTROVIETA****Planetārijs Kopernika zinātnes centrā.***Ausma Bruņeniece, Inese Dudareva* 49**ATSKATS VĒSTURĒ****Astronomisko pulksteņu vēsture piemēros.***Ilgonis Vilks* 50**LATVIJAS ZINĀTNIKI****In memoriam:** Ilga Daube 59**DEBESS APSKATS****Debess spīdekļi 2021. gada vasarā.** *Juris Kauliņš* 60

Jaunumi īsumā



Starship uz Mēness mākslinieka skatījumā. Redzams lifts un Mēness roveris

SPACE X NOGĀDĀS CILVĒKUS UZ MĒNESS VIRSMAS

2021. gada aprīlī NASA paziņoja, ka Mēness nolaižamo aparātu konkursā izvēlējusies SpaceX, kam šajā desmitgadē Artemis programmas ietvaros uz Mēness jānogādā divi cilvēki – vīrietis un sievietē. Ar SpaceX tiks noslēgts kontrakts par 2,89 miljardiem ASV dolāru. NASA Space Launch System ražete palaidīs uz Mēnesi Orion kosmosa kuģi, kurā būs četri astronauti. Kad kosmosa kuģis nonāks

orbītā ap Mēnesi, divi apkalpes locekļi pāries uz SpaceX nolaižamo aparātu, kuru veidos uz topošā kosmosa kuģa Starship bāzes. Aparātam būs plaša kabīne un kravas telpa, kurās varēs novietot daudz zinātniskās aparatūras, Mēness izpētes roveri, kā arī Mēness iežu paraugus atpakaļceļā. Tas būs apgādāts ar divām slūžām iziešanai uz Mēness virsmas. Astronauti uz Mēness pavadīs apmēram nedēļu, veicot plašu pētījumu programmu, pēc tam ar to pašu nolaižamo

aparātu atgriezīsies orbītā ap Mēnesi un pāries uz Orion kosmosa kuģi, lai dotos mārup. SpaceX piedāvātajam variantam ir priekšrocība, ka nolaižamo aparātu var izmantot atkārtoti, tā daļas nepaliks uz Mēness, kā tas bija Apollo lidojumu laikā. Savukārt risku par cilvēku nogādāšanu līdz Mēness orbītai un atpakaļ uz Zemes uzņemas NASA. Konkursā piedalījās arī firmas Blue Origin un Dynetics, kas iesniegušas protestu, un kontrakta piešķiršana ir apturēta.

ASTRONOMIJAS INSTITŪTS IESAISTĀS TUMŠĀS MATĒRIJAS MEKLĒJUMOS

Latvijas Universitātes Astronomijas institūta satelītu lāzerstacija iesaistījās Starptautiskā lāzerlokācijas dienesta eksperimentā, kurā mēģina konstatēt tumšās matērijas esamību Zemei tuvējā kosmiskajā telpā. Pēc Francijas zinātnieku grupas iniciatīvas Eiropas Kosmosa aģentūra realizē projektu GASTON. “Šim nolūkam izmanto ļoti precīzus Eiropas satelītu navigācijas sistēmas *Galileo* pavadoņu pozīciju mērījumus. Veicot pavadoņu lāzerlokāciju un apvienojot to ar citām mērījumu metodēm, ir iespējams atklāt pat niecīgas novirzes no



LU Astronomijas institūta lāzerstacija

Lāzera stars vērsts uz pavadoni, kas šķērso Lielā Lāča zvaigznāju

paredzētās orbitālās kustības,” skaidro Astronomijas institūta direktors Kalvis Salmiņš. Šīs niecīgās novirzes tad arī varētu norādīt uz tumšās matērijas gravitācijas iedarbību. Novērojumi notika no 2021. gada janvāra

līdz martam. “Par atklājumiem vēl pārāgri runāt, tas ir eksperiments, kurā mēs piedalījāties un veicām mērījumus. Izvirzītā hipotēze var apstiprināties, vai arī radīsies citi secinājumi,” stāsta Kalvis Salmiņš.

ĶĪNAS KOSMOŠA STACIJAS BLOKS ORBITĀ

2021. gada 29. aprīlī ar jaudīgo *Long March 5B* raķeti Ķīna palaida orbitā savas jaunās kosmosa stacijas pirmo bloku *Tianhe*, kas tulkojumā nozīmē “debesu harmonija”. Tā masa ir 22,6 tonnas, garums

16,6 metri un diametrs 4,2 metri. Modulis sastāv no dzīvojamā nodalījuma (platākā daļa), kurā var uzturēties trīs taikonauti, servisa nodalījuma (šaurākā daļa) un sakabināšanās mezgla, kam var pievienot četrus kosmiskos aparātus – papildu moduļus,

kravas kuģus, apkalpes kuģus. Te arī atrodas slūžas iziešanai atklātā kosmosā. *Tianhe* nodrošina visas tipiskās kosmosa stacijas funkcijas – navigāciju, orientāciju, tai ir arī dzinēji, ar ko pacelt staciju augstāk orbitā, kad tā pazemināsies atmosfēras berzes dēļ. Modulī ir dzīvības nodrošināšanas sistēma, virtuve, tualete, ugunsdzēsības aprīkojums, iekārta sakariem ar Zemi, stacijas vadības sistēma, zinātniskā aparātūra. Saules baterijas nodrošina moduli ar elektroenerģiju. Pēc plāna 2021. gada maijā staciju apmeklēs kravas kuģis, jūnijā – pirmā apkalpe. Nākotnē paredzēts pievienot divus eksperimentu moduļus *Wentian* un *Mengtian*.

Shymkent.info ziņējums



Ķīnas kosmosa stacijas bloks *Tianhe* orbitā ap Zemi



Dzeltenās bumbas (attēla centrā) gāzu un putekļu mākonī W33, kas atrodas 13 000 gaismas gadu attālumā

KOSMISKĀS “DZELTENĀS BUMBAS”

Pilsoniskās zinātnes projekta dalībnieki *Spicera* infrasarkanā teleskopa iegūtajos attēlos atklājuši

6176 “dzeltenās bumbas”. Patiesībā tās nav dzeltenas, jo dažādu viļņa garumu infrasarkanais starojums ir kodēts ar nosacītām krāsām – 3,6 mikroni ar sarkanu, 8,0 mikroni

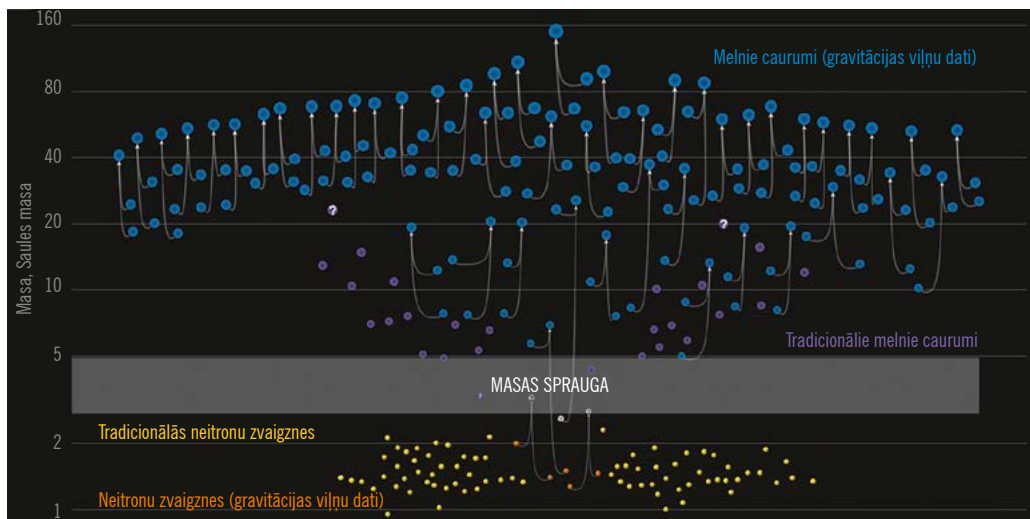
ar zaļu un 24 mikroni ar zilu. Dzeltenā krāsa rodas tur, kur pārklājas sarkanie un zaļie apgabali, kuros ir vairāk putekļu un organisko molekulu – policiklisko aromātisko ogļūdeņražu. Dzelteno bumbu uzskaitē sākās jau 2011. gadā, bet tagad kļuvis skaidrs, kas tās īsti ir. Tie ir burbuļi ap jaunām masīvām zvaigznēm agrīnā zvaigznes evolūcijas stadijā. Jaunizveidojusies zvaigzne sakarsē gāzi un putekļus savā apkārtnē, un tie kļūst redzami infrasarkanajā gaismā. Sākotnēji dzeltenās bumbas diametrs ir aptuveni viens gaismas gads, bet pakāpeniski, dažu miljonu gadu laikā, ap lielākajām zvaigznēm to izmērs sasniedz 10 gaismas gadus. Kad šīs zvaigznes attīstības posms tuvojas beigām, dzeltenās bumbas vairs nav dzeltenas, bet izskatās pēc sarkaniem burbuļiem ar zaļu apmali, kurā koncentrējušās organiskās molekulas. Tas nozīmē, ka dažādas molekulas aktīvi veidojas kosmosā ne tikai sarkano milžu apvalkos un tumšajos miglājos, bet arī jaunu zvaigžņu tapšanas procesā.

TUKŠĀ RINDA ZVAIGŽŅU KAPSĒTĀ

Astronomiem jau kādu laiku ir zināms, ka starp pašu lielāko neitronu zvaigzni un pašu mazāko melno caurumu pastāv “masas sprauga”. Lielākās neitronu zvaigznes masa ir 2,2 Saules masas, bet teorētiskā robeža ļoti ātri rotējošai

zvaigznei ir 2,9 Saules masas. Mazākā melnā cauruma masa ir 3,3 Saules masas, taču tāds zināms tikai viens, citiem masa ir apmēram 5 Saules masas. Melnā cauruma masas “teorētiskais minimums” ir 2,3 Saules masas. Iznāk, ka “zvaigžņu kapsētas” rinda ar masu 2,2–5 Saules masas ir

tikpat kā tukša. Situācija mainījās 2019. gada 14. augustā, kad tika reģistrēts gravitācijas vilnis GW 190814, ko radīja divi saplūstoši objekti. Aprēķini rādīja, ka mazākā objekta masa ir 2,6 Saules masas un tas ietilpst masas spraugā. Vai tā bija ļoti smaga neitronu zvaigzne vai ļoti



Melnie caurumi un neitronu zvaigznes, kas atklātas, izmantojot gravitācijas viļņus un tradicionālas metodes. Izdalīta masas sprauga

viegls melnais caurums, nav iespējams pateikt. Ja tā būtu neitronu zvaigzne, uz pārinieku – melno caurumu – krītošā viela vēl iespētu izstarot gaismu, taču šoreiz notikums

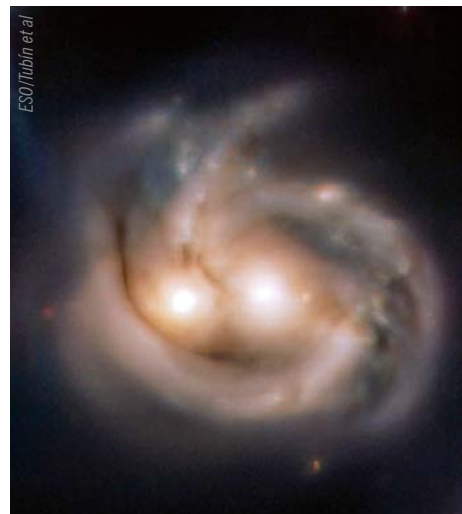
bija pārāk tāls (790 miljoni gaismas gadu), lai gaismu varētu saskatīt. Kā redzams attēlā, LIGO un *Virgo* gravitācijas viļņu observatorijas ir atklājušas vēl divus neitronu

zvaigžņu pārus, kas arī radījuši masas spraugā ietilpstošus objektus. “Zvaigžņu kapsētas” tukšā rinda sāk pakāpeniski aizpildīties, kaut arī mēs īsti nezinām, kas tur apglabāts.

PAR KO LIECINA GALAKTIKAS “SMAIDĪGS”?

Galaktika *Markarian 739* atrodas aptuveni 425 miljonu gaismas gadu attālumā no Zemes Lauvas zvaigznājā. Faktiski tās ir divas galaktikas – *Markarian 739W* un *Markarian 739E*, kas atrodas saplūšanas procesā. Abām galaktikām ir spoži kodoli, kuros izvietojušies supermasīvi melnie caurumi. Kodoli kopā ar lokveida spirālzarņu veido tādu kā smaidošu sejiņu. Attālums starp kodoliem ir relatīvi neliels, 11 tūkstoši gaismas gadu. Arī pats galaktiku pāris ir pietiekami tuvu Zemei, lai varētu

detalizēti pētīt tā saplūšanas gaitu. Ar Eiropas Dienvidu observatorijas VLT teleskopa instrumentu MUSE veikti galaktiku spektroskopiski novērojumi, kas palīdzēja labāk izprast saplūšanas procesa detaļas, abu galaktiku kustību, to zvaigžņu vecumu un ķīmisko sastāvu. Astronomi noskaidroja, ka *Markarian 739E* ir daudz vecāka par otru galaktiku, bet *Markarian 739W* ir jauna galaktika aktīvā zvaigžņu veidošanās stadijā. Viņi arī secināja, ka saplūšana ir sākusies nesen (astronomiskā laika mērogā) un tā ir pirmā abu galaktiku tikšanās. 🚀



“Smaidīgs” saplūstošu galaktiku pāris *Markarian 739* Lauvas zvaigznājā 425 miljonu gaismas gadu attālumā



Vai arī tavā pagalmā ir **METEORĪTS?**

PASAULĒ METEORĪTI
TIEK ATKLĀTI
VISDAŽĀDĀKAJĀS
VIETĀS, SĀKOT AR
TUKSNEŠIEM UN
BEIDZOT AR MĀJU
PAGALMIEM. IR
PIENĀCIS LAIKS ATKLĀT
JAUNUS METEORĪTUS
ARĪ LATVIJĀ!

KĀRLIS BĒRZIŅŠ,
Meteorītu muzejs,
Meteoriti.LV

Shutterstock

Meteorītu muzejs aicina ikvienu Latvijas iedzīvotāju iesaistīties pilsoņu zinātnes akcijā *Vai arī tavā pagalmā ir meteorīts?* Tās galvenais mērķis ir atklāt jaunus meteorītus Latvijā. To palīdzēs izdarīt Meteorītu

muzejā izstrādāts tiešsaistes algoritms, kas pat nespeciālistiem bez maksas mājas apstākļos ļaus atsijāt *nemeteorītus* no *pozitīviem meteorīta kandidātiem*. Nemeteorīti jeb pseidometeorīti ir dabiskas vai mākslīgas izcelsmes nekosmiski objekti, kuriem piemīt kāda meteorītiem raksturīga īpašība. Pozitīvs meteorīta kandidāts ir objekts, kuram piemīt vairākas meteorītiem raksturīgās īpašības, kas jāapstiprina laboratorijā.

Vispirms jāsaprot, kā izskatās iespējamie meteorīti. Kā padomdevējs var kalpot Meteorītu muzejā izstrādātais informatīvais materiāls *Meteorīti un nemeteorīti*, kas brīvi lejupielādējams personiskai lietošanai akcijas vietnē. Tajā apkopotas kosmosa viesu galvenās īpašības. Tad jānododas ārā un savā apkārtnē jāmēģina atrast meteorītam līdzīgu objektu – *meteorīta kandidātu*. Jāpievērš uzmanība gan atrašanās apstākļiem, gan laikam, gan vietai, gan citai saistītai informācijai. Ļoti ieteicams reģistrēt atrastā objekta ģeogrāfiskās koordinātas, lai attiecīgajā vietā būtu iespējams atgriezties. Tad tiešsaistē jāizpilda meteorītu identificēšanas (MID) tests: www.meteoriti.lv/mid. Neatkarīgi no iegūtā rezultāta testa beigās jāatzīmē, ka vēlaties piedalīties akcijā. Testu var brīvi lietot, arī neiesaistoties izsludinātajās aktivitātēs.

Meteorītu identificēšanas tests balstās uz objekta fizikālo un ģeoloģisko īpašību un tā izcelsmes apstākļu kopuma

analīzi, meklējot iespējamākās kombinācijas, kas raksturīgas dažādiem meteorītu tipiem vai nemeteorītiem. Visa MID testa laikā iesniegtā informācija tiek apstrādāta statistiski, anonīmā veidā. Dažos gadījumos precīzu rezultātu iespējams iegūt tikai laboratorijā, taču ar esošo algoritmu tika veikti simts miljoni teorētisku simulāciju un praktiski testēti vairāki desmiti meteorītu un nemeteorītu. Algoritms uzrādīja relatīvo statistisko kļūdu, kas bija mazāka par 2%.

Kā noteikt, vai zemē guļošais akmens ir meteorīts? Diemžēl nav vienas īpašības, pēc kuras būtu iespējams atbildēt uz šo jautājumu. Meteorīti mēdz būt dažādi, taču pastāv zināms īpašību kopums, kas piemīt kosmiskajai matērijai, jo tā radusies un evolucionējusi atšķirīgi no Zemes ģeoloģiskajiem procesiem. Apmēram 95% no visiem meteorītiem satur metālisku dzelzi, kuru var konstatēt pat ar nelielu magnētu. Taču pavisam nesen kritušam meteorītam nevajadzētu tuvināt magnētu, lai netiktu izdzēsta dabiskā 4,5 miljardus gadu ilgā vēsturiskā magnētiskā informācija, kas ļautu labāk izprast Saules sistēmas evolūcijas procesus. Dzelzs meteorītu ir mazāk nekā akmens meteorītu.

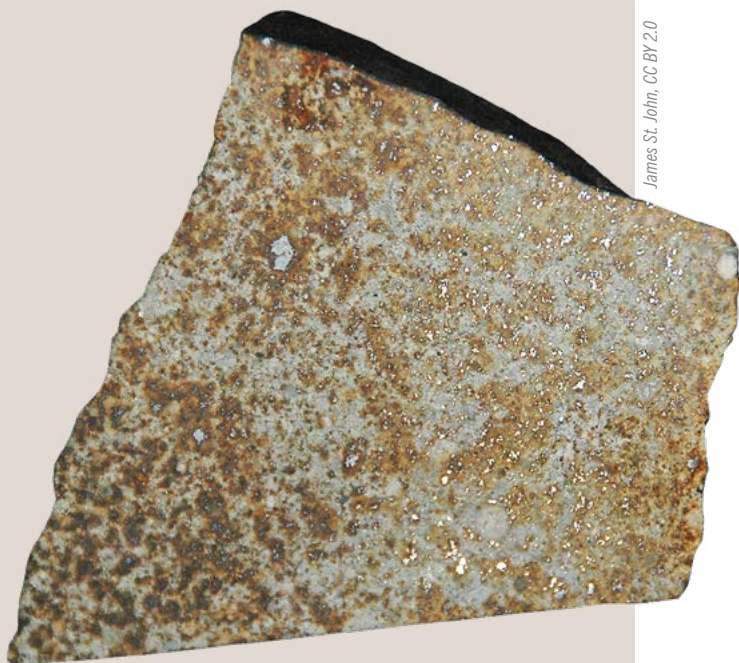
Tipiski meteorīti nav ļoti lieli: jo lielāks akmens, jo varbūtība, ka tas ir meteorīts, samazinās. Saskaņā ar Starptautiskās Meteorītu biļetena datubāzes (*Meteoritical Bulletin Database*) 2020. gada





Nesen krituša akmens meteorīta kusuma garoza

Tina Monto, CC BY SA 3.0



Tipisks akmens meteorīts – hondrīts. Redzami dzelzs ieslēgumi

James St. John, CC BY 2.0

datiem visbiežāk tiek atklāti 158–251 gramu smagi kosmiskie akmeņi, 90% meteorītu kopējā masa ir mazāka par 5,2 kilogramiem, bet 50% ir vieglāki par 255 gramiem.

Meteorītiem ir raksturīga ļoti plāna ārējā garoza, bieži plānāka par milimetru, kas veidojusies, tiem krītot Zemes atmosfērā. Tā var būt vietām atrauta vai saplaisājusī. Daļai meteorītu apvalkā izveidojušies tādi kā "īkšķa iespaidumi" – *regmaglipti*. Lielākā daļa akmeņu meteorītu (*hondrīti*) satur sīkus graudiņus, kas veidošanās laikā salīpuši kopā, tajos bieži pat ar neapbruņotu aci saskatāmas metālisks skaidas, turpretim citi (*ahondrīti*) veidojušies, iežiem sakūstot. Kosmiskajā dzelzī ir palielināts niķeļa daudzums. Tā kā meteorītos ir dzelzs, tie parasti ir smagāki nekā Zemes ieži, bet ne visi.

Pēc skata it kā necils akmeņš, kam katru dienu paejam garām, var izrādīties ārpuszemes izcelsmes objekts, kas atlidojis pie mums no kosmosa. Šādi atklājumi pasaulē notikuši ne reizi vien. Vēsturē zināmi trīs kuriozi gadījumi, kad smagi akmeņi, kas vairākus desmitus gadu izmantoti kā durvju atbalsti, izrādījušies meteorīti. Tā tika atklāts lielākais meteorīts Lielbritānijā – Viltšīra (*Wiltshire*; 92,75 kilogrami), pazīstams arī ar nosaukumu *Ezera māja* (*Lake House*), pie kuras tas tika atrasts. Savukārt 25,6 kilogramus smagais Bīveras (*Beaver*) meteorīts apmēram



Tā varētu izskatīties meteorīta krišana

40 gadus bija kalpojis par durvju atbalstu Oklahomas cietumā ASV. Tagad neliels Bīvera fragments aplūkojams

arī Meteorītu muzejā Rīgā. 2018. gadā Mičiganā tika konstatēts vēl viens 10 kilogramus smags meteorīts, kas arī

vairākas desmitgades bija nostāvējis pie ārdurvīm.

Pavisam nesen, 2021. gada 28. februārī, rets *oglekļa hondrīts* piezemējās Vinčkombē (Winchcombe), Anglijā, tieši uz privātmājas piebraucamā ceļa; tā krišanu novēroja gan Lielbritānijā, gan Francijā. Meteorīti ik gadu tiek atklāti tuksnešos, ledājos, džungļos, kalnos, laukos, pilsētu centros, māju pagalmos – visur. Zeme nav nodalīta no pārējā Visuma, kosmiskā matērija

PĒC SKATA IT KĀ NECILS AKMENS, KAM KATRU DIENU PAEJAM GARĀM, VAR IZRĀDĪTIES ĀRPUSZEMES IZCELSMES OBJEKTS, KAS ATLIDOJIS PIE MUMS NO KOSMOSA.

”

pastāvīgi saduras ar mūsu planētu, taču vienā ģeogrāfiskā vietā tas notiek ļoti reti. Meteorīti ir zinātniski nenovērtējams materiāls, kas glabā sevī informāciju par Saules sistēmas un pat citu zvaigžņu sistēmu izcelsmi un evolūciju. Meteorītu vecums bieži pārsniedz Zemes vecumu, kas ir 4,54 miljardi gadu.

Par Meteorītu muzeja akcijas paraugu kalpoja 2009. gadā Brazīlijas Nacionālā muzeja darbinieku sāktā meteorītu meklēšanas kampaņa. Viņi izveidoja vienkāršotu meteorītu īpašību kontrolesarakstu jeb algoritmu blokshēmas veidā, kas diemžēl saturēja vairākas loģiskās kļūdas, tādējādi samazinot testa precizitāti. Meteorītu muzejā, veicot 100 miljonus simulāciju pēc Brazīlijā lietotās metodikas, tika iegūta relatīvā kļūda 12,50%. Šis rādītājs ļauj savā starpā salīdzināt abas metodes.

Neraugoties uz kļūdām, algoritms veiksmīgi tiek lietots, un kopš kampaņas sākuma Brazīlijā ir izdevies atklāt 15 jaunus meteorītus, palielinot to skaitu līdz 80 jeb 11 gadu laikā par 23%. Vidējā platība, kādā ir atklāts viens meteorīts, kampaņas laikā samazinājusies no 13,1 tūkstošiem kvadrātkilometru līdz 10,6 tūkstošiem kvadrātkilometru. Latvijā šis rādītājs ilgstoši ir sliktāks – 16,1 tūkstošis kvadrātkilometru. ASV, kur meteorītu meklēšana notiek daudz aktīvāk, viens meteorīts ir atklāts vidēji uz 5,3 tūkstošiem kvadrātkilometru.



Graeme Churchard, CC BY 2.0

Dzelzs meteorīts ar "īkšķa nospiedumiem" – regmagliptiem

Pastāvot šādam atklāšanas blīvumam, Latvijā teorētiski būtu atklāti 12 meteorīti. Protams, salīdzināšanu nevar veikt tieši, jo rezultātu būtiski ietekmē meteorītu novecošanās un noārdīšanās klimata iespaidā, kas tuksnešainos un arktiskos apgabalos ir daudz lēnāka.

Statistika liecina, ka pasaulē, laboratoriski analizējot iedzīvotāju iesniegtos meteorītu kandidātus, mazāk nekā 1% no tiem izrādās kosmiskas izcelsmes objekti. Latvijā

šis rādītājs ir mazāks par 0,3%. Piemēram, Meteorītu muzejā piecu gadu laikā ir apsekoti apmēram divi simti dažādu objektu, bet līdz šim nav atklāts neviens jauns meteorīts, tiesa, lielākā daļa no tiem uzreiz tika izbrāķēti pēc vizuālām pazīmēm.

Dati nepārprotami norāda, ka Latvijā ir vēl neizmantots potenciāls atklāt jaunus, nezināmus meteorītus. Latvijas teritorijā līdz šim reģistrēti tikai četri meteorīti – Liksnā

”

VIENAM PĒTNIEKAM LATVIJAS TERITORIJAS APSEKOŠANAI BŪTU NEPIECIEŠAMS VAIRĀK NEKĀ TŪKSTOŠ GADU, TAČU, IESAISTOT DAUDZUS INTERESENTUS, VĒLAMO REZULTĀTU IESPĒJAMS IEGŪT KRIETNI ĀTRĀK.

(1820), kuram esam nosvinējuši jau divsimtgadi, Biržos (1863), Neretā (1864) un Baldonē (1890). Jau vairāk nekā 130 gadus pie mums nav atklāts neviens jauns meteorīts, un šīs akcijas galvenais mērķis ir to mainīt. Vienam pētniekam visas Latvijas teritorijas apsekošanai būtu nepieciešams vairāk nekā 1000 gadu, taču, iesaistot daudzus interesentus, vēlamo rezultātu iespējams iegūt krietni ātrāk.

Realizējot šo akciju, ir izvirzīti papildu mērķi: veicināt sabiedrības interesi un palielināt zināšanu līmeni par meteorītiņu, astronomiju un dabaszinātnēm; paaugstināt meteorītu diagnostikas efektivitāti, panākot, ka tikai labi meteorītu kandidāti nonāk līdz padziļinātai analīzei. Šajā procesā ir svarīgi ne tikai atsiņāt nemeteorītus, bet nepalaist garām arī kādu īstu meteorītu, vienlaikus samazinot pozitīvi *falšu* un negatīvi *falšu* iespējamu gadījumu skaitu. Tieši šo uzdevumu automatizēti risina izstrādātais MID algoritms. Kaut arī jau tagad MID rādītāji ir ļoti augsti, ir zināms, kā algoritmu uzlabot, izmantojot papildu informāciju no citām datubāzēm. Šīs ieceres pakāpeniski tiks realizētas, bet jau tagad tests ir pilnībā izmantojams.

Iesaistīšanās akcijā ir brīvprātīga, turklāt paredzams, ka īsta meteorīta atradējam izdotos arī nopelnīt. Precīzu summu gan iepriekš nav iespējams nosaukt. Meteorītu cenas ir atkarīgas no ļoti daudziem

Vai arī tavā pagalmā ir meteorīts?
Meteorītu muzeja Meteoriti.LV publiska akcija.

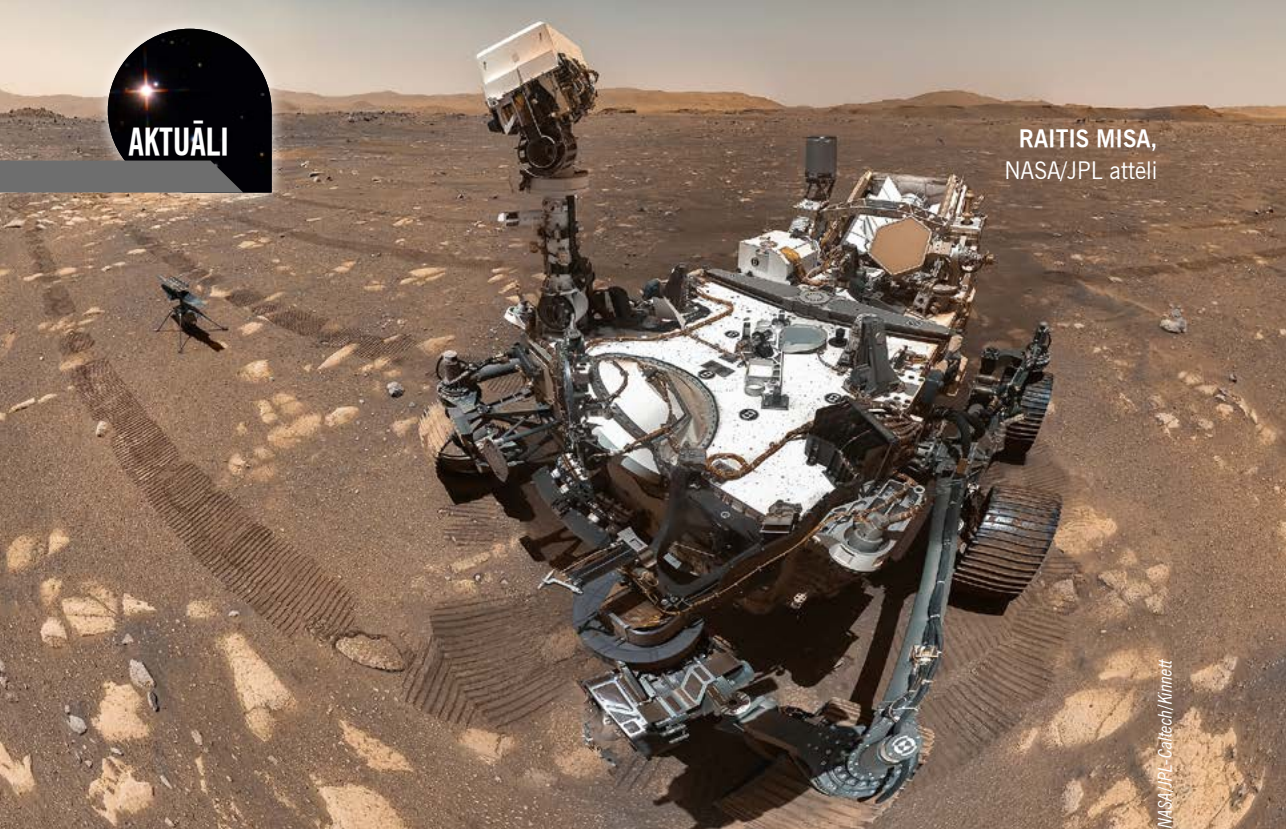
Meteorītu identificēšanas tests
www.meteoriti.lv/mid

faktoriem – no meteorīta tipa, lieluma, saglabāšanās pakāpes, arī no tā, kāds ir meteorīta stāsts. Jāuzsver, ka nevajadzētu lolot ilūzijas tādā veidā kļūt par miljonāru, peļņa drīzāk būtu salīdzināma ar tipisku azartspēļu laimestu.

Izskatīsim scenāriju, kā varētu notikt jauna Latvijas meteorīta atklāšana. Vispirms tiktu atrasts meteorīta kandidāts, varbūt – paceļot aizdomīgu akmeni, kas ilgus gadus iepriekš nogulējis sētmalē. Tad, veicot MID testu, tiktu iegūts pozitīvs rezultāts. Par to paziņotu Meteorītu muzejam, kurā veiktu laboratoriskas analīzes; ja nepieciešams, sadarbojoties ar citām laboratorijām Latvijā un ārzemēs. Iegūstot pozitīvu apstiprinājumu, vismaz 20% vai 20 grami no meteorīta masas tiktu ziedoti starptautiskajai Meteorītu savienībai – tālākiem zinātniskiem pētījumiem, uzglabāšanai un reģistrācijai, piešķirot reģistrācijas kodu un oficiālu

nosaukumu atbilstoši tuvākajai atrašanās ģeogrāfiskajai vietai. Pirms meteorīta sadalīšanas notiktu tā formas uzņēmēšana, kā arī veikti citi mērījumi, tostarp pārbaude, ka objekts ir atrasts tieši Latvijā. Tālāk ar meteorīta īpašnieku tiktu panākta vienošanās, lai pēc iespējas lielāka meteorīta daļa kļūtu par publiski apskatāmu un zinātniskās izpētes objektu Latvijā. Ar savu atradumu Latvijas meteorīta atklājējs spilgti ierakstītu savu vārdu meteorītikas vēsturē.

Meteorītu meklēšanas akciju atbalsta Latvijas Astronomijas biedrība (www.lab.lv), *StarSpace* (www.starspace.lv), saulespulkstenis.lv (saulespulkstenis.lv), Novero.LV (www.novero.lv), informatīvi – žurnāls *Zvaigžņotā Debess* (www.lu.lv/zvd). Aicinām ikvienu Latvijas iedzīvotāju iesaistīties akcijā *Vai arī tavā pagalmā ir meteorīts?*, kļūstot par jaunu Latvijas meteorītu atklāšanas līdzdalībnieku! 🦋



Visurgājēja *Perseverance* (*Neatlaidība*) pašportrets kopā ar helikopteru *Ingenuity* (*Atjautība*)

Perseverance.

Pirmie mēneši uz Marsa

UZ MARSA IERADIES JAUNS VISURGĀJĒJS UN
PIRMAIS HELIKOPTERS. KĀ TIEM VEICAS?

Visuma telpa ap Marsu 2021. gada pavasarī patiesi bija aktivitātēm bagātīga. Izmantojot labvēlīgo Zemes un Marsa izvietojumu, kas atkārtojas apmēram reizi divos gados, trīs kosmosa aģentūras nosūtīja uz Marsu savas zondes un visurgājējus.

Pirmais Marsa orbītā 9. februārī ieradās Apvienoto Arābu Emirātu kosmiskais aparāts *Hope Orbiter*. Dienu vēlāk tam piedrojas Ķīnas *Tianwen-1*. Ķīnieši mēģina vienā piegājienā īstenot trīs uzdevumus – ieiet Marsa orbītā, nolaisties uz Marsa un veikt izbraucienus ar visurgājēju

Zhurong. Raksta tapšanas brīdī sekmīgi veikti pirmie divi soļi, visurgājējs sekmīgi nolaidās uz Marsa 15. maijā.

MARSA VISURGĀJĒJS *PERSEVERANCE*

Perseverance tehniskais dizains un nolaišanās ar raķešdzinēju bloku, kad pēdējos

metrus līdz virsmai aparāts veic, karājoties trosēs, man-tota no 2012. gadā Marsu sa-sniegušā *Curiosity*, kas sver 899 kilogramus. *Perseverance* gan ir smagāks – sver 1050 ki-logramus. Abiem visurgājē-jiem enerģiju nodrošina ra-dioizotopu termoelektriskais ģenerators, kas plutoni-ja-238 sabrukšanas siltumu pārvērš elektrībā. Plānots, ka šāds risinājums nodrošinās vismaz desmit gadus nepār-traukta darba. Praksē šis laiks noteikti būs ilgāks, jo līdzīgs ģenerators nodrošina enerģi-ju *Voyager* zondēm, bet to li-dojums ilgst teju 44 gadus.

Perseverance mērķis ir meklēt dzīvības pazīmes vie-tās, kur tā reiz varētu būt bi-jusi. Bet šim visurgājējam ir arī blakus uzdevumi, tostarp

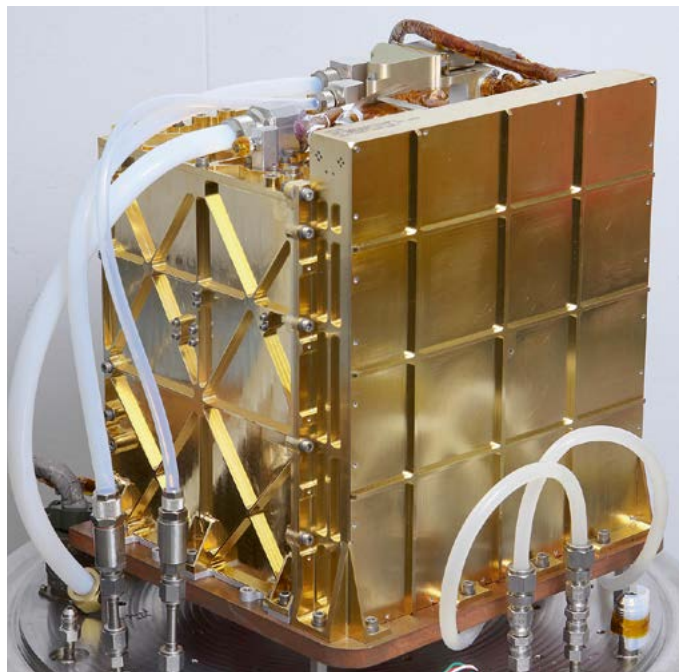


Perseverance karājas trosēs mirkli, pirms tā riteņi pieskārušies Marsa virsmai

praksē pārbaudīt tehnolo-ģijas, ko nākotnē varētu iz-mantot citās robotiskās un pilotējamās Marsa ekspe-dīcijās. *Perseverance* ievāks arī Marsa grunts paraugus,

kas vēlāk ar citiem aparā-tiem tiks nogādāti uz Zemes.

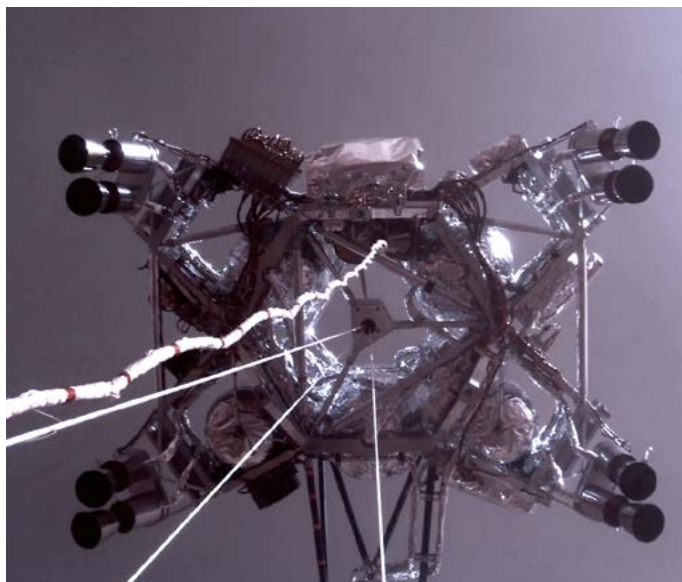
Interesants ir skābekļa ie-guves eksperiments MOXIE (*Mars Oxygen In-Situ Resource Utilization Experiment*), kura mērķis ir praksē pārliecinā-ties, ka no Marsa atmosfērā esošās ogļskābās gāzes sau-sās elektrolīzes procesā var ražot skābekli. Eksperiments bija sekmīgs – 20. aprīlī tika saražoti 5,37 gramī skābek-ļa stundā. Ar to pietiktu, lai cilvēks varētu elpot apmē-ram 10 minūtes. Būs vēl vai-rāki eksperimenti, bet prin-cipā metode darbojas un ir turpmāk izmantojama skā-bekļa ražošanai gan raķe-šu dzinējiem, gan Marsa pētniekiem elpošanai.



Skābekļa ieguves eksperimentālā iekārta MOXIE

IERAŠANĀS

18. februārī *Perseverance* kapsula iegāja Marsa at-mosfērā ar ātrumu gandrīz 20 000 kilometru stundā. Tā aerodinamiski bremzējās. Kad ātrums nokritās līdz apmēram



Nolaišanās raķešu modulis gādā par drošu *Perseverance* nolaišanos uz Marsa

1600 kilometriem stundā, atvērās izpletņis. Nolaižoties pirmo reizi tika izmantota automātiska sistēma, kas nolaišanās laikā uzņemtus attēlus salīdzina ar attēliem, kas ir datora atmiņā. Tie iegūti iepriekš, fotografējot Marsa virsmu no orbītas. Šādi nolaišanās modulis zina, kur atrodas, un spēj pieņemt lēmumu, kur labāk nolaisties, balstoties uz reāliem attēliem. Šāda pieeja bija nepieciešama, jo nolaišanās vietā Jezero krāterī bija maz līdzenu laukumu un tie bija salīdzinoši nelieli.

Ierašanās uz Marsa pirmo reizi tika fiksēta video un fotografēta nolaišanās laikā. Šim mērķim izmantoja lejupvērstas kameras, kas uzstādītas nolaišanās raķešu modulī, un *Perseverance* kameras, kas bija vērstas gan uz augšu, gan uz leju. Pirmie attēli un arī video parāda brīdi,

kad apmēram 11 kilometru augstumā atvērās izpletņis. Tas notika ļoti strauji, un to ir vērts apskatīt video ierakstā (ieskenē QR kodu!).

Izpletņa krāsainajās svītrās binārajā kodā bija iekodēta Teodora Rūzvelta teiktā frāze "Uzdrieksties varenas lietas" (*Dare Mighty Things*) un NASA Reaktīvās kustības laboratorijas JPL koordinātas Kalifornijā. Par to, ka nolaišanās video ir redzams kāds pārsteigums, NASA paziņoja preses konferencē. Lai atkodētu ziņojumu, atjautības uzdevumu entuziastiem bija nepieciešamas tikai sešas stundas.



Virsmas attēlus uzņēma, sākot ar brīdi, kad aparāts nometa siltumaizsardzības vairogu, kas pasargāja visurģājēju, ieejot atmosfērā, un sakarsa līdz 1300 °C. Ar šo



Perseverance izpletņī iekodētais ziņojums

NOLAIŽAMĀ APARĀTA IZPLETŅA KRĀSAINAJĀS SVĪTRĀS BINĀRAJĀ KODĀ BIJA IEKODĒTA TEODORA RŪZVELTA TEIKTĀ FRĀZE: “UZDRĪKSTIES VARENAS LIETAS.”

brīdi savu darbību sāka arī kontroles sistēma, kas nodrošināja to, ka *Perseverance* sekmiņi nolaidās līdzenā Jezero krātera apgabalā. Apmēram divu kilometru augstumā, lidojot ar ātrumu aptuveni 320 kilometri stundā, visurgājējs un raķešu bloks atdalījās no izpletņa. Sākas nolaišanās noslēguma posms, kas notiek ar raķešu dzinējiem.

Tieši pirms nolaišanās orientējoši 20 metru augstumā, lidojot ar ātrumu 2,7 kilometri stundā, sākās 6,6 metrus garo nolaišanās

trošu iztīšana. Mirklī, kad *Perseverance* riteņi pieskārās Marsa virsmai, raķešu bloks atdalījās un, aizlidojis drošā attālumā, nokrita uz Marsa virsmas. Brīdī, kad no Marsa tika saņemts apstiprinošs signāls, *Perseverance* vadības centrā sākās liela sajūsma.

Marsa attēlus ir redzējuši gandrīz visi. Pateicoties 19 *Perseverance* kamerām, attēlu būs daudz vairāk. Bet neviens no tiem droši vien neradīs tik lielu prieku kā pats pirmais, kas praktiski uzreiz pēc nolaišanās

tika uzņemts ar navigācijas kameru. Tas skaidri vēstīja – visurgājējs ir ieradies uz Marsa un gatavs darbam.

“BRĀĻU RAITU MIRKLIS”

Perseverance nogādāja uz Marsa arī nelielu helikopteru *Ingenuity*, kura uzdevums bija parādīt, ka uz Marsa ir iespējams lidot. Tās svars ir 1,8 kilogrami, divu pretējos virzienos rotējošo spārnu garums ir 1,2 metri. Tik lieli spārni ir nepieciešami, jo Marsa atmosfēras spiediens ir mazāks par vienu procentu no normālā Zemes atmosfēras spiediena. Zemes atmosfērā šāds spiediens ir apmēram 27 kilometru augstumā. Eksperimenta mērķis ir iegūt datus par pirmajiem lidojumiem uz Marsa un tos ņemt vērā, izstrādājot lielākus un iespējam bagātīgākus lidaparātus. *Ingenuity* vienīgais instruments, neskaitot tos, kas nepieciešami navigācijai un sakariem, ir kamera, kas skatās uz leju.

Marsa helikopters atdalījās no visurgājēja 3. aprīlī. Sākas gatavošanās pirmajam lidojumam. 8. aprīlī izmēģināja spārnus, tos iegriežot līdz 50 apgriezieniem minūtē. Nākamajā dienā bija paredzēts ātrgaitas spārnu izmēģinājums, bet tas bija neveiksmīgs, jo nostrādāja drošības taimers, kas pārtrauca izmēģinājuma komandu virkni. Patiesībā *Ingenuity* nebija tehnisku problēmu, daters vienkārši “aizmirs” atiestatīt taimeru. Tika iestatīts programmatūras jauninājums, un turpmāk ar pirmo



Pirmais *Perseverance* uzņemtais Marsa virsmas attēls ar zemu izšķirtspēju



Marsa helikopters *Ingenuity* lidojumā. Attēls uzņemts ar *Perseverance* kameru *Mastcam-Z*

piegājienu helikopters pacelsies apmēram 85% gadījumu. Tātad taimera ietekme pilnībā novērsta tomēr nav, taču tā ir tikai programma-tūras problēma, mehāniski *Ingenuity* ir lieliskā stāvoklī.

Datums, ko kosmosa entuziasti var "ierakstīt annālēs", ir 2021. gada 19. aprīlis. *Ingenuity* iegrieza spārnus līdz 2400 apgriezieniem minūtē un veica pirmo vertikālo lidojumu trīs metru augstumā, līdz ar to kļūstot par pirmo lidaparātu, kas lidojis citas planētas atmosfērā. Horizontāli aparāts nepārvietojās. Nākamie lidojumi pakāpeniski kļuva augstāki un tālāki. 29. aprīlī atkal lika sevi manīt drošības taimera problēma. Lidojums nenotika, bet jau nākamajā dienā 4,9 metru augstumā helikopters nolidoja 266 metrus un uzņēma daudz melnbaltu un

krāsainu attēlu, no kuriem veidos apvidus telpisko karti.

Sākotnēji *Ingenuity* lidojumu programma bija plānota 30 Marsa diennakšu garumā. Galvenais iemesls ir tas, ka sakariem ar Zemi ir nepieciešama *Perseverance* līdzdalība. Helikopters ar visurgājēju var sazināties maksimāli viena kilometra attālumā. Loģiski, ka *Perseverance* nevar ilgstoši uzturēties vienā vietā, tam jānododas veikt savus uzdevumus. Vēlāk lidojumu programmas ilgumu

dubultoja. 7. maijā notika helikoptera piektais lidojums, kad tas pārlidoja uz citu vietu 129 metru attālumā, kas ietilpst *Perseverance* maršrutā. Turpmāk *Ingenuity* no tehnoloģiju demonstrēšanas helikoptera kļūs par Marsa izpētes misijas daļu. Paredzēts, ka līdz augustam visurgājējs palēnām veiks apmēram 2 kilometrus garu ceļu un helikopters, ja spēs, tam sekos, veicot vienu lidojumu 2–3 nedēļās.

Diezgan droši, ka 2021. gada augustā *Ingenuity* misija

”
KOSMOSA ENTUZIASTI VAR "IERAKSTĪT ANNĀLĒS" 2021. GADA 19. APRĪLĪ. TAD *INGENUITY* KĻUVA PAR PIRMO LIDAPARĀTU, KAS LIDOJIS CITAS PLANĒTAS ATMOSFĒRĀ.

UZ MARSA IZVEIDOTS PIRMAIS LIDLAKS, KAS NOSAUKTS BRĀĻU RAITU VĀRDĀ. TAS IR PIRMAIS ĀRPUSZEMES LIDLAKS, KURAM STARPTAUTISKĀ CIVILĀS AVIĀCIJAS ORGANIZĀCIJA PIEŠĶĪRUSI KODU.

noslēgsies, jo *Perseverance* vadības komandai būs jāsāk gatavoties konjunkcijai, kad Marss un Zeme atrodas katrs savā Saules pusē un sakari ar Marsu nav iespējami.

Pirmo vietu, no kuras pacēlās un nolaidās *Ingenuity*, NASA nosauca par Brāļu Raitu lidlaku. Tas ir pirmais ārpuszemes lidlaks, kuram Starptautiskā Civilās aviācijas organizācija piešķīrusi lidlauka kodu (JZRO). Pats *Ingenuity* saņēmis starptautisko

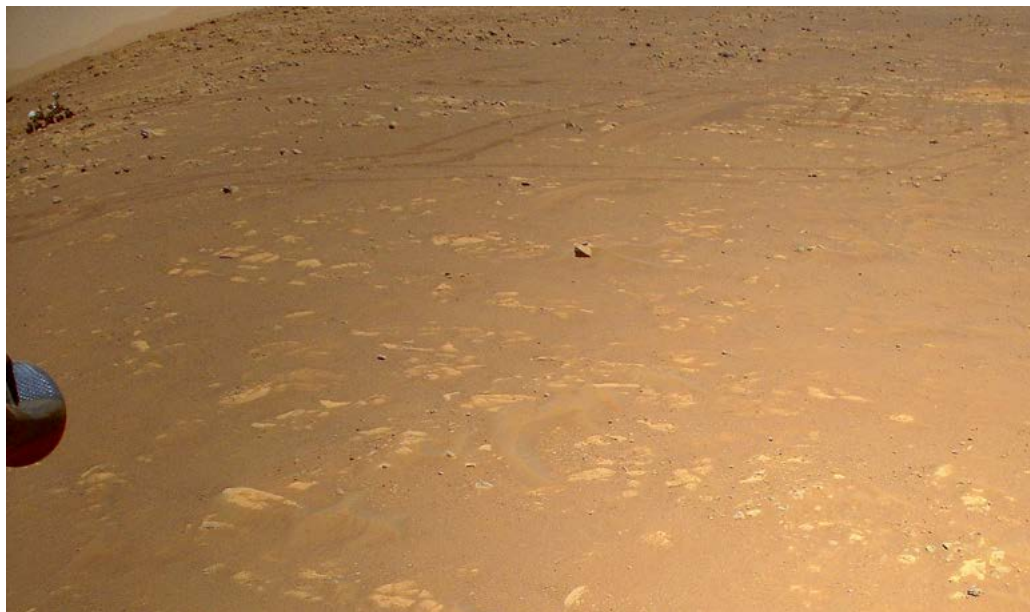
lidaparāta kodu (IGY), bet oficiālais izsaukuma kods, ko izmanto radiosakaros, ir *INGENUITY*. Nav gan sagaidāms, ka šis kods kādreiz tiks izmantots, jo *Ingenuity* nav pilota, kas varētu to lietot.

Godinot aviācijas pionieru sasniegumus un īpaši izceļot to, ka *Ingenuity* ir pirmais lidaparāts, kas, izmantojot dzinēju spēku, lidojis citas planētas atmosfērā, pie helikoptera zem saules paneļa piestiprināts

neliels gabaliņš no pašas pirmās lidmašīnas – brāļu Raitu *Wright Flyer* spārnu auduma.

PIEKŠĀ VĒL DAUDZ DARBA

Perseverance galvenais uzdevums ir meklēt vietas, kur ir bijuši dzīvībai piemēroti apstākļi. Papildu uzdevumi ir bioloģisko marķieru meklēšana un Marsa paraugu ievākšana. Bioloģiskie marķieri liecinātu par to, ka uz Marsa tik tiešām varētu būt pastāvējusi dzīvība vismaz mikroorganismu formā. Marsa paraugus, kas iegūti, veicot urbumus, noglabās īpašās metāla caurulītēs. Paraugu vākšanas programmas beigās šīs caurulītes zināmā vietā atstās uz Marsa virsmas. Uz Zemi paraugus nogādās jau cita, vairāku posmu starptautiska misija, kuras sastāvdaļu izstrāde jau ir sākusies. 🦋



Skats no gaisa. Attēla kreisajā augšējā stūrī redzams visurgājējs

ILGONIS VILKS

HABLA spriedze

PĒDĒJOS GADOS AR DAŽĀDĀM METODĒM IEGŪST ARVIEN PRECĪZĀKU UN TAJĀ PAŠĀ LAIKĀ ARVIEN ATŠKIRĪGĀKU HABLA KONSTANTES VĒRTĪBU. PROBLĒMA NOSAUKTA PAR HABLA SPRIEDZI.

AGRĪNAIS VISUMS – MIKROVIĻŅU NESTĀS LIECĪBAS

Cik ātri izplešas Visums? Atbilde ir atkarīga no tā, kam pavaicāsi. Ar Planka (*Planck*) kosmisko teleskopu iegūto kosmiskā mikroviļņu fona mērījumu galīgās apstrādes rezultātā 2018. gadā ieguva Habla konstantes vērtību $67,66 \pm 0,42 \text{ km}/(\text{s} \times \text{Mpc})$. Tas nozīmē, ka, attālumam pieaugot par vienu megaparseku, galaktikas “skrien projām” par 67,66 kilometriem sekundē

ātrāk. Šādai Habla konstantes vērtībai saskaņā ar vispārpieņemto kosmoloģijas standarta modeli atbilst Visuma vecums $13,787 \pm 0,02$ miljardi gadu. Varētu sacīt, kur nu vēl vairāk, Visuma vecums noteikts ar 20 miljonu gadu precizitāti, tas ir izcils kosmoloģijas pētījumu rezultāts! Tā arī ir, tomēr viss nav tik vienkārši.

Ar Planka teleskopa datiem lielā mērā sasauca 2020. gadā Simona Ajolas (*Aiola*) vadītās pētnieku

grupas publicētie Atakamas Kosmoloģijas teleskopa (*Atacama Cosmology Telescope*) rezultāti, kas arī iegūti, mērot kosmisko mikroviļņu fonu, tikai šajā gadījumā starojuma temperatūras fluktuācijas un polarizācijas izmaiņas tika mērītas vienā debess apgabalā, toties ar vēl lielāku izšķirtspēju, nekā to spēja izdarīt Planka teleskops. Zinātnieki noteica ļoti mazā attālumā starp mikroviļņu fona “elementiem”. Ja

zināms arī fiziskais attālums starp elementiem, iespējams izrēķināt attālumu līdz tiem. Savukārt kosmiskā mikroviļņu fona rašanās laiks ir labi zināms, tie ir 379 tūkstoši gadu pēc Lielā Sprādziena. Tika iegūta Habla konstantes vērtība $67,6 \pm 1,1 \text{ km}/(s \times \text{Mpc})$, kas ir ļoti tuva Planka rezultātam.

VĒLĪNĀ VISUMA KOSMISKĀS KĀPNES

Taču šie abi rezultāti attiecas uz agrīno Visumu. Savukārt, veicot mērījumus mums apkārt esošajā kosmiskajā telpā, kas pārstāv "vēlīno Visumu", regulāri iegūst lielāku Habla konstantes vērtību. Pēdējo desmit gadu apjomīgākais projekts Habla konstantes noteikšanai, izmantojot tā sauktās "kosmiskās kāpnes", ir saistīts ar Ia tipa pārnovu attāluma noteikšanu (*Supernova HO for the Equation of State* jeb SHOES), un to vadīja Ādams Riiss (*Riess*) no Džona Hopkina Universitātes ASV, kurš saņēma daļu Nobela

VISUMA VECUMS NOTEIKTS AR 20 MILJONU GADU PRECIZITĀTI, TAS IR IZCILS KOSMOLOĢIJAS PĒTĪJUMU REZULTĀTS!

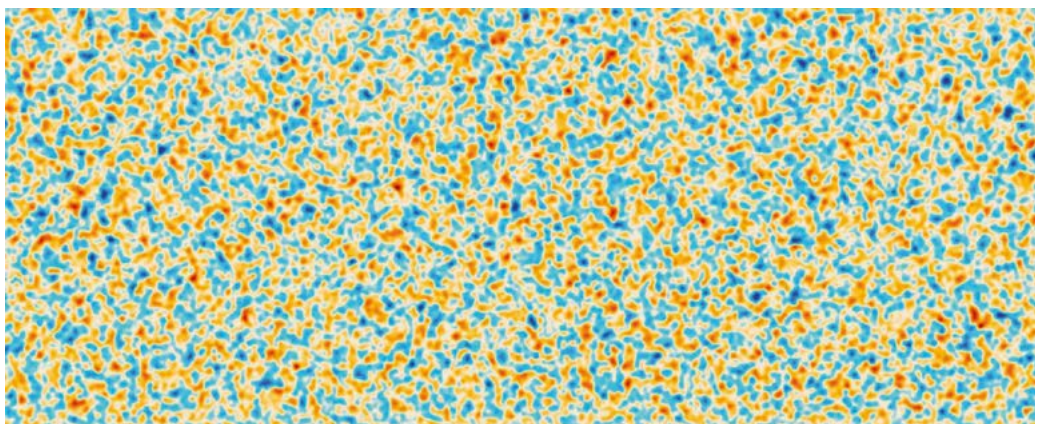
prēmijas par Visuma paātrinātās izplešanās atklāšanu. Ia tipa pārnovas ir ciešas dubultsistēmas, kurās uz balto punduri no otras zvaigznes plūst ūdeņradis. Kad sasniegta ūdeņraža "kritiskā masa", uz baltā pundura notiek kodoltermisks sprādziens.

2019. gadā projektā tika iegūta Habla konstantes vērtība $74,03 \pm 1,42 \text{ km}/(s \times \text{Mpc})$. Tādā gadījumā Visums izplešas ātrāk, un tas ir aptuveni vienu miljardu gadu jaunāks.

Salīdzinot šo skaitli ar rezultātiem, kas iegūti no mikroviļņu fona mērījumiem, redzams, ka kļūdu intervāli nepārklājas, vēl vairāk – rezultātu atšķirība tuvojas 5 sigmu līmenim, ko zinātnē bieži izmanto datu izvērtēšanai.

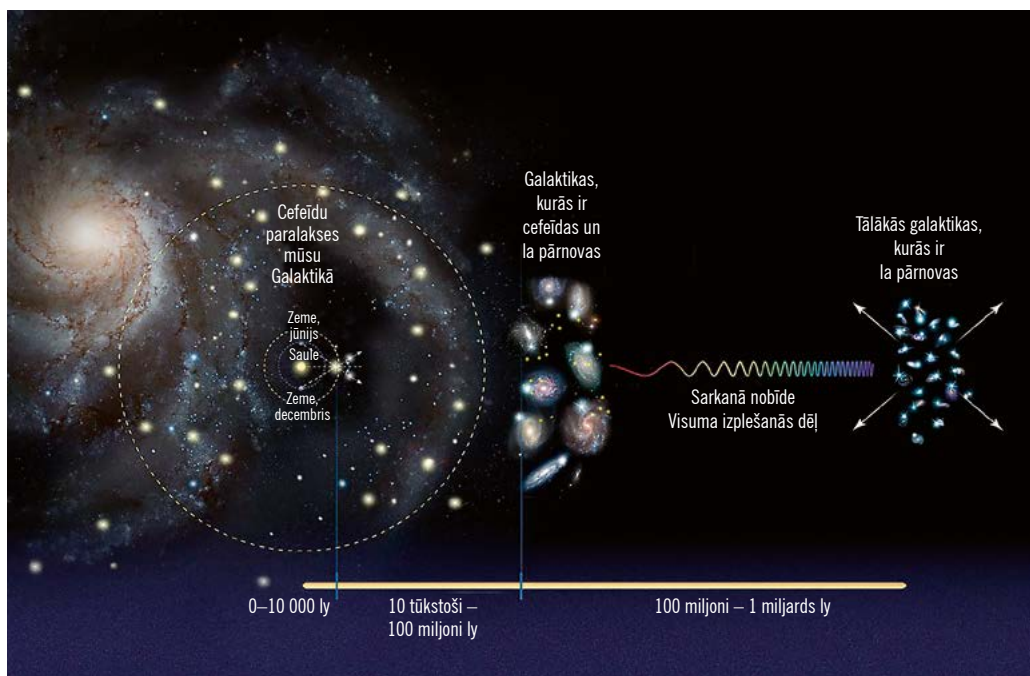
Piecas sigmas nozīmē – iespēja, ka rezultātu atšķirība ir vienkārši sagādīšanās, ir aptuveni 1 no 3,5 miljoniem. Pārējās 3 499 999 iespējas norāda uz to, ka atšķirībām ir fizikāls pamats. Ne velti šī problēma nosaukta par Habla spriedzi!

Pirms spriest par atšķirību iemesliem, noskaidrosim, kā darbojas kosmiskās kāpnes, kurām ir trīs galvenie pakāpieni. Pirmajā pakāpienā mūsu Galaktikā zvaigznēm ar labi zināmu starjaudu izmēra paralaksi – leņķisko nobīdi pie debess sfēras, kas rodas tāpēc, ka Zeme kustas ap Sauli. Zvaigznes ar labi zināmu starjaudu parasti ir pulsējošās mainzvaigznes – cefeīdas, kurām pastāv



ACT Collaboration

Ar Atakamas Kosmoloģijas teleskopu iegūtais kosmiskā mikroviļņu fona attēls aptver debess joslu 50 pilnmēnešu platumā un reprezentē 20 miljardus gaismas gadu lielu Visuma apgabalu. Sarkanā un zilā krāsa parāda starojuma polarizācijas izmaiņas



Kosmiskās attālumu kāpnes. Pirmais pakāpiens – zvaigžņu paralakšu noteikšana mūsu Galaktikā, 2. pakāpiens – cefeīdu izpēte tuvējās galaktikās, 3. pakāpiens – pārnovu uzliesmojumu novērojumi tālās galaktikās

cieša sakarība starp pulsāciju periodu un starjaudu. Taču, kā redzēsīm tālāk, var izmantot arī citas zvaigznes.

Otrajā solī izpēta cefeīdas tuvākajās galaktikās, kas dod iespēju noteikt attālumu līdz šīm galaktikām. Galaktikās notiek arī la tipa pārnovu uzliesmojumi, kam spožuma maksimumā ir praktiski vienāda starjauda, tāpēc tās izmanto kā “standarta sveces”.

Trešajā solī meklē la tipa pārnovu uzliesmojumus tālās galaktikās un pēc pārnovu starjaudas nosaka attālumu līdz galaktikām. Nu atliek iegūt galaktikas spektru, kam ir sarkanā nobīde Visuma izplešanās dēļ, un noteikt galaktikas attālināšanās ātrumu. Tad

izrēķina Habla konstanti, ātrumu izdalot ar attālumu.

Protams, viss nav tik vienkārši, kā izklausās, katrā solī rodas mērījumu kļūdas, kurām ir nelāga tendence uzkrāties. Tomēr kopumā metode ir labi izstrādāta, un astronomi uz to lielā mērā paļaujas. Papildus lieto arī citus attāluma mērīšanas “pakāpienus un starppakāpienus”.

Projektā SH0ES izmantoja Habla kosmiskā teleskopa novērojumus. Novērojumu objekti bija cefeīdas mūsu Galaktikā, Lielajā Magelāna Mākonī un tuvējās galaktikās, tostarp galaktikā NGC 4258, kā arī apmēram 300 pārnavas tuvās un tālās galaktikās. Tiem pievienoja vēl citus datus, tostarp nesen iegūtu precīzu Lielā Magelāna Mākoņa attāluma

”
IESPĒJA, KA AR DAŽĀDĀM METODĒM
IEGŪTĀS HABLA KONSTANTES ATŠĶIRĪBAS
IR VIENKĀRŠI SAGADĪŠANĀS, IR APMĒRAM
VIENS NO MILJONA.

novērtējumu, un ieguva iepriekš minēto Habla konstantes vērtību 74,03 km/(s×Mpc). 2020. gada decembrī tika publicētas jaunākās zvaigžņu paralakses, kas noteiktas ar kosmisko teleskopu GAIA. Pētnieki ātri veica pārreķinu un ieguva nedaudz mazāku Habla konstantes vērtību $73,2 \pm 1,3$ km/(s×Mpc), kas tomēr ievērojami atšķiras no tām, ko dod kosmiskā mikroviļņu fona novērojumi.

IEJAUCAS SARKANIE MILŽI

2019. gadā astronomu grupa Čikāgas Universitātes astrofizikas Vendijas Frīdmanes (*Freedman*) vadībā publicēja Habla konstantes vērtību, kas iegūta jaunā veidā – kosmisko kāpņu otrajā pakāpienā izmantoja nevis cefeīdas, bet sarkanos milžus. Vienā no sarkano milžu evolūcijas fāzēm notiek hēlija uzliesmojums, kad zvaigznes kodolā no hēlija intensīvi veidojas ogleklis. Neilgi pirms uzliesmojuma sarkanais milzis Hercšprunga-Rasela diagrammā sasniedz sarkanā milžu zara virsotni – maksimālo starjaudu. Šī starjauka ir labi zināma no teorētiskiem aprēķiniem, un to var izmantot zvaigznes attāluma noteikšanai.

Astronomi ar Habla kosmisko teleskopu novēroja sarkanos milžus 18 galaktiku ārējā daļā un izmantoja iegūtos datus, lai kalibrētu la tipa pārnovu uzliesmojumus tajās pašās galaktikās un tālāk Visumā. Pēc Frīdmanes domām, sarkano milžu novērojumiem ir priekšrocība,

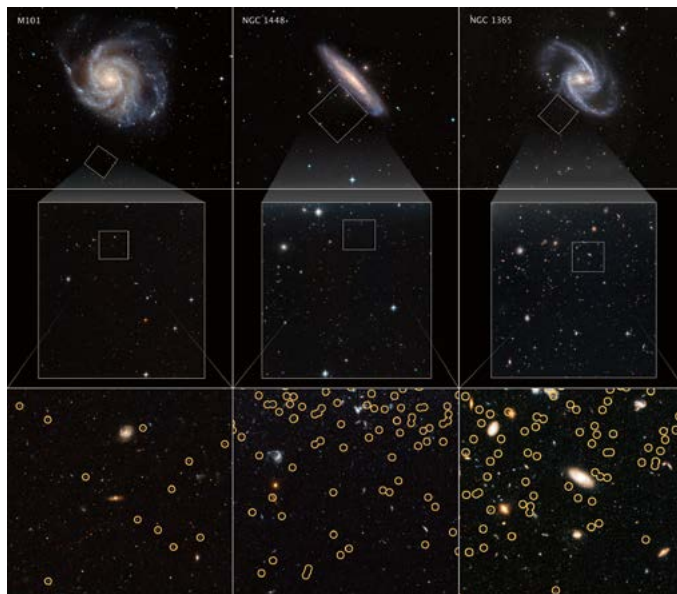
HABLA KONSTANTES “VIDĒJĀ” VĒRTĪBA, KAS TIKA IEGŪTA, PĒTOT SARKANOS MILŽUS, NESAMIERINĀJA “PRETĒJĀS PUSES”, DRĪZĀK UZKURINĀJA JAUNU DISKUSIJU.

jo tie atrodas galaktiku ārējā daļā, kur ir maz citu zvaigžņu. Cefeīdas atrodas galaktiku diskos, kur fona zvaigznes un starpzvaigžņu putekļi var radīt kļūdu. Savukārt Ādams Riss aizstāv cefeīdu metodi, sakot, ka šajā pētījumā nav precīzi novērtēta putekļu koncentrācija Lielajā Magelāna Mākonī, tāpēc iegūta zemāka Habla konstantes vērtība. Frīdmanes grupas rezultāts ir $69,8 \pm 1,7$ km/(s×Mpc). Tas

ir pa vidu starp iepriekš aplūkoto vērtībām, tomēr īsti nesakrīt ne ar vienu, ne ar otru. Līdz ar to tas nesamierināja “pretējās puses”, drīzāk uzkurināja jaunu diskusiju.

KAM TAISNĪBA?

2019. un 2020. gadā dažādās kosmologu konferencēs notika debates par atšķirīgo Habla konstantes vērtību. Vieni no aktīvākajiem dalībniekiem, protams,



Habla konstantes noteikšanai jaunā veidā ar Habla kosmisko teleskopu novēroja sarkanos milžus (dzeltenie aplīši) galaktiku ārējā daļā



Astronomi Ādams Riss un Vendija Frīdmane. Viņu vadītās pētnieku grupas ieguvušas ievērojami atšķirīgu Habla konstantes vērtību

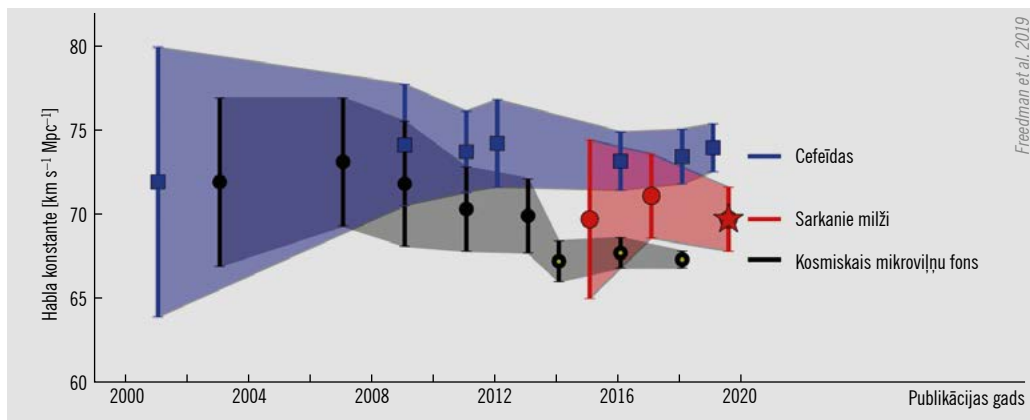
bija šo rezultātu “vaininieki” – Ādamss Riss un Vendija Frīdmane. Tas atgādina situāciju pirms 100 gadiem, kad 1920. gada 26. aprīlī divi amerikāņu astronomi Hārlovs Šeplijs un Hebers Kērtiss debatēja par Andromedas miglāja dabu un attālumu. Šeplijs uzskatīja, ka miglājs ietilpst mūsu Galaktikā, Kērtiss domāja, ka tā ir patstāvīga galaktika. Piecus gadus vēlāk cits amerikāņu astronoms Edvins Habls pierādīja, ka

Kērtisam ir taisnība. Starp citu, Andromedas miglāja attāluma noteikšanai viņš izmantoja cefeīdas.

Tātad, mērot kosmisko mikroviļņu fonu, iegūst Habla konstantes vērtību ap 68 km/(s×Mpc), izmantojot cefeīdas – ap 73 km/(s×Mpc). Vai astronomi kaut ko nesaņem par zvaigznēm, kuras viņi pēta, vai arī “nav kārtībā” kosmoloģijas standarta modelis? Kosmoloģijas modeli, kurš ietver gan tumšo

matēriju, gan tumšo enerģiju, vismaz pagaidām mainīt negrāsās, jo uz tā balstās daudzi paredzējumi, kas izrādījušies pareizi, kaut vai ķīmisko elementu relatīvais daudzums Visumā. Iespējams, ka vainojamas kosmiskās attāluma kāpnes, kurās iezagušās kalibrēšanas neprecizitātes; lai pieminam kaut vai putekļu radīto starpzvaigžņu absorbciju.

Daži astronomi spriež, ka nepieciešamas jaunas fizikas idejas. Var būt, ka tumšā enerģija pastāv ne tikai vienā veidā, bet vairākos? Varbūt nāksies precizēt gravitācijas teoriju? Tomēr domājams, ka līdzīgi kā Šeplija un Kērtisa debašu gadījumā visu savās vietās noliks jauni zinātniskie rezultāti. Tos varētu sagādāt amerikāņu astronomes Nensijas Romanas vārdā nosauktais 2,4 metru infrasarkanais teleskops, kuru plānots palaist kosmosā 2025. gadā, un citi jauni lieli teleskopi, kas stāsies ierindā 20. gadu vidū. 🚀



Habla konstante tiek noteikta arvien precīzāk, taču ar dažādām metodēm iegūtās vērtības pakāpeniski “atdalās” cita no citas

Plaukstā – telpiskas planētas

Varbūt piederat pie Marsa izpētes faniem, kaut vai tāpēc, ka 2021. gads atnācis ar kvalitatīvi jaunu Marsa pētījumu vilni? Iespējams, ka jums noderēs virtuālās darba vides rīks, ko turēt plaukstā ikreiz, kad mobilajā telefonā

pārlapojam programmu izvēlnes vai atveram sākuma ekrānu. *Space 3D Live Wallpaper* ļauj *Android* lietotājiem uzlikt fonā Marsa vai citas Saules sistēmas planētas globusu. Bez maksas pieejamas četras Saulei tuvākās

planētas. Mainot ekrāna lapas, planēta rotē un telpiski pagriežas līdzī telefonā skata virzienam. Lietotne neko vairāk arī nepiedāvā, bet ļauj veikt nelielus pielāgojumus. Patīks vizuālā noformējuma cienītājiem. 🚀





Saules sistēmas devītā planēta – būt vai nebūt?

Caltech/IR. Hurt (IPAC)

SAULES SISTĒMAS VISTĀLĀKO TRANSNEPTŪNA OBJEKTU ORBĪTU PERIHĒLIJA PUNKTI ŠĶIETAMI IR SAKOPOTI VIENVIET. VAI TĀS IR LĪDZ ŠIM VĒL NENOVĒROTAS TĀLAS UN MASĪVAS PLANĒTAS IEDARBĪBAS SEKAS VAI NEJAUŠA SAKRITĪBA?

Vēsturiski jau ir pieredzēts, ka jauna planēta tiek atklāta, vispirms novērojot tās ietekmi uz citām planētām, bet tikai pēc tam saskatot pašu vainīgo. Šādā veidā tika atklāts Neptūns, kura atrašanās vieta pie debessjuma vispirms tika teorētiski paredzēta, vadoties no novērotajām īpatnībām Urāna kustībā, bet pats Neptūns

tika ieraudzīts teleskopā vēlāk, 1846. gadā. Līdzīgs, vēl nepabeigts, stāsts sākās 2003. gadā ar transneptūna objekta Sednas un tās īpatnējās un līdz galam neizskaidrotās orbītas atklāšanu.

SEDNA UN ČITI EKSTRĒMIE TRANSNEPTŪNA OBJEKTI

Sednas orbītas perihēlijs un afēlijs ir attiecīgi 76 un 937 au, bet lielā pusass

506 au, kas to pārliecinoši ierindo starp transneptūna Saules sistēmas objektiem, t. i., starp tādiem, kuru orbītas lielā pusass ir lielāka nekā Neptūnam (30,1 au). Tā kā lielā pusass ir lielāka par 150 au, tad Sedna ietilpst ekstrēmo transneptūna objektu apakšklasē. Orbītas lielā ekscentricitāte liecina par iepriekšēju mijiedarbību ar kādu citu masīvu objektu, bet

lielais attālums līdz Neptūnam liek apšaubīt, ka šis objekts ir Neptūns. Sednas orbītas īpatnības varētu izskaidrot arī ar kādas pagātnē Saulei pietuvojušās zvaigznes gravitācijas spēka iedarbību vai ar ietekmi no apkārtējām zvaigznēm vēl Saules sistēmas pirmsākumos. Tomēr, pētot vēl piecu citu tālāko ekstrēmo transneptūna objektu orbītas, 2016. gadā zinātnieki atklāja sakritību, ka orbītu perihēliji (Saulei tuvākie orbītu punkti) atrodas salīdzinoši tuvu cits citam. Ilgākā laikā šādam sakopojumam būtu jāizjūk. Tas, ka tāds sakopojums joprojām pastāv, vedina domāt, ka iemesls ir kāds debess ķermenis, kas atrodas orbītā ap Sauli, nevis ceļojis garām tālā pagātnē (skat. arī Ilgoņa Vilka un Aijas Kalniņas rakstu *Iespējamais Plutona*

TRANSNEPTŪNA OBJEKTU ORBĪTU SAKOPOJUMS VEDINA DOMĀT, KA ORBĪTĀ AP SAULI IR VĒL KĀDS NEZINĀMS LIELAS MASAS DEBESS ĶERMENIS.

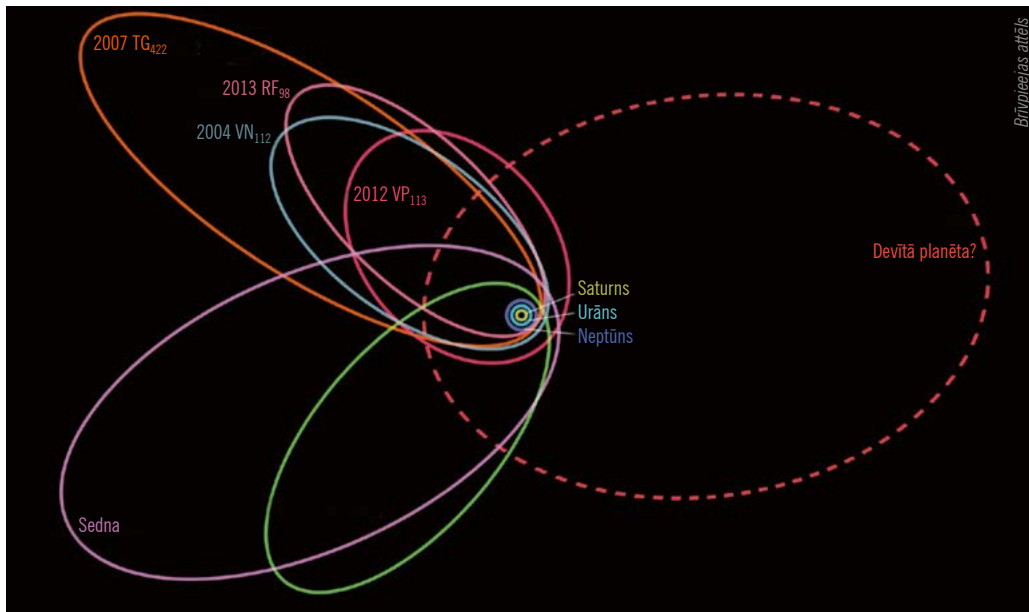
aizstājējs? Zvaigžņotās Debess 2016. gada pavasara numurā).

TĀLAS UN MASĪVAS DEVĪTĀS PLANĒTAS HIPOTĒZE

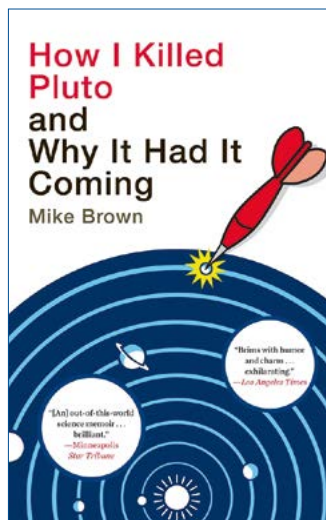
Pēc šiem novērojumiem un sekojošām datorsimulācijām zinātnieki nonāca pie secinājuma, ka orbītā ap Sauli varētu būt vēl devītā planēta ar orbītas perihēliju ap 200 au, afēliju ap 600 au un masu, kas ir vienāda ar 5–10 Zemes masām.

Līdz galam neatbildēts jautājums ir, kā šāda planēta

varētu būt izveidojusies. Izvirzītas vairākas hipotēzes. Pirmkārt, planēta varētu būt radusies tās tagadējā vietā Saules sistēmas veidošanās laikā. Tas gan nozīmē, ka Saules sistēmas pirmsākumos planētu izejmateriālam bija jāstiepjas šajos milzīgos attālos. Otrkārt, planēta varētu būt atnākusi no citas planētu sistēmas. Treškārt, planēta varētu būt veidojusies daudz tuvāk Saulei, un mijiedarbībā ar citām planētām "aizšauta" prom, bet,



Sednas un citu transneptūna objektu orbītas. Iezīmēta hipotētiskā devītās planētas orbīta



Maikla Brauna grāmatas
Kā es nogalināju Plūtonu vāks

pārvietojoties salīdzinoši blīvā gāzē, kāda tā bija Saules sistēmas pirmsākumos, atkal nobremzējusies un ieguvusi tagadējo orbītu.

Savā ziņā ironiski, ka viens no pētījuma autoriem ir Maikls Brauns (*Brown*), kurš pirms tam jau bija iemantojis slavu ne tikai kā Sednas, bet 2005. gadā arī kā viens no pundurplanētas Erīdas atklājējiem. Erīdas masa ir lielāka par Plūtona masu, kurš tobrīd vēl tika ierindots starp deviņām Saules sistēmas planētām.

Ņemot vērā arī citu, lai arī ne tik masīvu, bet pielīdzināmu, objektu pastāvēšanu, starptautiskajā astronomu sabiedrībā izraisījās diskusija, vai tie arī būtu saucami par planētām līdzīgi kā Plūtons. Pēc diskusijām Starptautiskā Astronomijas savienība 2006. gadā pieņēma lēmumu turpmāk nesaukt Plūtonu, Erīdu un citus līdzīgus objektus par planētām, bet gan par pundurplanētām (skat. Starptautiskās Astronomijas savienības rezolūciju *Zvaigžņotās Debess* 2006./2007. gada ziemas numurā). Šā lēmuma pieņemšanā liela loma bija Maiklam Braunam. Iznāk, ka cilvēks, kurš ir lielā mērā atbildīgs par iepriekšējās devītās planētas “zaudēšanu”, iespējams, ir atradis pierādījumus citas, daudz masīvākas, devītās planētas pastāvēšanai.

DEVĪTĀS PLANĒTAS MEKLĒJUMI

Līdz ar hipotēzes izvirzīšanu sākās planētas meklējumi gan ar teleskopiem, gan arhīvu attēlos, bet atklāta tā joprojām nav. Jebkurš ķermenis izstieptā orbītā pārvietojas ātrāk, atrodoties tuvāk Saulei, un lēnāk, esot

tālāk no tās, tādējādi pavada lielāko daļu laika tālu prom no Saules. Bet tāls objekts ir ļoti blāvs, līdz ar to meklējumiem der tikai pasaules jutīgākie teleskopi, turklāt, ieteicams, ar plašu redzes lauku, lai varētu ātrāk pārmeklēt lielus debesjuma apgabalus.

Ir izvirzīta arī šķietami fantastiska hipotēze, ka transneptūna objektu orbītu sakopojumu ir izraisījis nevis neatklāta planēta, bet gan melnais caurums orbītā ap Sauli, kas izveidojies vēl Visuma pirmsākumos. Melnie caurumi, kas veidojas, zvaigžņu kodoliem sabrūkot gravitācijas spēka ietekmē, var būt ar masu, ne mazāku par 2,2 Saules masām, kamēr pirmatnējiem melniem caurumiem šāda ierobežojuma nav, un tie teorētiski var būt ar potenciālās planētas masu 5–10 Zemes masas.

Hipotēzei ir zināms pamatojums – gravitācijas mikroļēcu novērojumos konstatēts vairāk gadījumu, nekā sagaidīts, kad lēcas efektu radījušais objekts ir neliels, ar masu līdz 20 Zemes masām. Šādi objekti varētu būt tālu starpzvaigžņu telpā kļīstošas planētas vai arī pirmatnējie melnie caurumi, kuru izmēri ir mazāki nekā planētām un kuri var radīt līdzvērtīgu lēcas efektu, atrodoties daudz tuvāk – Saules sistēmā, nevis tālu starpzvaigžņu vidē.

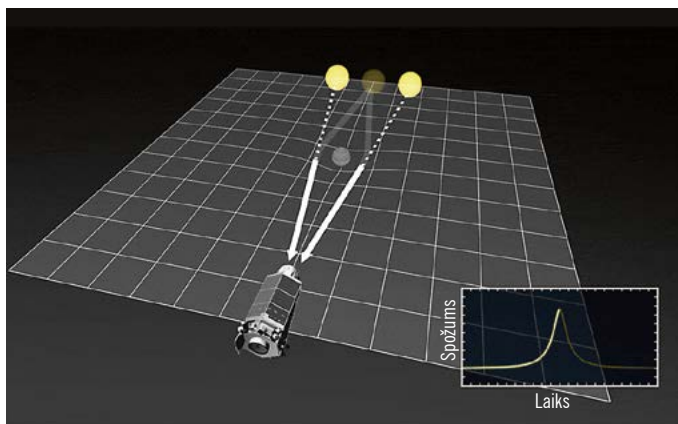
HIPOTĒZE APŠAUBĪTA

Kopš 2016. gada ir atklāti jauni ekstrēmie transneptūna objekti. Dažos gadījumos

CILVĒKS, KURŠ IR LIELĀ MĒRĀ ATBILDĪGS PAR IEPRIEKŠĒJĀS DEVĪTĀS PLANĒTAS “ZAUDĒŠANU”, IESPĒJAMS, IR ATRADIS PIERĀDĪJUMUS JAUNAS DEVĪTĀS PLANĒTAS PASTĀVĒŠANAI.

izvirzītā hipotēze par deviņo planētu šķietami tika apstiprināta. Bet citi zinātnieki šo hipotēzi apšaubā, jo pastāv iespēja, ka novērotais pundurplanētu orbītu sakopojums ir nejauša sakritība. Tāpat ir jāņem vērā, ka transneptūna objekti ir ļoti blāvi un tos ir daudz grūtāk ieraudzīt uz Piena Ceļa fona. Tāpēc ne visos debeszuma virzienos ir vienlīdz liela iespēja atklāt transneptūna objektus, un var būt, ka tie ir tikai šķietami sakopoti, jo tajā virzienā teleskopi bijuši pavērsti biežāk un ir vieglāk tos ieraudzīt. To sauc par novērojumu selekcijas efektu.

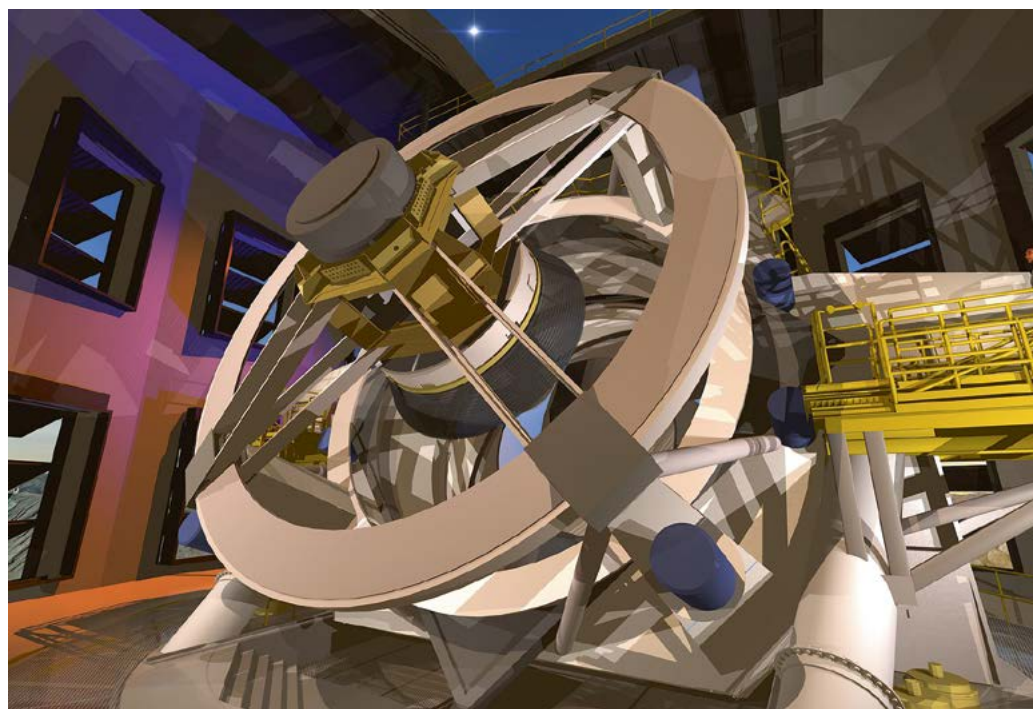
2021. gadā atsevišķā pētījumā zinātnieki apskatīja 14 citus ekstrēmās



Planētas radīts gravitācijas mikrolēcas efekts izraisa īslaicīgu zvaigznes spožuma pieaugumu

transneptūna objektus un konstatēja, ka to sadalījums debeszumā visos virzienos ir viendabīgs. Lielāku skaidrību par šo orbītu sakopojumu var sagaidīt pēc tam, kad

2023. gadā novērojumus sāks jaunā Veras Rubinas (*Rubin*) vārdā nosauktā observatorija Čīlē. Ir sagaidāms, ka ar to tiks atklāti simtiem jaunu ekstrēmās transneptūna objektu. 🚀



Iespējams, ka Veras Rubinas observatorijas 8,4 metru teleskops atrisinās jautājumu par deviņās planētas eksistenci

KRISTAPS KEMLERS

Gredzenveida galaktika

Gredzenveida galaktika NGC 1291 atrodas Eridānas zvaigznājā 33 miljonu gaismas gadu attālumā. Tā nav klasiska galaktika, tajā ir kaut kas noslēpumaini mistisks. Mēģinot iztēloties, kā būtu dzīvot šādā galaktikā, autors nolēma to nofotografēt. Šāda iespēja radās 2018. gadā ceļojumā uz Kalahari tuksnesi Namībijā.

Aprīkojums: Riči-Kretjēna 8 collu (20 cm) F8 astrogrāfs, vācu ekvatoriālā montējuma statīvs. Sensors: līdz $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ atdzesēta monohroma lādiņsaites matrica KAF 16200 CCD ar LRGB filtriem – trīs krāsu un spilgtuma (*luminance*) filtrs.

Attēls iegūts no atsevišķām ekspozīcijām ar šādiem filtriem:

L – 6×15 minūtes, R – 3×15 minūtes, G – 3×15 minūtes,
B – 3×15 minūtes. Kopējais ekspozīcijas ilgums: 3 stundas un 45 minūtes.

ZINĀTNES
SASNIEGUMI

HARIJS PAVELČUKS, JĀNIS KAULIŅŠ

Brīvības attēls



Globālās navigācijas satelītu sistēmas

KĀ TAVS MOBILĀIS TELEFONS "ZINA", KUR TAS ATRODAS?

Šobrīd pasaulē darbojas vairākas globālās navigācijas satelītu sistēmas (GNSS). Tās sastāv no noteikta skaita satelītu, kas riņķo ap Zemi. GNSS uztvērēji, kas atrodas uz Zemes, saņem pozicionēšanas un laika datus no redzes laukā esošajiem satelītiem. Izmantojot šos datus, ir iespējams noteikt uztvērēja atrašanās vietu (koordinātas). Globāla mēroga kosmiskās navigācijas sistēmas ir GPS (ASV), GLONASS (Krievija), *Galileo* (Eiropa) un *BeiDou* (Ķīna). Japānas QZSS un Indijas IRNSS ir reģionāla mēroga navigācijas sistēmas.

Pirmsākumos tās bija domātas tikai armijas vajadzībām, taču mūsdienās tās ir publiski pieejamas un bez maksas. GNSS arvien plašāk izmanto būvniecībā, mērniecībā, mašīnvadībā, sauszemes un ūdens transporta navigācijā, autonomā automašīnu vadībā un daudz kur citur. Aizvien pieejamākas kļūst jaudīgas mazizmēra mobilās ierīces – tālruņi un viedpulksteņi, kas nosaka savu atrašanās vietu.

SATELĪTU NAVIGĀCIJAS SISTĒMU ATTĪSTĪBA

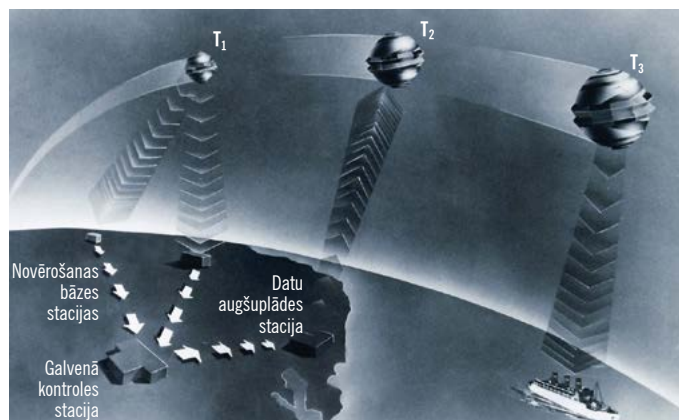
1957. gadā ASV zinātnieki spēja noteikt pirmā PSRS satelīta *Sputnik-1* orbītu, analizējot satelīta raidīto signālu Doplera efektu. Balstoties uz šā novērojuma, tika likti pamati koncepcijai par satelītu navigāciju. Pirmā no tām bija ASV armijas navigācijas satelītu sistēma *Transit*. To izstrādāja, lai nodrošinātu precīzu

navigāciju jebkādos laikapstākļos, it īpaši zemūdeņu vajadzībām. Sistēma bija veidota tā, lai jebkurš transportlīdzeklis, kas aprīkots ar speciālu datoru, spētu atpažīt satelītu raidīto kodēto signālu un pārvērst to ģeogrāfiskā garuma un platuma koordinātās, lai noteiktu savu atrašanās vietu.

Transit attīstība notika ļoti strauji. Pirmie satelīti tika nogādāti kosmosā 1960. gadā, bet jau 1968. gadā sistēma bija sasniegusi pilnībā darbojošos konstelāciju ar 36 satelītiem aptuveni 1100 kilometru augstumā. Tomēr pavadoņu relatīvi nelielais skaits un zemā orbīta neļāva mērījumus veikt nepārtraukti. Ekvatora tuvumā pozīciju varēja noteikt ik pēc nepilnām divām stundām, pola tuvumā – ik pēc pusstundas. Armijas vajadzībām *Transit* sistēmu sāka izmantot 1964. gadā. 1967. gadā tā tika nodota arī komerciālai lietošanai un darbojās līdz pat 1996. gadam, kad GPS pilnībā pārņēma tās funkcijas.

1973. gadā ASV armijas vajadzībām sāka uzlabot un modernizētas globālas satelītu navigācijas sistēmas izstrādi. Sākumā to nosauca par NAVSTAR, vēlāk pārdevēja par GPS. Lielākais uzlabojums bija ļoti precīzu atompulksteņu uzstādīšana satelītos, kas nodrošināja vienvirziena attālumu mērījumus. GPS laika gaitā ir pilnveidota un papildināta, lai precīzu pozicionēšanu nodrošinātu nepārtraukti un jebkurā vietā uz Zemes.

Paralēli ASV sistēmām PSRS tika izstrādāta navigācijas sistēma *Циклон* un ne daudz vēlāk tās civilā versija *Цикада*. Arī *Циклон* mērķis bija nodrošināt atomzemūdes ar precīzām koordinātām, lai raķetes, kas raidītas no zemūdes, spētu precīzi trāpīt mērķi. Jau 1962. gadā tika izstrādāts skiču projekts, bet tikai 1967. gadā tika palaisti pirmie satelīti. 1971. gadā sākās sistēmas testa pārbaude. Pavadoņu orbītu augstums bija ap 800 kilometru, un tie raidīja



Transit satelīts darbībā

Brīvpieejas attēls



Циклон satelīta makets

nepārtrauktus divu frekvenču signālus. Paralēli tika izveidota vēl viena sistēma *Циклон-Б*, ko vēlāk pārdēvēja par *Парус*. Tā bija iepriekšējās sistēmas *Циклон* uzlabotā versija un būtībā – ASV veidotās *Transit* sistēmas kopija. Pirmie starti notika 1974. gadā, pilnu darbības pakāpi tā sasniedza jau 1976. gadā. Līdzīgi kā ASV, arī PSRS savu navigācijas sistēmu ar laiku nodeva civilai lietošanai. Civilo versiju *Цикада* sāka izstrādāt 1974. gadā un 1979. gadā to nodeva ekspluatācijā, tajā bija četri satelīti. Uz šo sistēmu bāzes vēlāk

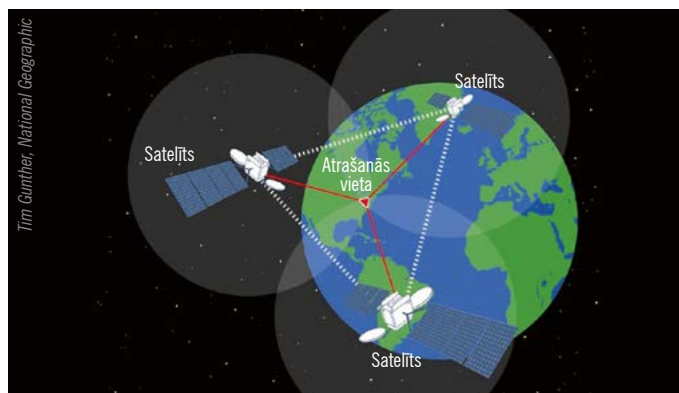
izstrādāja tagad pazīstamo GNSS sistēmu GLONASS.

Satelītu navigācijas attīstībā liela loma bija militārajai

sāncensībai un vajadzībai pēc precīzas atrašanās vietas noteikšanas. Var droši apgalvot, ka bez Aukstā kara GNSS attīstības pašreizējais līmenis būtu ievērojami zemāks.

SATELĪTNAVIGĀCIJAS PRINCIPS

GNSS darbības princips balstās uz trilaterāciju, kurā, zinot attālumus no vairākiem satelītiem līdz uztvērējam, nosaka uztvērēja atrašanās vietu. Ja ir zināms satelīta attālums līdz uztvērējam, var uzzīmēt sfēru, kuras centrā atrodas satelīts. Sfēras rādiuss ir vienāds ar attālumu līdz uztvērējam. Krustpunkts, kurā krustojas vairākas šādas sfēras, ir uztvērēja atrašanās vieta. Vienkāršotā satelītu pozicionēšanas ideja attēlota 1. attēlā. Lai noteiktu attālumu starp satelītu un uztvērēju, ir nepieciešams noteikt laika starpību, kurā no satelīta sūtītais signāls nonāk uztvērējā. Reizinot laika starpību ar signāla pārvietošanās ātrumu, tiek aprēķināts attālums starp satelītu un uztvērēju.



Uztvērēja atrašanās vietas noteikšana ar satelītu palīdzību



GPS jaunākās, trešās, paaudzes satelīts

Realitātē tas ir daudz sarežģītāk. Jāņem vērā satelītu pārvietošanās, Zemes atmosfēras ietekme, būtiskā atšķirība starp pulksteņu precizitāti uztvērējos un satelītos un lielais attālums līdz satelītiem, kas atsauca uz uztvērējā saņemtajā signāla kvalitāti. Lai uztvērēji nebūtu pārāk dārgi, tajos nelieto tik augstas precizitātes pulksteņus kā satelītos.

Lai pilnībā izprastu, kā uz satelītiem balstīta

pozicionēšana darbojas, ir jāapskata visi trīs procesā iesaistītie segmenti.

Pirmais segments ir satelīti, kuru kopu sauc par konstelāciju. Katrs mūsdienu navigācijas satelīts ir aptuveni vieglās automašīnas izmērā (vai pat lielāks) un sver 1–1,5 tonnas. GNSS satelītu orbītas augstums ir pat vairāk nekā 20 000 kilometru. Šādā augstumā satelītu trajektorija ir ļoti stabila

un paredzama. Katram satelītam ir informācija par savu orbītu un satelītos izmantoto laiku, kas tiek noteikts ļoti precīzi, līdz pat relatīvajai precizitātei 10^{-11} . Satelītu raidītais signāls ir radioviļņi, kas pārvietojas ar gaismas ātrumu. Laika informācijas novirze par sekundes miljono daļu atbilst 30 centimetru attālumam, kas nozīmē, ka pat niecīga nobīde laikā rada samērā lielu pozicionēšanas

klūdu. Lai šāda problēma nerastos, kontroles stacijas uz Zemes nepārtraukti apstrādā datus par konstelācijas satelītiem un nepieciešamības gadījumā korigē satelītu precīzā laika un orbītas datus.

Otrais segments ir kontroles mehānisms. Tas sastāv no novērošanas stacijām, kas izvietotas dažādās vietās uz Zemes, arī no galvenās kontroles stacijas, kas apkopo informāciju no pārējām novērošanas stacijām. Kontroles mehānisms aprēķina satelītu orbītas, atslēdz nedarbojošos satelītus, kalibrē to pulksteņus, uztur un atjaunina lietotājiem pārraidītās navigācijas ziņas un veic citas darbības. Korekcijas uz satelītiem tiek nosūtītas reizi dienā vai biežāk, ja tas ir nepieciešams, un tikai no vienas stacijas.

Trešais segments ir lietotājs, kura dēļ sistēma tiek veidota. Uztvērējs uztver signālus no vairākiem satelītiem

un katram individuāli nosaka laika intervālu, kādā tas ir nonācis no satelīta līdz uztvērējam. Zinot satelīta pārraidītā signāla struktūru, ir iespējams noteikt laika nobīdi no brīža, kad signāls ir izsūtīts, līdz brīdim, kad uztvērējs to ir uztvēris. Reizinot laika nobīdi ar gaismas ātrumu, iegūst tā saukto pseidoattālumu. Tas ir aprēķinātais attālums no satelīta līdz uztvērējam, kas satur dažādas kļūdas, ko rada atmosfēra un citi blakus faktori. Pseidoattālums nav patiesais attālums no satelīta līdz uztvērējam.

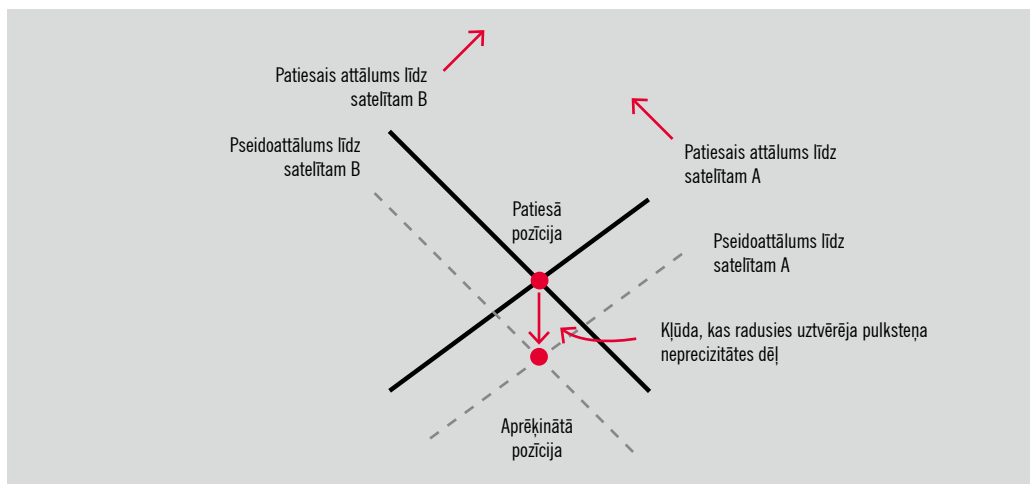
Viens no novirzes iemesliem ir arī nepietiekami precīzs uztvērēja pulkstenis. Lai noteiktu patieso attālumu, nepieciešams uztvērēja laiku padarīt tikpat precīzu, kāds ir satelītos esošais laiks. To panāk ar uztvērēja programma-tūru, uztvērēja laiku vai nu nedaudz aizturot, vai paātrinot – tik daudz, lai visi pseidoattālumi krustotos vienā

punktā. Šādā veidā uztvērējs var noteikt precīzu atrašanās vietu un ļoti precīzu laiku.

Lai varētu noteikt atrašanās vietu, uztvērējam nepieciešams saņemt signālu no vismaz četriem satelītiem, kas ir tiešā redzamībā, jo jānosaka trīs telpiskās koordinātas un laiks. Kad vienlaikus izmanto vairākas satelītu sistēmas, piemēram, GPS un *Galileo*, tad minimālais satelītu skaits ir pieci, jo papildu satelīts nosaka laika starpību starp satelītu konstelācijām. Vairāk nekā piecu satelītu lietošana uzlabo pozicionēšanas precizitāti, jo uzlabojas satelītu izvietojuma ģeometrija attiecībā pret uztvērēju. Jo vairāk satelītu, jo plašāk ap uztvērēju tie izvietoti, jo precīzāki ir pozicionēšanas aprēķini.

MĒRĪJUMU KĻŪDU AVOTI

Pseidoattālumi satur dažādas kļūdas. Lai tās varētu "izslēgt", nepieciešams izprast to rašanās iemeslus,



Pseidoattālumu un patieso attālumu saistība. Harija Pavelčuka veidota shēma



Krievijas GLONASS satelīta modelis

ietekmi uz rezultātu un veidus, kā tās samazināt.

Satelītu trajektorijās rodas nelielas novirzes, tāpēc GNSS novērošanas stacijas nepārtraukti novēro satelītus un pēc novērojumu datiem pastāvīgi aktualizē efemerīdas. Tomēr pat ar orbītas datu korekciju kļūda var sasniegt 2–2,5 metrus. Šis kļūdas iespējams samazināt ar globālu vai reģionālu precizitātes uzlabošanas sistēmu, piemēram, Eiropas Ģeostacionārās navigācijas pārklājuma dienesta (EGNOS) palīdzību.

Cits kļūdu avots ir pulksteņu neprecizitāte. Lai gan satelītu pulksteņi ir ļoti precīzi (precizitāte 1–3 nanosekundes diennaktī), tomēr pat tie laika gaitā nedaudz novirzās. Tāpēc GNSS novērošanas stacijas seko satelītu

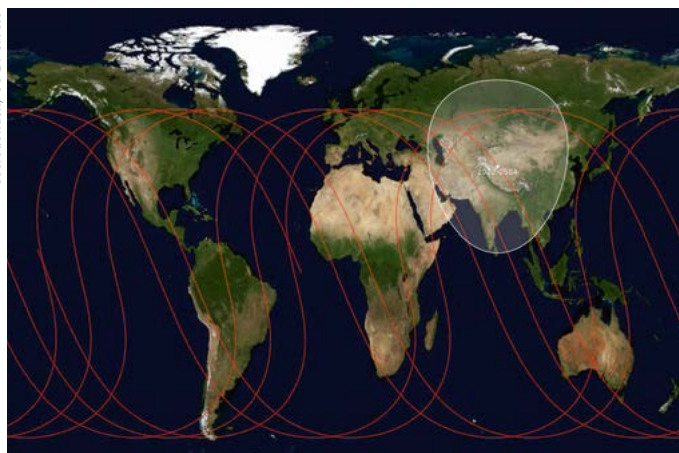
pulksteņiem, tos salīdzinot ar vēl precīzākiem cēzija pulksteņiem, kas atrodas uz Zemes. Tie ir tik precīzi, ka vajadzētu paiet 100 000 gadu, lai to kļūda sasniegtu 1 sekundi. Satelītu pārraidītajos signālos ir informācija par konkrētā satelīta pulksteņa laika novirzi. Šā laika novirzes kļūda pozicionēšanā var sasniegt 2 metrus. Lai sasniegtu augstāku precizitāti, ir nepieciešams iegūt satelītu precīzo laiku no globālās vai reģionālās precizitātes uzlabošanas sistēmas, kas veic katra satelīta precīzā laika aprēķinu.

Vēl viens veids, kā kompensēt satelītu pulksteņu kļūdas, ir reālā laika uztvērēju lietošana, ko plaši izmanto mērniecībā. Uztvērējos lieto mazākus un lētākus pulksteņus nekā satelītos, tie novirzās no

precīzā laika krietni vairāk nekā satelītu pulksteņi. Ir divi veidi, kā šo novirzi kompensēt. Var lietot precīzu papildu pulksteņi, taču šāds pulksteņis ir ļoti dārgs. Otrs veids ir nobīdes novēršana, pozicionēšanas procesā to iekļaujot pie nezināmajiem lielumiem. Saņemot signālus no satelītiem, uztvērēja laiku koriģē tā, lai satelītu pseidoattālumi krustotos vienā punktā. Šādā veidā ar uztvērēja pulksteņi iegūst precīzu laiku.

Noteiktu kļūdu rada arī relativistiskie efekti. Tieši GNSS ir tā joma, kur ar tiem sastopamies ikdienā. Vispirms jāņem vērā, ka satelīts attiecībā pret novērotāju kustas ar ātrumu vairāki kilometri sekundē, tāpēc attāluma mērījumus nepieciešams labot atbilstoši speciālajai relativitātes teorijai. Turklāt šis labojums pastāvīgi mainās, mainoties novērotāja un satelīta savstarpējam novietojumam. Mazāku, bet izmērāmu kļūdu ievieš arī vispārīgās relativitātes teorijas efekti. Satelīta atompulkstenis "iet" mazliet ātrāk nekā tas, kas novietots uz Zemes, jo atrodas nedaudz vājākā gravitācijas laukā. Ja pavadoņi atrodas riņķveida orbītā, šim labojumam ir pastāvīga vērtība, bet eliptiskas orbītas gadījumā jāņem vērā, cik augstu konkrētajā brīdī atrodas satelīts. Abus relativistiskos labojumus ir samērā viegli aprēķināt.

Pavadoņa raidītais signāls augstumā no 650 līdz 80 kilometriem šķērso Zemes jonosfēru. Šis slānis sastāv no



BeiDou satelīta trajektorija un tā redzamības zona no Zemes

retinātām gāzēm un joniem. Saules starojuma ietekmē gāzes ir uzkaršētas tik lielā mērā, ka to atomi zaudē vienu vai vairākus elektronus. Tādējādi rodas daudz elektriski lādētu daļiņu jeb jonu, kas aizkavē GNSS satelītu raidītos signālus. Tā kā apstākļi jonosfērā nepārtraukti mainās atkarībā no Saules aktivitātes, gadalaikiem, diennakts laika un lietotāja atrašanās vietas, ir ļoti grūti paredzēt, cik lielu ietekmi uz signālu atstāj jonosfēra. Aptuvenais kļūdas lielums ir 5 metri, bet augstas Saules aktivitātes gadījumā, kad arī jonosfēras aktivitāte ievērojami pastiprinās, pozicionēšanas kļūda var sasniegt pat 100 metrus.

Jonosfēras ietekme ir atkarīga arī no signālu frekvences. Uztvērējos, kas uztver tikai vienu frekvenci, nepieciešams modelēt jonosfēras efektus, lai tos kompensētu. Labākus rezultātus iegūst, lietojot divu frekvenču uztvērējus. Salīdzinot mērījumus divās

dažādās frekvencēs, uztvērējs var samērā precīzi noteikt jonosfēras kļūdu un to kompensēt, aprēķinot pozīciju.

Troposfēra ir pēdējais, zemākais atmosfēras slānis, kuru signāls šķērso, lai nokļūtu līdz uztvērējam. Līdzīgi kā jonosfērā, arī troposfērā GNSS signāli aizkavējas. Tas notiek mitruma, atmosfēras spiediena un temperatūras ietekmē. Lai šos mainīgos lielumus kompensētu, ir iespējams lietot troposfēras modeļus vai izmantot reālā laika mērījumus, jo lokālās teritorijās gan uz bāzes stacijas, gan uztvērēju troposfēras refrakcija iedarbojas līdzīgi.

Multirefleksija jeb signāla atstarošanās ir vēl viens iespējamo kļūdu avots. Ja satelīta signāls ir sasniedz uztvērēju pēc tam, kad ir atstarojies no kāda objekta virsmas, tas ir veicis garāku ceļu, salīdzinot ar patieso attālumu. Tas noved pie neprecīzas uztvērēja atrašanās vietas noteikšanas. Visvienkāršākais veids,

kā samazināt multirefleksiju, ir uztvērēja antenu novietot vietā, kur virs tās ir pēc iespējas mazāk objektu, no kuriem signāls var atstaroties, – būves, koki, apkārtnes reljefs.

Satelītu ģeometrijas jeb DOP rādītājs ir skaitlis, kas raksturo satelītu izvietojuma ģeometriju, un tas ir atkarīgs no satelītu izvietojuma attiecībā pret uztvērēju. “Laba” satelītu ģeometrija ir tad, kad satelīti izvietoti dažādās uztvērēja pusēs, bet “slikta” – kad visi atrodas vienā pusē. Jo zemāka DOP vērtība, jo precīzāks ir laika un pozīcijas aprēķins.

VAIRĀKU NAVIGĀCIJAS SISTĒMU LIETOŠANA MĒRĪJUMU PRECIZITĀTES PAAUGSTINĀŠANAI

Jau iepriekš tika minēts: jo lielāku skaitu satelītu izmanto koordinātu noteikšanai, jo augstāku precizitāti var iegūt. Iespējama situācija, kad mērījuma precizitātes uzlabošanai pietrūkst dotās konstelācijas satelītu, taču redzamības zonā ir satelīti no citām konstelācijām. Loģiski, rodas vēlēšanās pievienot arī to datus un novērtēt, kādu pienesumu tie sniedz precizitātes uzlabošanai. Ir diezgan daudz pētījumu, kas apliecina divu konstelāciju izmantošanas pozitīvo efektu, piemēram, GPS + GLONASS, GPS + Galileo, GLONASS + Galileo. Taču ir ļoti maz novērtējumu, ko dod divu papildu konstelāciju izmantošana vienlaikus. Īpaši tas attiecas uz Galileo un BeiDou sistēmām, kas

pēdējās desmitgades laikā ir sasniegušas globālu pārklājumu. Viens no raksta autoriem Harijs Paveļčuks veica šādu novērtējumu, izstrādājot maģistra darbu Rīgas Tehniskās universitātes Būvniecības inženierzinātņu fakultātes Ģeomātikas katedrā.

Tika izvirzīta hipotēze, ka *Galileo* un *BeiDou* sistēmu pievienošana jau esošajām GPS un GLONASS sistēmām nodrošinās ievērojamu pieejamo satelītu skaita kāpumu, kā dēļ uzlabosies DOP vērtības, standartnovirzes un precizitātes rādītāji. Pētījums, kas vienlaikus apskata *Galileo* un *BeiDou* un šo abu sistēmu apvienojuma piesniegtu GNSS mērījumus, ir īpaši reālos lauka

apstākļos Latvijas teritorijā, ir veikts pirmo reizi.

Pētījuma rezultāti ļauj secināt, ka *Galileo* un *BeiDou* sistēmu papildu izmantošana palielina pieejamo satelītu skaitu aptuveni līdz 105% un izmantoto satelītu skaitu par 70%. Satelītu skaita pieaugums uzlabo satelītu izvietojuma ģeometrijas rādītāju līdz pat 30%. Tas attiecīgi samazina koordinātu un augstumu izkliedi un palielina koordinātu precizitāti. Var secināt, ka dažādu sistēmu piesniegums ir vērtējams: *Galileo* vidēji +25% koordinātu noteikšanā un +10% augstumu noteikšanā; *Galileo* + *BeiDou* vidēji +25% koordinātu noteikšanā un +10% augstumu noteikšanā; toties *BeiDou*

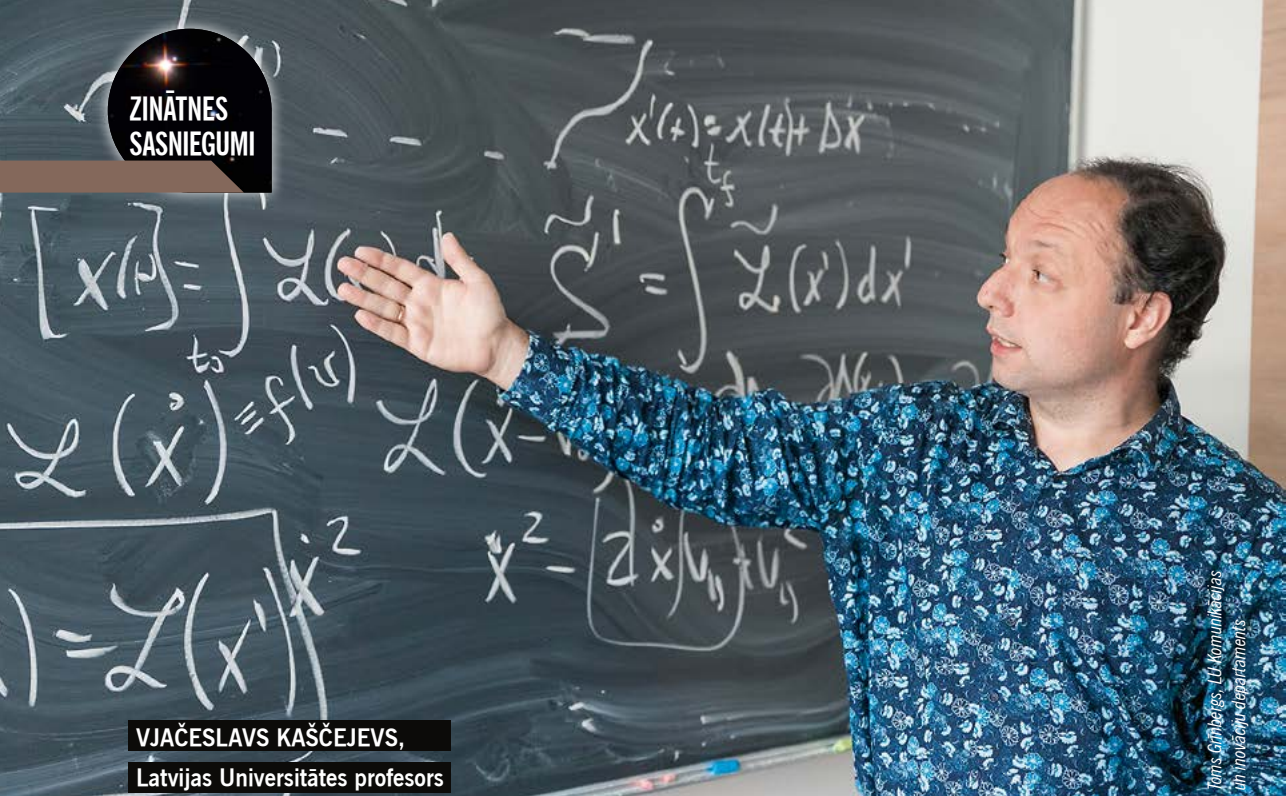
vidēji tikai +5% koordinātu noteikšanā un -10% augstumu noteikšanā (pasliktina).

Izmantojot *BeiDou* sistēmu, uzlabojums ir nenozīmīgs vai pat pasliktina rezultātus. To var izskaidrot ar *BeiDou* satelītu nepietiekami augsto laika informācijas precizitāti. Autori nerekomendē izmantot *BeiDou* sistēmu augstumu noteikšanā. Tas gan neizslēdz iespēju, ka, turpinoties *BeiDou* sistēmas attīstībai, šī nepilnība tiks novērsta. Tajā pašā laikā *Galileo* sistēmas izmantošana ir ieteicama ne tikai precīzu ģeodēzisko mērījumu veikšanai, bet arī izmantošanai mobilajās ierīcēs, viedpulksteņos un visās citās iekārtās, kas izmanto GNSS sniegtās iespējas. 📍



ESA/G. Porter, CC BY-SA 3.0

Mobilais telefons uztver dažādu sistēmu navigācijas satelītu signālus



VJAČESLAVS KAŠČEJEVS,
Latvijas Universitātes profesors

Jomā: Gribētes, LU Komunikācijas
un inovāciju departaments

Ko spēj un nespēj fizika?

PARADIGMA IR NOTEIKTS UZTVERES UN DOMĀŠANAS MODELIS, JAUTĀJUMU LOKA REDZĒJUMS UN TAJĀ IETILPSTOŠIE GALVENIE TEORĒTISKIE PIENĒMUMI. IESKICĒSIM FIZIKAS PARADIGMU.

Raksts tapis, izmantojot *Latvijas Radio* 2021. gada 18. marta raidījumu *Lietu daba*, ar radio redakcijas laipnu atļauju

Fizikas un dabaszinātņu paradigmu no maiņas ideja nāk no amerikāņu filozofa Tomasa Kūna zinātnes filozofijas. Viņš ievieša priekšstatu,

ka, uzkrājot eksperimentālos datus, vecās paradigmas pretrunas arvien pieaug. Tad nāk jauns, revolucionārs zinātnieks, kurš apgāž iepriekšējo paradigmu. Kūna priekšstati radās fizikas zinātnei unikālā laikā, kad “nezināšanas mūri” tika izsisti divi milzīgi robi, tika atvērtas divas milzīgas durvis.

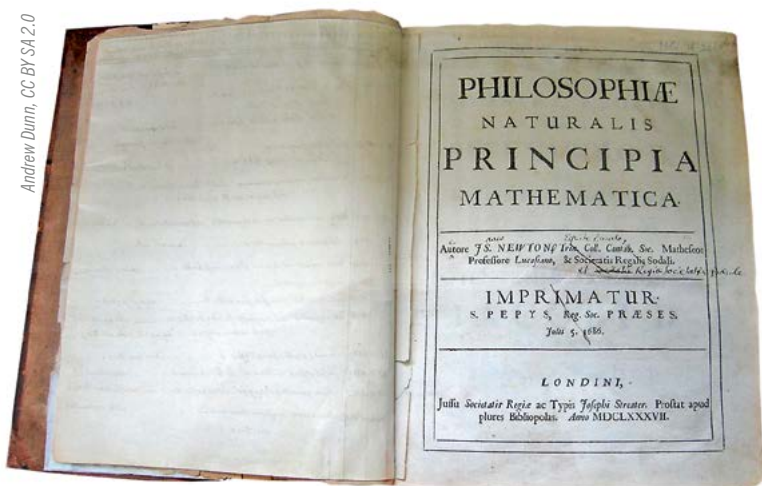
Pastāv trīs fundamentālas robežas, kas ierobežo mūsu fiziskās iespējas. Gaismas ātrums ir galīgs, šī atziņa ir speciālās un vispārīgās relativitātes teorijas pamatā. Šeit jāsaaka paldies Einšteina ģenijam, kurš atvēra šīs durvis. Otrās ir durvis uz mikropasauli, tās ir saistītas ar Planka konstantes galīgo vērtību. Lai

atvērtu šis durvis, vajadzēja lielu 20. gadsimta 20. un 30. gadu ģēniju komandu. Šie divi notikumi filozofiem radīja priekšstatu, ka šādā veidā viss turpināsies, un saskaņā ar to viņi interpretēja pagātņi un prognozēja nākotni. Diemžēl gandrīz neviens no filozofiem, kas raksta par šiem jautājumiem, nesaprot kvantu fiziku.

Nevar būt aplamāka priekšstata par fiziku kā par kaut kādu aptuvenu shēmu, kas drīz sabruks. Fizikas fundamentālie vienādojumi izriet no precīziem matemātiskiem principiem. Fizikas sākotnējo paradigmu, kuru neviens nav atcēlis, ne Alberts Einšteins, ne Makss Planks, ne Nīlss Bors, ne Ričards Feinmens, radīja fizikas tēvs Īzaks Ņūtons, grāmatā *Dabas filozofijas matemātiskie principi* nosakot pragmatiski skaidru robežu starp filozofiju un dabas filozofiju, ko vēlāk sāka saukt par fiziku. Proti, šī ir tā pasaulē daļa, kuru mēs varam saprast, izmantojot matemātiskos principus, balstoties uz zinātnisko metodi, kuras pamats ir objektivitāte un atkārtotamība. Tikai tās parādības, kuras var "izjaukt gabalos" un salikt no jauna, mēs varam aprakstīt ar dažādu fizikālās teorijas precizitātes pakāpi.

Protams, reālā pasaule vienmēr mūs pārsteidz un ir interesantāka, bagātāka un neatkārtojamāka par jebkuru teoriju. Nav iespējams izveidot, piemēram, Vjačeslava Kaščejeva kā cilvēka teoriju, jo cilvēka personība ir unikāla un neatkārtojama. Tāpat

Andrew Dunn, CC BY-SA 2.0



Grāmata *Dabas filozofijas matemātiskie principi*. Īzaka Ņūtona eksemplārs

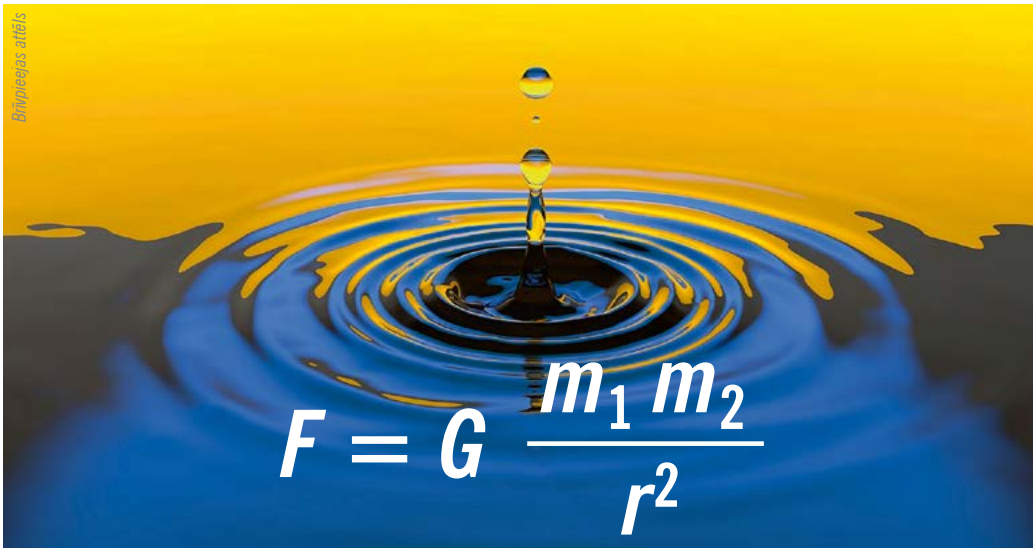
NEVAR BŪT APLAMĀKA PRIEKŠSTATA PAR FIZIKU KĀ PAR KAUT KĀDU APTUVENU SHĒMU, KAS DRĪZ SABRUKS. FIZIKAS FUNDAMENTĀLIE VIENĀDOJUMI IZRIET NO PRECĪZIEM MATEMĀTISKIEM PRINCIPIEM.

pastāv neierobežots skaits iespēju apvienot nedzīvās dabas elementus, kas ir unikāli un kurus mēs līdz galam neizprotam. Šī ir trešā robeža, kurai neatbilst kāda konkrēta konstante, to nosaka tikai cilvēka prāta ierobežotā spēja aptvert mijiedarbības sarežģītību.

Fizikas paradigma ir pārsteidzošs novērojums, ka noteikts parādību kopums ir pilnīgi neatkarīgs no tā, ko mēs par to domājam. Visiem, kas ar to eksperimentē, sanāk vienādi rezultāti. Āboli krīt uz galvas, tie nekrīt uz augšu, un visās vietās tie nokrīt tāpat. Īzaka Ņūtona ģenialitāte

bija tā, ka viņš matemātiski spēja aprakstīt pievilksanas spēku, kas iedarbojās gan uz ābolu, gan uz Mēnesi, gan darbojās starp Zemi un Sauli. Turklāt viņš deva prognozi, vienu elegantu formulu, kas ļāva precīzi aprakstīt un prognozēt dažādas parādības. Šī būtība nekur nepazuda, kad pasaulslavenais fiziķis Alberts Einšteins spēra vairākus soļus uz priekšu.

Starp citu, Alberts Einšteins kļuva slavens tikai tad, kad laikraksts *New York Times* uzrakstīja par 1919. gada Saules aptumsuma ekspedīciju, kurā fiziķis Arturs



Edingtons izmērija aptumsu-
ma laikā redzamo zvaigžņu
niecīgo novirzi, ko rada Saules
pievilkšanas spēks. Ņūtona
gravitācijas teorija arī pa-
redz zvaigžņu gaismas novir-
zi, taču gaismai vajadzēja no-
virzīties divreiz mazāk, nekā
to noteica Edingtons. Tas ap-
stiprināja Einšteina teoriju.

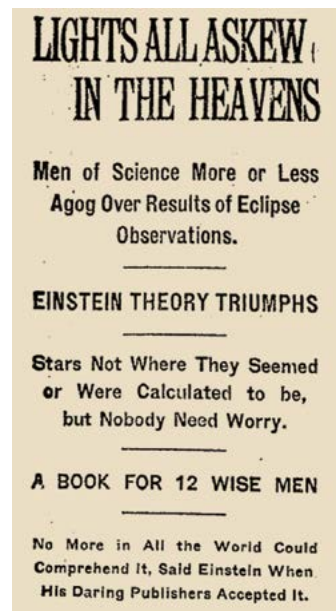
Tas bija neliels, taču sva-
rīgs vecās labās Ņūtona gra-
vitācijas teorijas labojums.
Jaunās zināšanas fizikā vien-
mēr papildina iepriekšē-
jās, jo neviens nespēj pār-
kāpt fizikas likumus. Reiz

atrasti un matemātiski for-
mulēti, tie paliek nesatri-
cināmi uz visiem laikiem,
ar metafizisku piebildi, ka
empīriski secinājumi prin-
cipā nevar būt absolūti.

Runājot par fizikas at-
tīstību, autors parasti cen-
šas izmantot kādu līdzī-
bu. Piemēram, eiropieši ilgu
laiku nezināja, ka ir tāda
Amerika. Tad sekoja brīniš-
ķīgo lielo ģeogrāfisko at-
klājumu periods, kad kuģo-
ja uz rietumiem, lai nokļūtu
Indijā, bet nokļuva jaunā kon-
tinentā. Un tad kuģoja uz

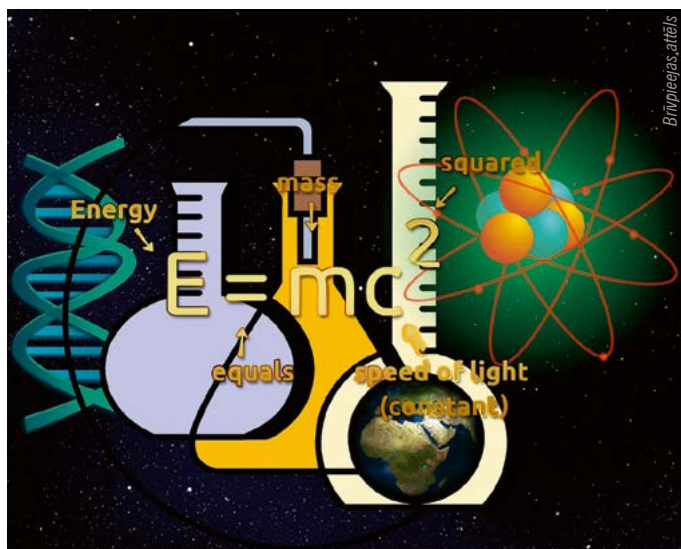
dienvidei ar domu, ka var-
būt tur arī ir kontinents,
bet atklājās vesels okeāns.

Fizikā šāds periods bija
20. gadsimta pirmā puse, kad



FIZIKAS PARADIGMA IR PĀRSTEIDZOŠS
NOVĒROJUMS, KA NOTEIKTS PARĀDĪBU
KOPUMS IR PILNĪGI NEATKARĪGS NO TĀ,
KO MĒS PAR TO DOMĀJAM. VISIEM, KAS
AR TO EKSPERIMENTĒ, SANĀK VIENĀDI
REZULTĀTI.

Avīzes *The New York Times* 1919. gada
10. novembra ziņa par Artura Edingtona
eksperimentu



OTRAS TĀDAS REVOLŪCIJAS, KĀDA BIJA ATOMBUMBA, VAIRS NEBŪS. JA PASTĀVĒTU VĒL KĀDAS ENERĢĒTISKI NOZĪMĪGAS FIZIKĀLĀS MIJIEDARBĪBAS, TĀS JAU SEN BŪTU ATRASTAS.

tika formulēta relativitātes un kvantu teorija. Arī tad spilgti izpaudās fundamentālās un lietišķās zinātnes simbioze. Visi zina 20. gadsimta vēstures piemēru, kad fizikas atklājumi izmainīja vēstures gaitu. Izmantojot Einšteina formulu $E = mc^2$ un zināšanas par to, kā individuālu kvantu līmenī darbojas fizikas likumi, varēja atbrīvot milzīgu enerģijas daudzumu, tostarp iznīcināšanas nolūkos. Kodolieroči ir ļoti spilgts piemērs, kā pilnīgi akadēmisku, niecīgu efektu pētījumi noveda pie ļoti dramatiskām sekām.

Otras tādas revolūcijas, kāda bija atombumba, kurā enerģiju iegūst no atomu kodoliem, vairs nebūs. Kurinot uguni, lai sasildītos, vai padot pusdienas, mēs atbrīvojam atomu jeb ķīmisko enerģiju, kas ir salīdzinoši neliela. Kodolu mijiedarbībā izdalās tūkstošiem vai pat miljoniem reižu lielāka enerģija uz vienu reakciju, tāpēc arī atombumba ir tik jaudīga. Bet citas mijiedarbības, kas būtu vēl spēcīgāka par kodolu mijiedarbību un kuru kaut kādā veidā varētu atbrīvot, nav. Un mēs zinām, ka tādas nevar būt, jo

jau kopš 20. gadsimta 70. gadiem ir izstrādāta ļoti precīza visu novēroto mijiedarbību matemātiskā teorija. Ja pastāvētu vēl kādas enerģētiski nozīmīgas fizikālās mijiedarbības, tās jau sen būtu atrastas.

Jau pieminētā kvantu teorija ir visprecīzāk pārbaudītā teorija fizikā. No vienas puses, bez kvantu teorijas mums nebūtu datoru, viedtālrunu un lāzeru, nebūtu pietiekami dziļas izpratnes par ķīmiju un fiziku. Mūsdienās, lai aprēķinātu ķīmisko reakciju rezultātus un pēc tam pārbaudītu, kā tās notiek dabā, izmanto kvantu teoriju. No otras puses, kvantu teorija nav iekšēji noslēgta, un saikne starp makroskopisko līmeni, kurā notiek visi mērījumi, un mikroskopisko līmeni, kurā mēs pielietojam kvantu teoriju, kaut arī ir matemātiski precīzi satverta, konceptuāli ir pretrunīga.

Šis aspekts fizikas eksperimentiem ir ļoti zināms. Taču, mēģinot to saprast populārā līmenī, cilvēki izdara ļoti tālējošus secinājumus un lieto neatbilstošus terminus. Pirmais, ļoti izplatītais stereotips – elektrons vienlaikus atrodas divās vietās. Taču patiesībā mēs nevaram zināt, kur atrodas elektrons. Tas ir galvenais princips. Fizika pirmām kārtām ir precīzas domāšanas vingrinājums. Tas jāva atšķetināt pretrunas, ieskaitot filozofiskās, kas nedeva mieru Nīlsam Boram un Albertam Einšteinam kopš 20. gadsimta 20. gadiem. Mēs varam izdarīt konsekventus un nepretrunīgus secinājumus



Alexandre Gondran, CC BY-SA 4.0

Elektronu interference pēc iziešanas cauri dubultspraugai “tumšā istabā”

par to, kas “patiesībā” notiek, tikai tad, ja kaut ko izmērām. Zināt, ko dara elektrons, varam tikai tajās situācijās, kad elektrons atstāj pēdas.

Tā “pēdu atstāšana” ir neizbēgama, ja tumšā istabā ieslēdz gaismu, mēģinot apskatīties, kuru ceļu tad elektrons izvēlas. Var iegūt attēlu, bet – jo skaidrāks attēls, jo mazāk izpaužas kvantu interferences efekts, kuru veido abu savstarpēji izslēdzošo ceļu ieguldījums. Mūsdienās tie nav tikai domu eksperimenti, bet reālu ierīču darbība ikdienā. Iemācīties pareizi spriest par šīm trauslajām kvantu parādībām prasa laiku un lielu disciplīnu. Tā ir tā neklasiskās fizikas sarežģītība, ka šeit nedarbojas mums visiem piemītošā fizikālā intuīcija.

Cilvēku smadzenēs ir “iebūvēts” brīnišķīgs dators, kas risina Ņūtona vienādojumus. Ja cilvēks ķer bumbu, acis un smadzenes saprot, kur bumba lidos, un novieto rokas tur, kur nonāks bumba. Tas nozīmē, ka mēs varam automātiski paredzēt apkārtējo fizikālo pasauli, to pat nepamanot. Taču cilvēka mēroga fizikālie likumi nonāk pretrunā ar

pilno fizikas likumu kopumu, kas ietver visu, kas atrodas “aiz durvīm”, proti, aiz relativitātes teorijas durvīm un kvantu teorijas durvīm. Jūs nenokertu bumbu, ja tā tiktu sviesta ar pusi no gaismas ātruma, jo “nepareizi”, neprecīzi domājat par telpu un laiku. Vēl jo grūtāk ir ar kvantu fiziku, kurā intuīcija ir jāveido no nulles, ar

”
JŪS NENOĶERTU BUMBU, JA TĀ TIKTU SVIESTA AR PUSI NO GAISMAS ĀTRUMA, JO “NEPAREIZI”, NEPRECĪZI DOMĀJAT PAR TELPU UN LAIKU. VĒL JO GRŪTĀK IR AR KVANTU FIZIKU, KURĀ INTUĪCIJA IR JĀVEIDO NO NULLES.

abstraktās matemātikas un precīzu spriedumu palīdzību.

Plaisa starp fiziķu un plašākas sabiedrības izpratni par fiziku radās, atklājot milzīgo ātrumu un kosmisko mērogu makropasaules "kontinentu", kā arī kvantu teorijas mikropasaules "kontinentu".

Kvantu teorija atnāca ar principiāli jaunām idejām, kas deva iespēju izdarīt tālejošus secinājumus. Kopš tās parādīšanās brīža par to nebeidz interesēties ne fiziķi, ne filozofi. Taču paradigma kā metode, kā princips kopš Īzaka Ņūtona un Galileo Galileja laikiem ir palikusi nemainīga.

Atcerēsimies Alberta Einšteina strīdu ar Nilsu Boru par to, vai dievs spēlē kauliņus. Tas ir strīds par praktisku eksperimentālu faktu, ka mērījumu precizitāti nevar palielināt bezgalīgi, bet līdz noteiktai robežai. Pārsniedzot šo robežu, nav iespējams paredzēt individuāla mērījuma rezultātu. Šis bija viens no fundamentālajiem atklājumiem, kas radīja nepieciešamību izstrādāt kvantu teoriju. Tas ir Heizenberga nenoteiktības princips. Pašos fizikas likumos ir nenovēršama nenoteiktība. Nav tāda likuma, un tāds nav arī gaidāms, kas ļautu pilnībā paredzēt noteiktu, precīzi veiktu mērījumu individuālo rezultātu. Paša mikroskopiskākajā līmenī pastāv nenovēršams "troksnis". Cilvēki uzreiz domā – un domā pareizi – ja jau fundamentālais neparedzamais troksnis ietekmē makroskopiskās parādības, tas

TIKLĪDZ MATEMĀTIKĀ PARĀDĀS BEZGALĪBA, "JĀUZVELK BALTI CIMDI". TAS NOZĪMĒ, KA PAR TO, KAS IR BEZGALĪBA, JĀDOMĀ ĻOTI PRECĪZI UN DISCIPLINĒTI.

nozīmē, ka fizika pat teorētiski nevar paredzēt nākotni.

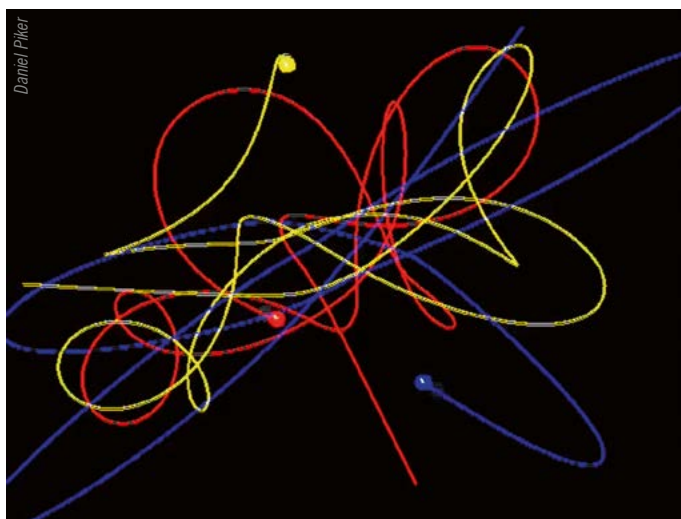
Tas ir jautājums par determinismu un indeterminismu. Risinājums ir rēķināt notikumu varbūtību, taču varbūtiskā pieeja ir tikai tehnisks veids, kā atzīt savu sakāvi. Ja godīgā spēlē met spēļu kauliņu, varbūtība, ka uzkrītis konkrēts skaitlis, ir viena sestdaļa. Tas ir maksimums, ko fiziķis var pateikt. Var izrēķināt, kāds ir varbūtības sadalījums, ka izkritīs divi noteikti sporta loto skaitļi. Taču skaitļi, kas izkrituši konkrētam cilvēkam, viņam būs daudz svarīgāki par vidējo varbūtību. Tas, ka šādas lietas ir neparedzamas ne tikai sporta izlozē un cilvēku dzīvē, bet pat vienam elektronam,

ir ārkārtīgi skaists un nozīmīgs fakts. Daudzi fizikas studenti, kas izjutuši to, nekad vairs nespēj aiziet no šīs zinātnes. Tieši tā notika ar jūsu padevīgo kalpu.

Brīnišķīgs matemātikas pasniedzējs Nils Sakss mums, studentiem, teica – tiklīdz matemātikā parādās bezgalība, jāuzvelk balti cimdi. Tas nozīmē, ka par to, kas ir bezgalība, jādomā ļoti precīzi un disciplinēti. Šajā jomā notika liela matemātikas paradigmas attīstība, kas saistīta ar to, ka bezgalība nav skaitlis, bet pretrunīgs jēdziens. Pastāv dažādas bezgalības, eksistē bezgalīga bezgalību hierarhija. Tā nav tikai prāta spēle, tā nosaka pilnīgi skaidras matemātikas zināšanu robežas.



Heizenberga nenoteiktības principa formula



Trīs ķermeņu haotiskās kustības piemērs

Kurta Gēdela nepilnības teorēma apgalvo, ka jebkurā loģisku likumu kopumā, izņemot pašus vienkāršākos, vienmēr būs neviennozīmīgi apgalvojumi. Tas nozīmē, ka tos nevar nedz noliegt, nedz apstiprināt, jo tie nenovēršami ir attiecināmi paši uz sevi. Tā ir plaša tēma ar tālejošām filozofiskām sekām, kas nosaka robežas tam, ko var un ko nevar pierādīt ideālā, ar fizikas ierobežojumiem neapgrūtinātā matemātikas pasaulē. Vai, piemēram, Alana Tjūringa tā sauktā apstāšanās

problēma, kas demonstrēja to pašu principu, ko Gēdela teorēma: nav iespējama universāla programma, kas varētu paredzēt, vai dotā programma beigs darbu vai ne. Tas ir, dzīvi nevar paredzēt, var tikai nodzīvot. Šīs pašas īpašības piemīt fizikas likumiem, tās ir iepriekš minētās trešās durvis.

Pat ideālas teorijas ietvaros, kur viss ir bezgala precīzi, nav iespējams viennozīmīgi paredzēt trīs ķermeņu kustību gravitācijas laukā. Ķīniešu zinātniskās fantastikas autoram Cišīņam Lju ir

darbs *Trīs ķermeņu problēma*, kurā šādas zvaigžņu sistēmas haotiskā kustība spēlē centrālo lomu sižeta attīstībā. No sākotnējiem nosacījumiem nav iespējams matemātiski noteikt, vai trīs zvaigznes pēc satikšanās paliks kopā, vai viena no tām aizlidos tālu prom. Ap šo situāciju savīts vesels stāsts. Tas ir klasiskā indeterminisma piemērs – nākotnes neparedzamība.

Fiziķi bieži sastopas ar šādu attieksmi – ja jau esat tik gudri, kāpēc jūs neapbrēķināt visu uz priekšu? Nav iespējams aprēķināt uz priekšu, pat ja sākotnēji viss ir nepārprotami un precīzi zināms, nerunājot nemaz par neskaidrībām, kuras mums piespēlē dzīve. Es vēlētos, lai cilvēki gūtu priekšstatu, ka fizika ir bezgalīga, jo tā pasaka bezgalīgi daudz par bezgalīgi mazu skaitu lietu. Tā ir ļoti šaura zinātne, bet tas, kas ir noteikts ar fizikālām metodēm, ir pārsteidzoši nesatricināms. Fizikas likumi atrodas tikai vienu pakāpienu zemāk par absolūto matemātisko patiesību, un tas ir ļoti daudz.

Nedaudz pievērsīsimies elektromagnētiskajam laukam un gravitācijas laukam. Tie ir skaidri un noderīgi jēdzieni ar noteiktām īpašībām, kas apraksta attiecīgi elektromagnētiskās un gravitācijas parādības. Klasisko lauka teoriju ierobežo mērījumu precizitāte. Kvantu teorija lauka parādības apraksta precīzāk, un attiecīgo teoriju sauc par kvantu lauka teoriju. Tā apvieno vienotā redzējumā to, ko

FIZIĶI BIEŽI SASTOPAS AR ŠĀDU ATTIEKSMI – JA JAU ESAT TIK GUDRI, KĀPĒC JŪS NEAPRĒĶINĀT VISU UZ PRIEKŠU? NAV IESPĒJAMS VISU APRĒĶINĀT UZ PRIEKŠU, PAT JA SĀKOTNĒJI VISS IR NEPĀRPROTAMI UN PRECĪZI ZINĀMS.

kādreiz sauca par matērijas viļņu īpašībām un korpuskulārajām īpašībām. Piemēram, gaismu cilvēka mērogā, kā mēs to uztveram, tās difrakciju un interferenci var ļoti precīzi aprakstīt, izmantojot nepārtraukta viļņa jēdzienu.

Bet, ja mūsu acis būtu tikai desmit reizes jutīgākas, nebūtu nepieciešams tik abstrakti skaidrot gaismas daļiņas jeb fotonus. Mēs savām acīm redzētu, ka ļoti vāja gaisma sastāv no atsevišķiem uzliesmojumiem, atsevišķiem fotoniem. Tas bija viens no pirmajiem paradoksiem starp pasaules attēlojumu ar lauku palīdzību un korpuskulāro, atsevišķo daļiņu ainu. Par kvantu lauku teorijas vienojošo paradigmu, kas dzima pēc Otrā pasaules kara, fiziķi Ričards Feinmens, Džulians Švingers un Sinitiro Tomonaga saņēma Nobela prēmiju. Viņi formulēja gaismas un elektrības daļiņu kvantitatīvu teoriju, kurā ņemts vērā gan lauka, gan daļiņu aspekts.

KVANTU LAUKA TEORIJA VISPĀRINA, KA GAN ENERĢIJA, GAN MATĒRIJA IR VIĻŅI FUNDAMENTĀLĀ OKEĀNĀ, KAM VAR DOT DAŽĀDUS NOSAUKUMUS.

Tā ir ļoti moderna paradigma, kas konsekventi izriet no relativitātes un kvantu fizikas principiem. To īsumā var aprakstīt, iztēlojoties viļņus uz ūdens virsmas. Kvantu lauka teorija vispārina, ka gan enerģija, gan matērija ir viļņi fundamentālā okeānā, kam var dot dažādus nosaukumus. Tas ir fizikālais vakuums, laiktelpa vai ēters, ja gribat. Ja viļņu nav, tad mēs to uztveram kā tukšumu. Bet kādi viļņi var parādīties uz šā pasaules okeāna virsmas? Katram matērijas veidam ir savi viļņi, un tos var klasificēt tādā kā elementu tabulā: elektromagnētiskie ierosinājumi, fermioniskie ierosinājumi (kvarki un

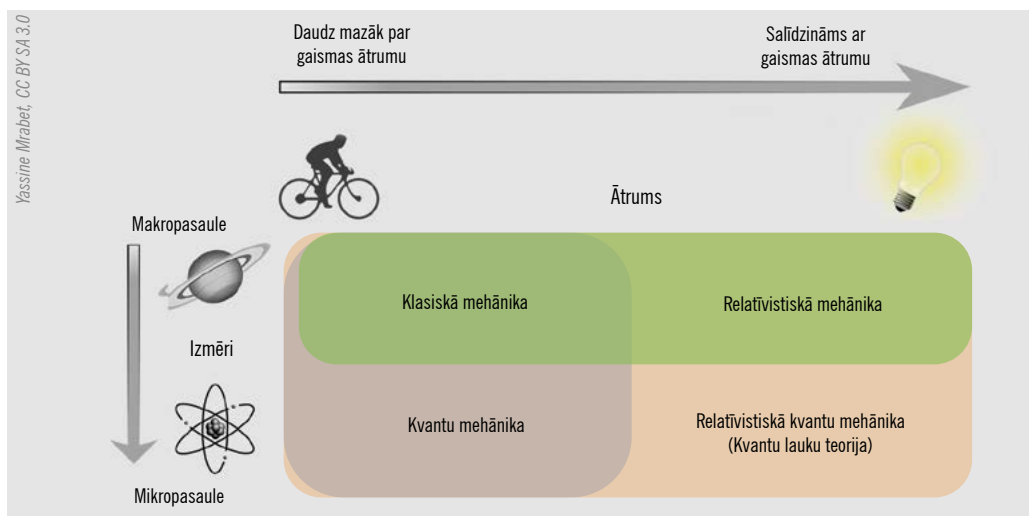
leptoni), gravitācijas viļņi un vēl daži. Katram “viļņu” veidam ir iespējama arī atsevišķu kvantu – daļiņu – izpausme.

Spilgts paradoksa piemērs ir elektrons. Kas gan elektrons par vilni! Taču 20. gadsimta 20. gados tika atklāta elektronu viļņu daba, to interference. Saskaņā ar mūsdienu paradigmu elektrons ir elektronu-pozitronu lauka kvants. Kad esat nodalījis elektrisko lādiņu – elektronu, lādiņa saglabāšanās dēļ to nevar likvidēt, ja vien tas nesatiek antivilni – “pretfāzē” ierosinātu tā paša lauka kvantu, ko pazīst kā pozitronu. Tad vilnis un antivilnis, šie divi kvanti, pārvērtīsies par cita lauka – elektromagnētiskā



Brīvpieejas attēls

Ja mūsu acis būtu jutīgākas, mēs redzētu, ka ļoti vāja gaisma sastāv no atsevišķiem fotoniem



Fizikas teoriju pēctecība. Kvantu lauku teorija ietver iepriekšējās teorijas

lauka – kvantiem. Vieniem ierosinājumiem dzēšoties, masas-enerģijas nezūdamības dēļ rodas citi. Šajā abstrakcijas līmenī viss fizikā notiekošais ir kvantu lauku ierosinājumu savstarpējās pārvērtības.

No kvantu lauku teorijas vienotās ainas kā speciālgādījumu iegūst visu iepriekšējo fiziku, tostarp Maksvela, vienādojumus elektromagnētismam – radio un optiskajām parādībām. Tie dabiski izriet no kvantu lauku teorijas, ko piezemētā nozīmē varētu saukt “teorija par visu”. Piezemētā tāpēc, ka viss nav aptverams, mēs zinām tikai galīgu Visuma daļu, kuru mums vispār ir dots izprast.

Noslēgumā pieminēsim Higma lauku un Higma bozonu. Tas bija pēdējais fragments kvantu lauku ainā, kas tika pievienots 20. gadsimta 70. gados, un viss nostājās savās vietās. Taču tikai 2012. gadā Lielajā hadronu

JA VISU LAIKU KONCENTRĒSIMIES TIKAI UZ PRIEKŠĒJO LĪNIJU STARP ZINĀMO UN NEZINĀMO, VARAM ZAUDĒT PERSPEKTĪVAS UN MĒROGA SAJŪTU.

paātrinātājā divos milzīgos eksperimentos izdevās viennozīmīgi detektēt individuāli ierosinātus Higma bozonus. Vispār paātrinātājs tika izveidots ar galveno mērķi noteikt šo vienu skaitli, kas kvantu lauku teorijas vienādojumu sistēmā joprojām nebija zināms. Tagad fiziķi sistemātiski meklē pat vismazākās pretrunas kvantu lauku teorijā. Var būt, ka 202X. gadā mēs vēl dzirdēsim par kādu ļoti mazu papildinājumu procesiem, kas notiek milzīgu enerģiju mērogā.

Lai atrastu paradigmas izņēmumus, ilgi un neatlaidīgi

jāveic ļoti lieli un sarežģīti eksperimenti. Tieši uz to balstās autora provokatīvais apgalvojums, ka fiziķi visu zina. Mēs zinām “visu” ar mazo burtu, bet zinām tik daudz, ka, ja visu lauku koncentrēsimies tikai uz priekšējo līniju starp zināmo un nezināmo, varam zaudēt perspektīvas un mēroga sajūtu. Šajā rakstā autors vairāk mēģināja ieskicēt to, kas ir zināšanu bumbas iekšpusē, nevis uz tās virsmas. Bet – cilvēka gars vienmēr tiecas uz robežu, un apgūt jauno iespējams, tikai stāvot uz milžu pleciem. 🍀

KARUSELIS

Jautājumus no uzdevuma, kuru vidusskolēni risināja fizikas olimpiādē 2021. gadā, atlasījusi **INESE DUDAREVA**

Karuseļa ķēdes piestiprinātas pie karuseļa kādā attālumā no centra. Ķēžu galos ir iestiprināti sēdekļi, kas ir daudz smagāki par ķēdi. Brīvās krišanas paātrinājums $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

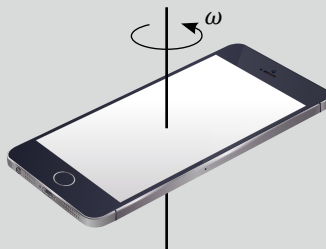
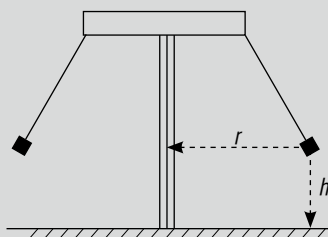
1. Karuseļi sēdekļi griežas ar lineāro ātrumu $v = 5 \text{ m/s}$, tie atrodas augstumā $h = 2 \text{ m}$ virs zemes un attālumā $r = 4 \text{ m}$ no karuseļa rotācijas ass. Kādam karuseļa apmeklētājam brauciena laikā no kabatas izkritī telefons.

A. Cik ilgi tas kritīs līdz zemei?

B. Ar cik lielu ātrumu telefons ietrieksies zemē?

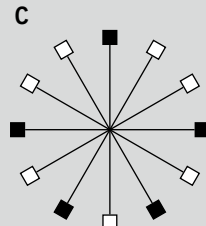
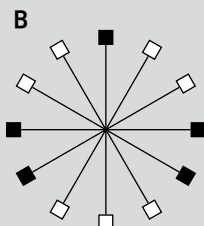
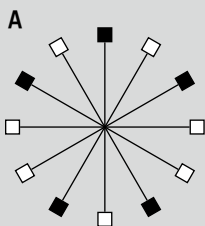
C. Telefons krišanas laikā turpina rotēt ap vertikālo asi (skat. attēlu) ar leņķisko ātrumu ω . Cik liels ir telefona rotācijas leņķiskais ātrums (telefona atskaites sistēmā)?

D. Šādu gadījumu dēļ ap karuseļi jāierīko žogs, aiz kura jāstāv visiem skatītājiem, lai viņiem nekas netrāpītu. Ja žogs būtu bijis ierīkots, telefons būtu nokritis tieši pie žoga pamata. Cik lielam jābūt žoga rādiusam?



2. Karuseļim ir 12 vienmērīgi izvietoti sēdekļi, visi attālumā R_0 no karuseļa rotācijas ass. Atnāk pieci cilvēki, kas visi sver vienādi, un iesēžas katrs savā sēdeklī (attēlā iekrāsoti melnā krāsā). Ja iesēdušos cilvēku kopējais masas centrs atrodas pārāk tālu no karuseļa rotācijas ass, tas var griezties nevienmērīgi un bojāt karuseļa mehānismu.

Kurā(os) no dotajiem izkārtojumiem cilvēku masas centrs atrodas vistuvāk rotācijas asij?
Kurā(os) no dotajiem izkārtojumiem cilvēku masas centrs atrodas vistālāk no rotācijas ass?



47. lappusē publicēto uzdevumu ATRISINĀJUMI

1. A. Horizontālā sviedienā:

$$h = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 2}{9,8}} = 0,64 \text{ s.}$$

- B. Horizontālā sviedienā ātruma horizontālā komponente brīdī, kad telefons ietriecas zemē $v_x = 5 \text{ m/s}$, bet vertikālā komponente $v_y = -gt$.
Ātrums:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_x^2 + (-gt)^2} = \sqrt{5^2 + (-9,8 \times 0,64)^2} = 8,02 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- C. Telefons kritiena laikā turpinās griezties ar tādu pašu leņķisko ātrumu kā karuselis:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{5}{4} = 1,25 \text{ rad/s.}$$

- D. Telefona horizontāli nolidotais attālums ir $x = v_x t$.
Tātad telefons ietriecās zemē attālumā:

$$R = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{r^2 + (v_x t)^2}$$

no karuseļa ass. Tādām arī jābūt žoga rādiusam:

$$R = \sqrt{r^2 + (v_x t)^2} = \sqrt{4^2 + (5 \times 0,64)^2} = 5,12 \text{ m.}$$

2. A, B un C izvietojumi ir simetriski pret vertikālo asi. Lai iegūtu masas centra pozīciju, vienkārši aprēķinām cilvēku pozīciju vertikālo komponenti vidējo aritmētisko. Masas centra attālumi no rotācijas ass katrā no zīmējumā attēlotajām situācijām:

A. $\frac{1+2 \times \sin 30^\circ - 2 \times \sin 60^\circ}{5} = \frac{2-\sqrt{3}}{5}$.

B. $\frac{1-2 \times \sin 30^\circ}{5} = 0$.

C. $\left| \frac{1-2 \times \sin 60^\circ}{5} \right| = \frac{\sqrt{3}-1}{5}$.

Izvietojumā B masas centrs atrodas punktā, kur ir rotācijas ass.

Izvietojumā C masas centrs atrodas vistālāk no rotācijas ass.

AUSMA BRUŅENIECE, INESE DUDAREVA

PLANETĀRIJS

Kopernika zinātnes centrā

Vislas upes krastā Varšavas centrā kopš 2010. gada darbojas zinātnes centrs, kas nosaukts poļu astronoma Nikolaja Kopernika (1473–1543) vārdā. Blakus zinātnes centra ēkai atrodas planetārijs *Kopernika Debess (Niebo Kopernika)*. Planetārija seanss ilgst vienu stundu, pirmās 20 minūtes iespējams vērot zvaigžņotās debess izskatu virs Varšavas, tad seko 40 minūšu filma par Visuma tematiku. Piedāvājumā ir filmas par astronautu dzīvi Starptautiskajā kosmosa stacijā, par tumšo matēriju, par Saules sistēmu u. c. Planetārija seansā četri digitālie projektori, skaņas sistēma un atēls uz sfēriskā ekrāna ļauj

apmeklētājiem gūt sajūtu, ka pats atrodies notikumu epicentrā. Planetārija apmeklējums jāieplāno iepriekš un jāiegādājas biļetes internetā, citādi praktiski nav iespējams tikt uz kādu no seansiem.

Kopernika Zinātnes centrā ir apskatāmas septiņas tematiskas pastāvīgās ekspozīcijas ar vairāk nekā 400 interaktīviem eksponātiem. Interesi piesaista ekspozīcija *Pasaule kustībā*, kurā var sajusties kā Nīls Ārmstrongs, izkāpjot uz Mēness. Var pārliecināties par to, ka Zeme tiešām griežas, vērojot Fuko svārsta kustību.

Pēc Zinātnes centra apmeklējuma ieteicama pastaiga pa Sakšu dārzu (*Ogród Saski*), apskatot 17. gadsimta saules pulksteni un baroka



Fuko svārsts
Ausmas Bruņnieces foto

stila tematiskās skulptūras – Zinātne, Astronomija u. c. Parks izveidots Polijas karaļa Augusta II valdīšanas laikā pēc Versaļas pils parka parauga. 🌿

Praktiskā informācija

Kopernika Zinātnes centrs:

ul. Wybrzeże Kościuszkowskie 20

Metro stacija: Centrum Nauki Kopernik (M2 līnija)

Zinātnes centrs:

<https://bilety.kopernik.org.pl/en>

Planetārijs: <https://www.kopernik.org.pl/en/planetarium>

ILGONIS VILKS

Astronomisko pulkstenņu vēsture piemēros

LATVIJAS UNIVERSITĀTES VĒSTURISKIE PULKSTENĪ UZSKATĀMI
DEMONSTRĒ PRECĪZĀ LAIKA GLABĀŠANAS ATTĪSTĪBU 20. GADSIMTĀ

Pats vecākais pulkstenis Latvijas Universitātes Muzeja krājumā ir Rīgas Politehniskā institūta *Dencker* firmas pulkstenis, kas tapis 1889. gadā vai nedaudz agrāk. To izgatavoja vācu pulkstenmeistars Ferdinands Denkers (1837–1917), kurš 1866. gadā Hamburgā atvēra darbnīcu, kurā ražoja jūras hronometrus un precīzus svārsta pulkstenus. 19. gadsimta beigās Rīgas

Politehniskajā institūtā, kas ir Latvijas Universitātes priekštecis, darbojās neliels laika dienests (skat. Ilgoņa Vilka rakstu *Astronomijas postenis 150 gadu garumā* žurnāla *Zvaigžņotā Debess* 2020. gada rudens numurā). Precīzo laiku noteica pēc zvaigžņu novērojumiem, jo zvaigžņu redzamā kustība pie debesīm atspoguļo Zemes rotāciju, kas ir laika skaitīšanas pamatā. Pēc *Dencker* pulksteņa regulēja citus Rīgas pulkstenus.

ASTRONOMISKĀS OBSERVATORIJAS RIEFLER PULKSTENĪ

1922. gadā tika nodibināta Latvijas Universitātes Astronomiskā observatorija, kas līdz 1924. gadam iegādājās četrus firmas *Clemens Riefler* pulkstenus. Divi no tiem gāja pēc vidējā Saules laika, divi – pēc zvaigžņu laika. Katrā pāri viens pulkstenis bija galvenais, tas bija uzstādīts speciālā pulksteņa pagrabā uz masīva pamata,

kur bija minimālas temperatūras svārstības un satricinājumi. Sekundārais jeb darba pulkstenis atradās observatorijas telpās Raiņa bulvāra 19 ēkas 4. stāvā un bija elektriski saistīts ar galveno pulksteni. Kad galvenais pulkstenis pagāja par sekundi uz priekšu, to darīja arī sekundārais pulkstenis.

Galveno *Riefler* pulksteņu mehānisms bija ievietots stikla kupolā, bet svārsts atradās vara cilindrā, līdz ar to pulkstenis bija pilnīgi hermētisks, un to neietekmēja atmosfēras spiediena izmaiņas. Pulksteņu svārsti bija izgatavoti no invarā – dzelzs un niķeļa sakausējuma ar ļoti mazu termiskās izplešanās koeficientu. Tas ir

svārsti, jo no svārsta garuma ir atkarīgs svārstību periods. Šis bija galvenais iemesls, kāpēc pulksteņus vajadzēja novietot telpā, kur temperatūras izmaiņas būtu pēc iespējas mazākas.

Lai gaiss mazāk traucētu pulksteņu darbību, to daļēji izsūknēja no korpusa ar rokas sūkni. Spiediens korpusā bija 150 mm Hg zemāks par normālo gaisa spiedienu. Pulksteņu gaitu varēja regulēt, palielinot vai samazinot gaisa spiedienu. Piemēram, ja korpusā ielaida vairāk gaisa, gaisa pretestība pieauga, un pulksteņa gaita kļuva lēnāka. Sekundārais pulkstenis bija vienkārši precīzs svārsta pulkstenis koka un stikla korpusā.

Riefler pulksteņus izveidoja vācu fiziķis un pulksteņmeistars Zigmunds Rīflers (1847–1912) 19. gadsimta beigās. 1889. gadā viņš izgudroja jaunu pulksteņa gaitas regulatoru. *Riefler* firma, kas turpināja darboties arī pēc izgudrotāja nāves, arvien uzlaboja savu pulksteņu precizitāti, līdz D tipa pulksteņu (tādi, kā bija uzstādīti pulksteņu pagrabā) neregulēta dienas gājiena kļūda bija ap 10 milisekundes un garantēti nepārsniedza 30 milisekundes. Pavisam izgatavoti 635 *Riefler* pulksteņi, katram ir piešķirts numurs. Observatorijā izmantoja galvenos pulksteņus Nr. 403 un Nr. 457 un sekundāros pulksteņus Nr. 402 un Nr. 435.



Hronometrists Ernsts Lips montē *Riefler* galvenos pulksteņus

UZ SKATUVES UZNĀK KVARCA PULKSTENĪ

Apmēram tajā pašā laikā, kad mehāniskie Riefler pulksteņi sasniedza maksimālo precizitāti, tika izgudroti kvarca pulksteņi. To darbības pamatā ir kvarca plāksnīte, kas elektrisko impulsu iedarbībā svārstās (rezonē) ar noteiktu frekvenci, līdz ar to darbojas kā elektrisko svārstību frekvences stabilizētājs. Frekvence ir nedaudz atkarīga no temperatūras, tāpēc kvarca kristālu nepieciešams ievietot termostātā, kas uztur nemainīgu temperatūru. 1927. gadā tika izgatavots pasaulē pirmais kvarca pulkstenis. 20. gadsimta 30. gados ASV kvarca pulksteņus sāka izmantot precīzā laika glabāšanai, to kļūda bija tikai viena sekunde četros mēnešos jeb 8 milisekundes diennaktī.

1935.–1936. gadā vācu zinātnieki, izmantojot kvarca pulksteņus, secināja, ka Zemes rotācija nav pilnīgi vienmērīga. Šā fakta konstatēšana bija apvērsums laika skaitīšanā. Ja vēlējās noteikt laiku ar milisekundes precizitāti, vairs nebija iespējams balstīties uz Zemes rotāciju un – atbilstoši – uz zvaigžņu stāvokļa mērījumiem. Kvarca pulksteņiem kļūstot arvien precīzākiem, pakāpeniski viss apgriezās otrādi, par precīzā laika “glabātājiem” kļuva pulksteņi, nevis zvaigznes. Tagad pēc pulksteņu rādījumiem varēja pētīt Zemes rotācijas nevienmērību, tiesa, vēl arvien ar astronomiskām metodēm. Pareizā laika glabāšana no astronomu rokām



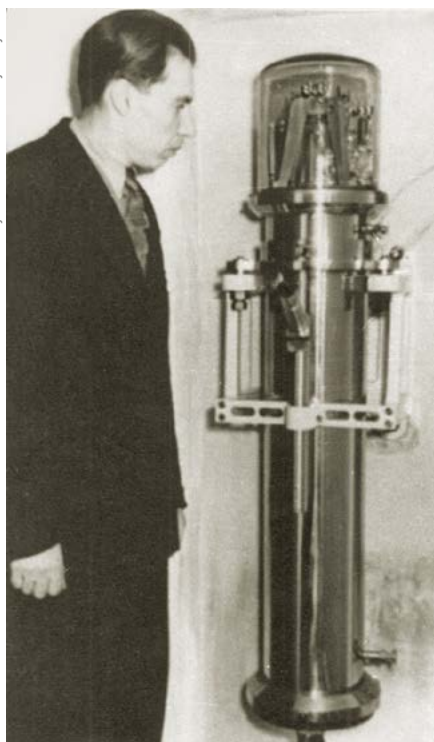
Inženiera Aleksandra Akmentiņa kvarca pulkstenis no priekšas un aizmugures

pakāpeniski pārgāja fizīku rokās. Galīgā pāreja notika līdz ar atompulksteņu ieviešanu 20. gadsimta 60. gados.

Tiecoties paaugstināt laika mērīšanas precizitāti, jaunās metodes izmantoja arī Astronomiskajā observatorijā. Radiotehnikas speciālists Aleksandrs Akmentiņš (1904–1973) 1938. gadā sāka konstruēt kvarca pulksteni

ar 50 kHz frekvences kvarca kristālu. 1939. gadā pulksteni papildināja ar mērinstrumentiem un termostatu. 1934. gadā observatorijas galveno pulksteņu gaitas precizitāte bija pāris desmiti milisekunžu, taču 1941. gadā tos vajadzēja koriģēt tikai par 1–3 milisekundēm. Akmentiņa kvarca pulksteni izmantoja līdz 1944. gadam.

TAD, KAD MEHĀNISKIE PULKSTENĪ TUVOJĀS SAVAS PRECIZITĀTES KĀLNGALAM, TIKĀ IZGUDROTI KVARCA PULKSTENĪ, KAS TOS VIEGLI APSTEIDZA.



Inženieris Jurijs Skrins pie pulksteņa AČE Nr. 25 primārās daļas



Kvarca pulkstenis Rohde und Schwarz un cita Laika dienesta aparātūra

MEHĀNISKO PULKSTEŅU VIRSOTNE

Pēc Otrā pasaules kara Latvijas Valsts universitātes Laika dienestā turpināja izmantot *Riefler* pulksteņus, taču tie bija nodiluši, un to gaita kļuva neprecīzāka, piemēram, 1949. gadā pulksteņa Nr. 403 diennakts gājiens bija ± 10 milisekundes, pulksteņa Nr. 457 – ± 30 milisekundes. 1956. gadā observatorija iegādājās Šorta sistēmas astronomisko pulksteni AČE Nr. 25. Pulkovas laika dienestā jau ilgāku laiku izmantoja oriģinālo Šorta pulksteni, kas bija precīzāks par *Riefler* pulksteņiem.

Šorta pulkstenis arī sastāvēja no divām daļām – no

galvenā, primārā, pulksteņa un ar to elektriski sinhronizētā sekundārā svārsta pulksteņa, taču galvenajam pulkstenim nebija ciparnīcas un pulksteņa mehānisma, bija tikai svārsts un svārsta iesvārstīšanas mehānisms. Turklāt svārsts atradās aptuveni metru garā hermētiskā vara cilindrā, no kura bija izsūknēta lielākā daļa gaisa, spiediens tajā bija tika 30 mm Hg. Tādā veidā tika sasniegta ļoti augsta mehānisko svārsta pulksteņu precizitāte. Šorta pulksteņu kļūda bija tikai 2–3 milisekundes diennaktī jeb 1 sekunde gadā.

Šorta pulksteni 1921. gadā izgudroja britu inženieris Viljams Šorts (*Shortt*,

1881–1971). Mēģinājumi nokopēt tā konstrukciju Padomju Savienībā sākās jau 1934. gadā, taču panākumiem vainagojās tikai pēc kara, 1951. gadā. Līdz 1955. gadam rūpnīcā *Etalons* bija izgatavoti aptuveni 30 AČE pulksteņi (Астрономические часы Эталон), tomēr tie nebija tik precīzi kā oriģināls, pēc tehniskās pases to diennakts gājiena vidējā kvadrātiskā kļūda bija 4 milisekundes.

Sākumā pulksteni AČE Nr. 25 uzstādīja pulksteņu pagrabā Raiņa bulvārī 19, taču tā darbību ietekmēja mainīgā temperatūra un transporta radītie satricinājumi, kas kopš 20. gadsimta 20. gadiem bija kļuvuši daudz

LIKTEŅA IRONIJA – INŽENIERIS IZGUDRO PASAULĒ PRECĪZĀKO SVĀRSTA PULKSTENI, BET TAS VAIRS NAV ĪSTI VAJADŽĪGS.

jūtamāki. Pēc ilgstošas regulēšanas un svārsta nomaiņas 1959. gadā AČE diennakts gājiens bija $\pm 3 - 5$ milisekundes. 1960. gadā pabeidza dziļa pulksteņu pagrabā būvī observatorijas novērošanas bāzē Rīgā, Kandavas ielā 2, LVU Botāniskā dārza teritorijā, un AČE pulksteni pārcēla uz turieni.

Tomēr pagrabs tikpat kā netika izmantots tiešajai vajadzībai – svārsta pulksteņu pasargāšanai no satricinājumiem un temperatūras izmaiņām, jo 1958. gadā observatorija no Vācijas Federatīvās Republikas iegādājās kvarca pulksteni *Rohde und Schwarz*, kura diennakts novirze bija tikai 0,1 milisekunde. Tas kļuva par observatorijas galveno pulksteni. Pulksteņa AČE-25 primārā daļa vēl ilgi stāvēja pulksteņu pagrabā. Tā mehānisms līdz mūsdienām nav saglabājies, taču caurule, kurā atradās svārsts, šobrīd kalpo kā Astronomiskā torņa teleskopa balsta kolonna. Pulksteņa sekundāro daļu vēlāk pārvietoja uz pulksteņu istabu Raiņa bulvārī 19, kur tā atrodas arī tagad.

1961. gadā observatorija ieguva vēl precīzāku svārsta pulksteni AČF-3 (Астрономические часы Федченко), kuru uzstādīja

jaunajā pulksteņu pagrabā. Šis pulkstenis nav saglabājies. AČF-3 izgudroja krievu pulksteņu konstruktors Feodosijs Fedčenko (1911–1989). Galvenais jauninājums bija svārsts, kura svārstību periods nav atkarīgs no svārstību amplitūdas. To panāca, izmantojot speciālu iekāri ar trim atsperēm. Pulksteņa pirmais modelis tapa 1954. gadā, otrais modelis – pēc diviem gadiem, trešo un pēdējo modeli sāka izgatavot 1959. gadā.

Pulkstenim AČF-3 bija metru garš svārsts, kas ievietots hermētiski noslēgtā tērauda cilindrā ar stikla galiem, kur gaisa spiediens ir tikai 6–8 mm Hg. No invara izgatavotais pulksteņa svārsts svārstījās brīvi, veicot vienu pilnu svārstību divās sekundēs ar amplitūdu, kas bija mazāka par diviem loka grādiem. Pulkstenim bija ļoti laba termokompensācija, temperatūra varēja mainīties par vairākiem grādiem, tas tikpat kā neietekmēja gaitu. Fedčenko izgatavoja arī palielinātas stabilitātes sekundāro pulksteni, kas uz ciparnīcas rādīja primārā pulksteņa sekunžu impulsus.

AČF-3 bija precīzākais svārsta pulkstenis pasaulē, tā precizitāte 0,2–0,3 milisekundes diennaktī bija aptuveni desmit reizes augstāka



William Scolnik

Feodosija Fedčenko pulksteņa AČF-3 primārā daļa

nekā Šorta pulksteņiem, un tas varēja sacensties ar *Rohde und Schwarz* kvarca pulksteni. Pavisam izgatavoti ap 50 Fedčenko pulksteņu. Līdz 20. gadsimta 80. gadiem tos izmantoja observatorijās, lidostās, kosmodromos, taču tie tikpat kā nebija zināmi ārpus PSRS, jo tos izkonkurēja kvarca, pēc tam – atompulksteņi. Likteņa ironija – inženieris izgudro pasaulē precīzāko svārsta pulksteni, bet tas vairs nav īsti vajadzīgs.

20. gadsimta 60. gados pasaulē sākās atompulksteņu ēra. Cēzija atompulksteņus izmanto cēzija-133 izotopu un reģistrē pāreju (starojumu) starp diviem noteiktiem atoma enerģijas līmeņiem. Pirmo cēzija atompulksteņi uzbūvēja Lielbritānijā 1955. gadā, bet jau pavisam drīz tos ražoja sērijā. Atompulksteņi attīstījās ļoti strauji un daudzkārt pārspēja precizitātē kvarca pulksteņus, nerunājot nemaz par svārsta pulksteņiem. Pirmais cēzija atompulkstenis kļuvis par sekundi 300 gados, bet precīzākajiem 21. gadsimta atompulksteņiem kļūda ir tikai viena sekunde 300 miljonos gadu. Precīzā laika glabāšana pilnībā pārgāja fiziķu rokās, taču astronomi turpināja noteikt pasaules laiku (lasi – Zemes rotāciju un tās nevienmērību) ar astronomiskām metodēm.

OBSERVATORIJĀ TOP KVARCA PULKSTEŅI

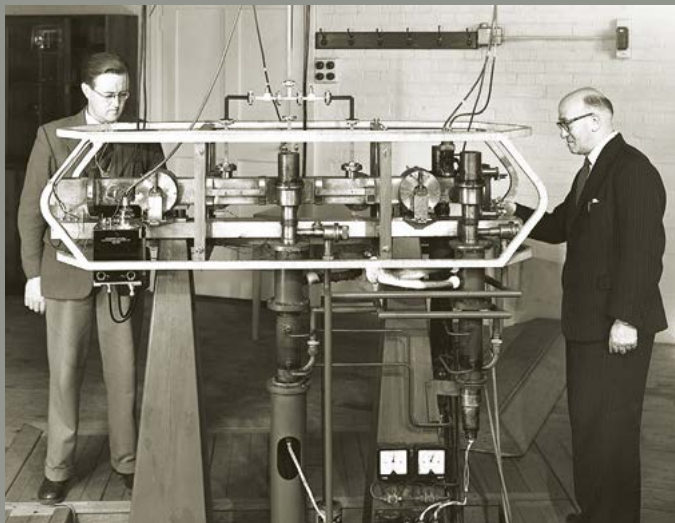
1961. gadā Astronomiskās observatorijas inženieris Kārlis Cīrulis (1904–1983) sāka būvēt kvarca pulksteņi. Tam bija elektrisks ģenerators, kura 500 kHz frekvenci stabilizēja kvarca kristāls. Tālāk elektroniski daļītāji samazināja frekvenci līdz 500 Hz. Turpmāka frekvences samazināšana bija sarežģīta, jo elektronu lampās pastāv trokšņi, kas varēja radīt papildu impulsus, liekus pulksteņa “sitienus”. Kārlim Cīrulim nebija pieejamas speciālas maztrokšņu lampas, taču viņš

LAIKA SKAITĪŠANA

Agrāk sekunde tika definēta kā Saules diennakts 1/86400 daļa. Kad pēc Otrā pasaules kara kļuva viennozīmīgi skaidrs, ka Zemes rotācija nav vienmērīga, sekunde, kuras garums ir mainīgs, vairs nederēja kā etalona vienība. 1956. gadā tika precīzāk definēts pasaules laiks (*Universal Time*, UT). UT0 ir nulles (Griničas) meridiāna vidējais Saules laiks, kas iegūts tieši no astronomiskajiem novērojumiem. UT1 ir tas pats laiks, tikai izlabots par polu kustību. Tā kā Zemes poli nedaudz pārvietojas, konkrētas vietas ģeogrāfiskais garums mazliet mainās, un tas jāņem vērā laika mērījumos. UT1 ir galvenā laika skala, kas atspoguļo Zemes rotāciju. UT2 ir vēl papildus koriģēts par Zemes rotācijas sezonālajām izmaiņām.

Tajā pašā 1956. gadā pieņēma un 1960. gadā ieviesa jaunu sekundes definīciju. Sekundi tagad definēja kā tropiskā gada 1/31556925,9747 daļu. Tropiskais gads ir laika intervāls, pēc kura Saule savā redzamajā kustībā pa debesīm atgriežas tajā pašā debess sfēras punktā. Taču šī sekundes definīcija nepastāvēja ilgi, jau 1967. gadā sekundi pārdefinēja, izmantojot atomos notiekošos procesus. Sekunde (atomsekunde) ir laika intervāls, kas vienāds ar 9192631770 cēzija atompulksteņa svārstību periodiem.

Atompulksteņi “tikšķ” vienmērīgi, taču Zemes rotāciju ilgtermiņā palēnina Mēness radītie paisumi. Lai saskaņotu pēc Zemes rotācijas mērīto laiku ar atomlaiku, 1972. gadā ieviesa koordinēto pasaules laiku (*Coordinated Universal Time*, UTC), kas rit vienmērīgi, kā atomlaiks, bet kurā pēc vajadzības 30. jūnijā vai 31. decembrī iesprauž lieku sekundi, lai kompensētu Zemes rotācijas palēnināšanos. Līdz 2020. gadam UTC laika skalā iespraustas 27 liekās sekundes.



ASV Nacionālās fizikas laboratorijas cēzija atompulkstenis 1955. gadā

atrada risinājumu – izmantoja parastās elektronu lampas, bet noslogoja tās ārkārtīgi maz. Lai kvarca kristāla frekvence nemainītos, to ievietoja dubultā termostatā, kas uztur $\pm 0,001$ °C temperatūru.

1963. gadā pirmais eksemplārs Laika dienesta vajadzībām bija gatavs. Pulksteņa diennakts gaitas variācija bija $\pm 0,1 - 0,2$ milisekundes jeb $\pm 100 - 200$ mikrosekundes, tātad Kārļa Cīruļa kvarca pulkstenis bija tikpat labs kā rūpnieciski ražotais *Rohde und Schwarz*, tikai daudz mazāks un vieglāks. Pulksteņa izmēri bija $54 \times 43 \times 35$ cm, svars ap 25 kilogramiem.

Pēc tam līgumdarbu ietvaros tapa vēl četri pulksteņi – Zveņigorodas pavadonu novērošanas stacijai Maskavas apgabalā, A. Joffes Fizikāli tehniskajam institūtam Ļeņingradā, Šemahas observatorijai Azerbaidžānā un Igaunijas PSR Zinātņu akadēmijas Fizikas un astronomijas institūtam. Pēdējie modeļi varēja iet gan pēc vidējā Saules laika, gan pēc zvaigžņu laika. Arī pavadonu

INŽENIERIS KĀRLIS CĪRULIS UZBŪVĒJA KVARCA PULKSTEŅUS, KAS BIJA TIKPAT PRECĪZI KĀ RŪPNIECISKI RAŽOTIE, BET MAZĀKI UN VIEGLĀKI.

fotokameras AFU-75 aparatūras komplektā iekļāva Kārļa Cīruļa kvarca pulksteni, militārā rūpnīca Rīgā to saražoja aptuveni 100 eksemplāros. Laika dienestam būvēto kvarca pulksteni izmantoja līdz 1973. gadam. 1974. gadā iegādājās divus rūpnieciski ražotus kvarca pulksteņus KČ-1N ar 5 MHz kvarca ģeneratoru. Tolaik arī kvarca pulkstenis *Rohde und Schwarz* bija novecojis, tam arvien grūtāk bija sagādāt nomaināmās radiolampas, un to pārstāja izmantot.

ATOMĀRIE FREKVENCES STANDARTI

1969. gadā Botāniskā dārza novērošanas bāzē uzstādīja amonjaka (NH_3) molekulu atompulksteni, precīzāk

sakot, frekvences standartu Č1-12 Nr. 70907, kas ražots 1967. gadā. To nevarēja darbināt ilgstoši, standartu ieslēdza tikai pāris reizes nedēļā uz dažām minūtēm, bet ar to pietika, lai noregulētu Laika dienesta kvarca pulksteņus. Tas deva frekvences 5 MHz, 1 MHz un 0,1 MHz. Kad amonjaka molekulas ierosina ar elektrisko lauku, slāpekļa atomi tajās sāk svārstīties ar 23 870 MHz frekvenci. Šo stabilo frekvenci izmanto, lai kontrolētu kvarca kristāla svārstības. Pirmo amonjaka pulksteni izgatavoja ASV 1948. gadā.

Nākamais solis Astronomiskās observatorijas laika skalas uzlabošanā bija PSRS ražotais rubīdija frekvences standarts Č1-69 Nr. 17964, kuru uzstādīja 1981. gada pavasarī. Rubīdija standarta frekvences precizitāte bija $\pm 2 \times 10^{-11}$ jeb $\pm 1,7$ mikrosekundes dienā. Arī tas deva frekvences 5 MHz, 1 MHz un 0,1 MHz. Šo sistēmu uzturēja darba kārtībā un tam pievienoja dažādas palīgiekārtas Astronomiskās observatorijas zinātniskais līdzstrādnieks Kazimirs Lapuška (1936–2013).

Rubīdija atompulksteņos izmanto elektronu pāreju



Inženiera Kārļa Cīruļa kvarca pulkstenis



Rubīdija frekvences standarts Č1-69

20. GADSIMTA SEŠDESMITAJOS GADOS PRECĪZĀ LAIKA GLABĀŠANA PILNĪBĀ PĀRGĀJA FIZIĶU UN ELEKTRONIĶU ROKĀS.

starp rubīdija-87 atomu enerģijas līmeņiem, kurā rodas mikroviļņu starojums ar 6835 MHz frekvenci. Kad sasniegta šī rezonanses frekvence, izlādes lampas gaismā, kas spīd cauri rubīdija atomu gāzei, kļūst nedaudz vājāka, un šo izmaiņu var konstatēt. Pirmo rubīdija atompulkstēni izgatavoja ASV 20. gadsimta 50. gadu beigās. Jau pēc dažiem gadiem tos ražoja sērijā. Komerciālie rubīdija atompulkstēņi nav tik precīzi kā cēzija atompulkstēņi, bet ir daudz lētāki, tāpēc tos plaši izmanto arī mūsdienās.

Taču pulksteņa rādījums pakāpeniski "peldēja", un to vajadzēja sinhronizēt ar citu, precīzāku pulksteni. Sākumā to darīja pēc radio signāliem, ar speciālu iekārtu *Loran EDO-1200* uztverot ASV *Loran-C* navigācijas sistēmas signālus, kurus Eiropā raidīja vairāki fiksēti virszemes raidītāji. Šādā veidā sasniedza

sinhronizācijas precizitāti 10–20 mikrosekundes.

Vēlāk izmantoja PSRS Centrālās televīzijas kanālu, kurā bija ietverti arī precīzā laika signāli. Lai precīzāk noteiktu televīzijas signāla nokavēšanos, 1983. gadā no Vissavienības Fizikāli tehnisko

un radiotehnisko mērījumu zinātniski pētnieciskā institūta atveda pārvietojamo cēzija atompulkstēni. Turpmāk ar televīzijas signāla starpniecību rubīdija standartu varēja sinhronizēt ar PSRS laika un frekvences etalonu ar 1 mikrosekundes precizitāti. To darīja ik dienu un pēc vajadzības regulēja rubīdija standartu.

Laikā no 1988. līdz 1990. gadam observatorija iegādājās divus PSRS ražojuma rubīdija frekvences un laika standartus Č1-74, kuru izmēri bija $49,5 \times 17,5 \times 48$ centimetri un svars 23 kilogrami. Otrs eksemplārs bija vajadzīgs drošības dēļ, ja pirmais sabojājas. To precizitāte nebija lielāka kā iepriekšējam modelim, bet tie bija nedaudz modernāki. Arī jaunie standarti deva frekvences 5 MHz, 1 MHz un 0,1 MHz. Tos izmantoja līdz 2014. gadam.



Precīzā laika aparātūra 21. gadsimta sākumā. Redzams standarts Č1-74 ar melnu priekšējo paneli

Horne del Pino



Viens no firmas *Symmetricom* GPS uztvērēju modeļiem, 2005. gads

GPS PAVADOŅU UZVARAS GĀJIENS

Mūsdienās visi zina, ka ar mobilā telefona GPS uztvērēju var visnotaļ precīzi noteikt savas atrašanās vietas koordinātas. Taču mazāk zināms, ka GPS un citi navigācijas pavadoņi raida arī precīzā laika signālus, jo tajos ir uzstādīti atompulksteņi, kuru sinhronizē ar ļoti precīziem atompulksteņiem uz Zemes. Izveidota speciāla GPS laika skala, kas saistīta ar koordinēto pasaules laiku ar 0,025 mikrosekunžu jeb 25 nanosekunžu precizitāti. Pirmo GPS pavadoņi ASV Aizsardzības departaments palaida 1978. gadā, bet 1993. gadā orbītā jau bija izvietots pilns komplekts – 24 pavadoņi. Sākumā GPS bija paredzēts tikai militārām vajadzībām, vēlāk ASV valdība atļāva to lietot arī civilpersonām. Par navigācijas pavadoņu darbības principiem plašāk lasiet Harija Paveļčuka rakstā

šajā *Zvaigžņotās Debess* numurā.

Tāpat satelīts raida laika signālus. Elektromagnētisko viļņu izplatīšanās ātrums ir ierobežots, tāpēc paiet laiks, kamēr tie sasniedz uztvērēju. Uztvērējam vienlaikus nepieciešams uztvert vismaz četru pavadoņu signālus, lai aprēķinātu trīs telpiskās koordinātas un uztvērēja laika nobīdi attiecībā pret pavadoņa noraidīto laiku. Pat ne pārāk dārgi mūsdienu GPS uztvērēji spēj fiksēt laiku ar 100 nanosekunžu precizitāti.

Astronomiskajā observatorijā GPS uztvērēju *Turbo Rogue SNR-8000*, lai iegūtu precīzā laika signālu, sāka izmantot 1995. gada beigās. To lietoja līdz 2001. gada vidum, kad nomainīja ar firmas *Symmetricom* modeli 58540A, kas darbojās līdz 2014. gadam. *Symmetricom* uztvērēja, kas deva 10 MHz frekvenci, precizitāte bija $\pm 1 \times 10^{-11}$ jeb ± 860 nanosekundes diennaktī,

un tas bija piesaistīts koordinētajam pasaules laikam ar ± 110 nanosekunžu precizitāti. Šajā laika posmā observatorijas rubidija standartus Č1-74 regulēja pēc GPS uztvērējiem.

2013. gadā Zemes mākslīgo pavadoņu novērošanas stacijas vadību (tā pati novērošanas bāze Botāniskajā dārzā) pārņēma Latvijas Universitātes Astronomijas institūta pētnieks Kalvis Salmiņš. 2014. gadā stacijā uzstādīja firmas *Spectracom* rubidija atompulksteni *SecureSync 1200-033*, kuram ir vairāku navigācijas pavadoņu sistēmu (GPS, *Galileo*, GLONASS, *BeiDou*) signālu uztveršanas iekārta. Tas viss ietilpst $42,5 \times 4,4 \times 36,4$ centimetrus lielā korpusā, kura svars ir tikai 3 kilogrami. Rubidija pulksteni reālā laikā regulē, tehniskajā žargonā – “disciplinē”, GPS signāli. Tā brīvās gaitas precizitāte ir $\pm 1 \times 10^{-12}$ jeb ± 86 nanosekundes diennaktī, bet ar GPS uztvērēja palīdzību tas ir piesaistīts koordinētajam pasaules laikam ar ± 25 nanosekunžu precizitāti. Nākotnē Astronomijas institūtā plānots iegādāties cēzija atompulksteni.

Rakstā izsekojām, kā nepilnā gadsimtā ir pieaugusi laika glabāšanas precizitāte – no 1 sekundes 3 mēnešos *Riefler* pulkstenim līdz 1 sekundeī 30 tūkstošos gadu komerciālam rubidija standartam un līdz pat 1 sekundeī 300 miljonus gadu pašiem precīzākajiem cēzija atompulksteņiem. 🦋



Firmas *Spectracom* rubidija atompulkstenis *SecureSync*

In memoriam: Ilga Daube

2021. gada 2. aprīlī Rīgā 102 gadu vecumā mūžībā devusies vecākā latviešu astronome, astronomijas popularizētāja un vēsturniece ILGA DAUBE (dzimusi 1918. gada 6. oktobrī). Viņa strādāja LPSR Zinātņu akadēmijas Fizikas institūta Astronomijas sektorā, kas vēlāk pārtapa par Astrofizikas laboratoriju un pēc tam par Radioastrofizikas observatoriju, ilgu laiku bija observatorijas zinātniskā sekretāre. Neraugoties uz lielo administratīvā darba slodzi, viņa strādāja naktīs pie Šmita teleskopa,

fotografējot zvaigžņu kopas un maiņzvaigznes.

Ilga Daube bija viena no desmit Vissavienības Astronomijas un ģeodēzijas biedrības Rīgas nodaļas dibinātājiem. Nolasījusi daudzas populārzinātniskas lekcijas, rakstījusi populārzinātniskus rakstus un grāmatas. No 1958. līdz 1978. gadam aktīvi darbojusies žurnāla *Zvaigžņotā Debess* redakcijā, vēlāk rakstījusi par astronomijas vēsturi, gatavojusi ziņas par astronomu jubilejām.

Par Ilgas Daubes dzīves gājumu lasiet Andreja Alkšņa

rakstā *Zvaigžņotās Debess* 1998. gada rudens numurā, kur cita starpā viņš raksta: "Ilga Daube ir vienīgā Latvijas astronome, kas iztur līdzī vīriešiem, dežurē savu nakti Šmita teleskopa tornī un spēj sekmīgi tikt galā ar šo instrumentu." Viņas pašas atmiņas *Garā mūža atmiņu drumslas* publicētas *Zvaigžņotās Debess* 2003. gada rudens un 2003./2004. gada ziemas laidienos. Šie žurnāli ir brīvi pieejami Latvijas Universitātes e-resursu repositoriņā <https://dspace.lu.lv/dspace/handle/7/1171>. 🐦



Ilgas Daubes simtgades svinības Latvijas Astronomijas biedrībā 2018. gada oktobrī

DEBESS SPĪDEKLĪ, 2021. gada vasarā



Stellarium

Zvaigžņotās debess izskats dienvidu pusē 20. jūlijā plkst. 24.00 un 20. augustā plkst. 22.00

Vasaras saulgrieži un astronomiskās vasaras sākums 2021. gadā būs

21. jūnijā plkst. 6^h33^m, kad Saule ieies Vēža zodiaka zīmē (♋). Tātad patiesā Jāņu nakts šogad būs no 20. uz 21. jūniju. 6. jūlijā plkst. 1^h Zeme atradīsies vistālāk no Saules (afēlijā). Tad attālums būs 1,017 astronomiskās vienības. Rudens ekvinokcija un astronomiskās vasaras beigas būs 22. septembrī plkst. 22^h22^m. Šajā brīdī Saule ieies Svaru zodiaka zīmē (♎), diena un nakts tad būs aptuveni vienādi garas.

Vasaras pirmajā pusē redzamas tikai pašas spožākās zvaigznes. Par debess dziļu objektu novērošanu nevar būt pat runas. Tad orientēties var pēc dažām spožākajām zvaigznēm – Vegas (Liras α), Deneba (Gulbja α) un Altaira (Ērgļa α), kuras veido tā saukto vasaras trijstūri. Vēl vairākas spožas zvaigznes ir Skorpiona zvaigznājā, bet tas mūsu platuma grādos ir grūti novērojams, jo pat augšējā kulminācijā ir ļoti zemu pie horizonta.

Turpretī vasaras otrajā pusē var iepazīties un aplūkot Čūsku, Herkulesu, Ziemeļu Vainagu, Čūsknesi, Bultu, Lapsiņu, Strēlnieku, Mežāzi, Delfīnu un Mazo Zirgu. Siltās un pietiekami tumšās nakts tad ir labvēlīgas debess dziļu objektu novērošanai. Herkulesa zvaigznājā var redzēt lodveida zvaigžņu kopas M13 un M92; Čūskas un Čūskneša zvaigznājos – lodveida kopas M5, M10 un

M12; Liras zvaigznājā – planetāro miglāju M57; Lapsiņas zvaigznājā – planetāro miglāju M27; Strēlnieka zvaigznājā – miglājus M8, M17 un M20.

Interesanta dabas parādība vasaras naktīs ir sudrabainie mākoņi. Ziemeļu pusē, krēslas segmenta zonā, šad tad var redzēt gaišas svītras, joslas, viļņus, virpuļus. Tie tad arī ir paši augstākie (80–85 km) un caurspīdīgākie atmosfēras mākoņi – sudrabainie mākoņi.

Jūlija beigas un augusta pirmā puse ir ļoti piemērota meteoru novērojumiem. Tad pavisam neilgā laikā var cerēt ieraudzīt kādu no "krītošajām zvaigznēm".

PLANĒTAS

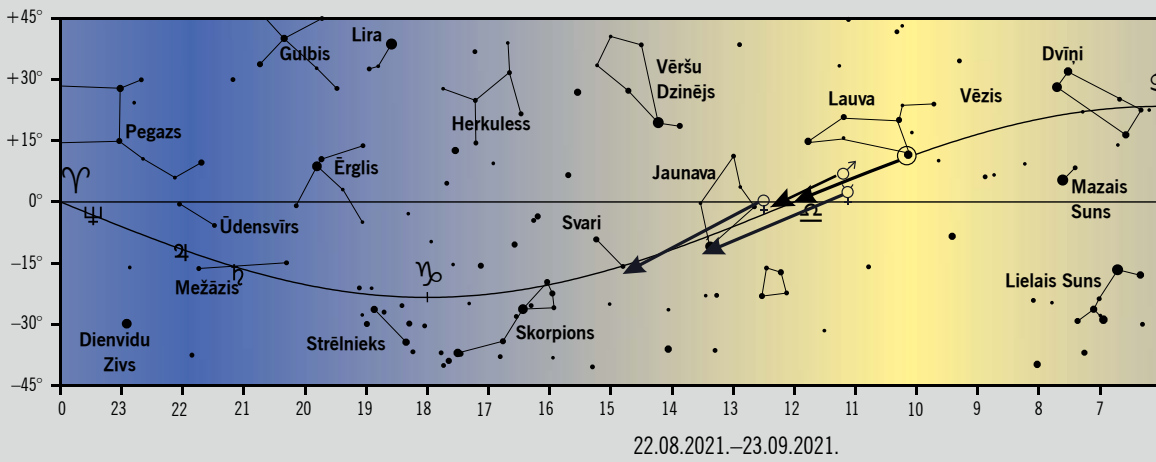
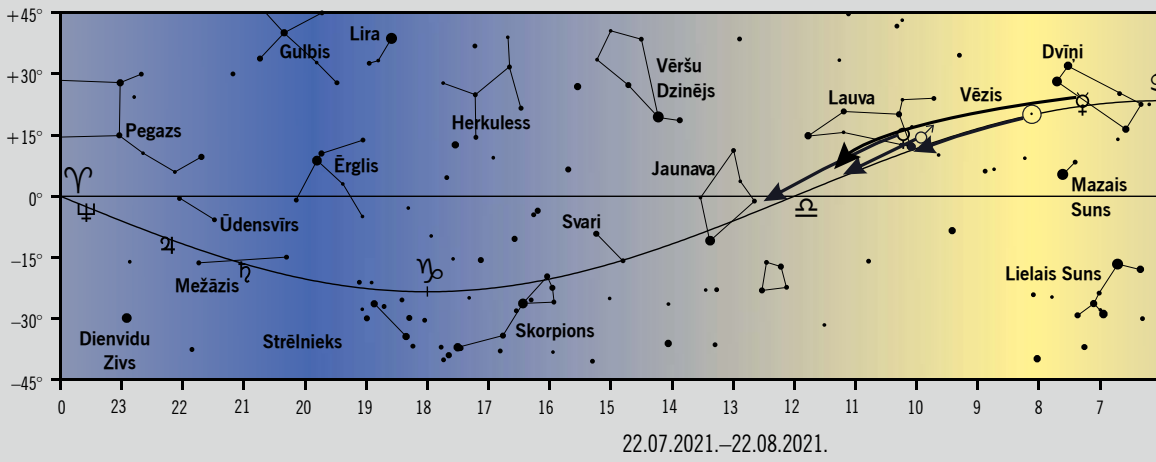
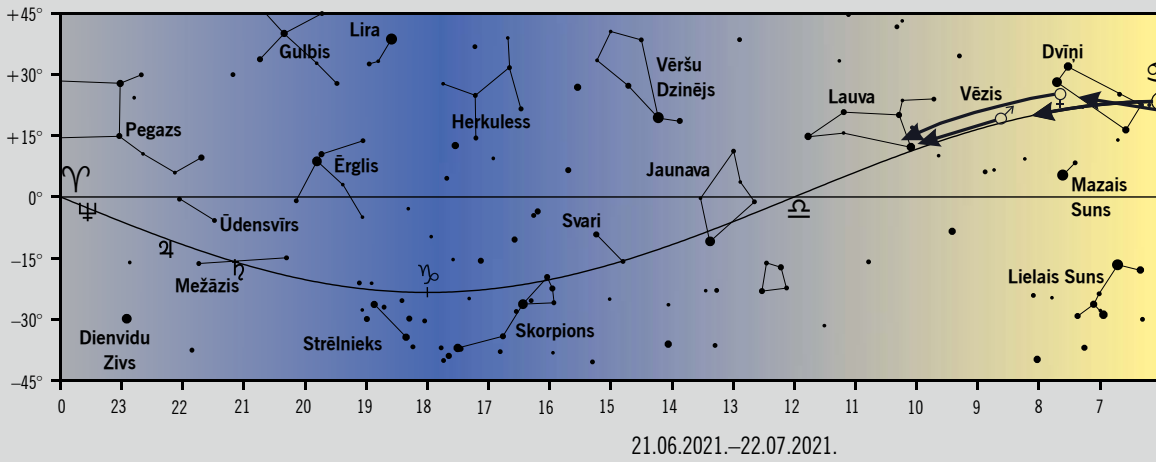
Vasaras sākumā **Merkurs** nebūs novērojams. 4. jūlijā tas nonāks maksimālajā rietumu elongācijā (22°). Tomēr arī jūlija sākumā un pirmajā pusē tas nebūs redzams, jo lēks neilgu laiku pirms Saules un naktīs būs ļoti gaišs. 1. augustā Merkurs atradīsies augšējā konjunktijā ar Sauli (aiz tās). Tāpēc jūlija otrajā pusē un augusta pirmajā pusē tas nebūs redzams. 14. septembrī Merkurs nonāks maksimālajā austrumu elongācijā (27°). Tomēr arī vasaras beigās tas tik un tā nebūs novērojams, jo rietēs gandrīz reizē ar Sauli. 8. jūlijā plkst. 7^h Mēness paies garām 3° uz augšu, 9. augustā plkst. 8^h 2° uz augšu un 9. septembrī plkst. 3^h 5° uz augšu no Merkura.

2021. gada vasara **Veneras** novērošanai būs nelabvēlīga,

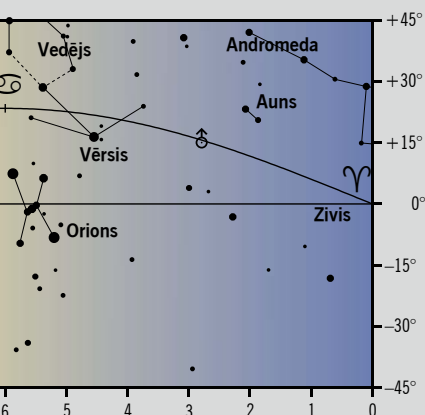
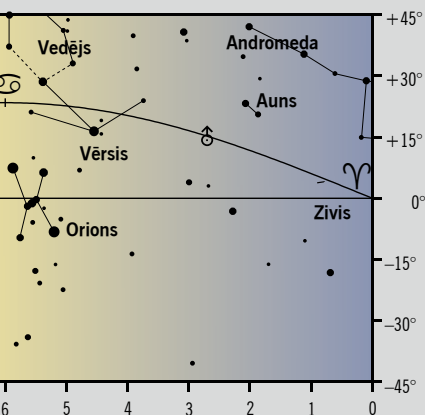
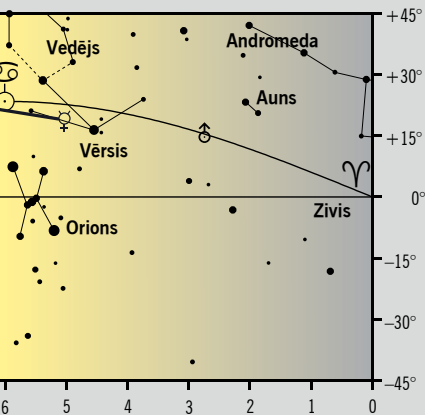
pat neraugoties uz to, ka austrumu elongācija pastāvīgi palielināsies. Vasaras sākumā tā būs 23°, vasaras beigās – 44°. Spožums attiecīgi – 3^m,9 un –4^m,1. Veneru var mēģināt ieraudzīt drīz pēc Saules rīta zemu pie horizonta rietumu pusē, tomēr tā nebūs viegli novērojama. 12. jūlijā plkst. 14^h Mēness paies garām 2° uz augšu, 11. augustā plkst. 13^h 3° uz augšu un 10. septembrī plkst. 7^h 3° uz augšu no Veneras.

Vasaras sākumā un jūlija sākumā **Marss** vēl būs redzams vakaros. Tā spožums jūnijā beigās būs +1^m,8. Līdz 10. jūlijam tas atradīsies Vēža zvaigznājā, pēc tam pāries uz Lauvas zvaigznāju. Apmēram no 10. jūlija līdz pat vasaras beigām Marss vairs nebūs novērojams. 12. jūlijā plkst. 15^h Mēness paies garām 3° uz augšu, 10. augustā plkst. 6^h 3° uz augšu un 7. septembrī plkst. 22^h 3° uz augšu no Marsa.

Vasaras sākumā **Jupiteris** būs novērojams nakts otrajā pusē. Tā spožums būs –2^m,6. Jūlijā tas būs redzams lielāko nakts daļu, izņemot vakara stundas. 20. augustā Jupiteris nonāks opozīcijā. Līdz ar to augustā un septembra sākumā tas būs labi redzams visu nakti. Tā spožums saņiegs pat –2^m,9! Septembra otrajā pusē planēta būs labi redzama lielāko nakts daļu, izņemot rīta stundas. Visu vasaru Jupiteris atradīsies tuvu Ūdensvīra un Mežāža zvaigznāju robežai.



Saules šķietamais ceļš 2021. gada vasarā kopā ar planētām. Uz zilā fona parādītie spīdekļi redzami naktī



29. jūnijā plkst. 0^h Mēness paies garām 5° uz leju, 26. jūlijā plkst. 6^h 5° uz leju, 22. augustā plkst. 10^h 5° uz leju un 18. septembrī plkst. 12^h 5° uz leju no Jupitera.

Vasaras sākumā **Saturns** būs diezgan labi redzams lielāko nakts daļu, izņemot vakara stundas. 2. augustā tas nonāks opozīcijā ar Sauli. Tāpēc jūlijā otrajā pusē un augustā tas būs labi novērojams visu nakti. Saturna spožums šajā laikā būs +0^m,2. Septembrī planēta būs redzama nakts lielāko daļu, izņemot rīta stundas. Tās spožums šajā laikā būs +0^m,4. Visu vasaru Saturns atradīsies Mežāža zvaigznājā. 27. jūnijā plkst. 14^h Mēness paies garām 5° uz leju, 24. jūlijā plkst. 21^h 5° uz leju, 21. augustā plkst. 2^h

4,5° uz leju un 17. septembrī plkst. 7^h 4,5° uz leju no Saturna.

Vasaras sākumā un jūlijā **Urāns** būs novērojams nakts otrajā pusē. Tomēr šajā laikā traucēs ļoti gaišās nakts. Augustā tas būs redzams jau gandrīz visu nakti, izņemot vakara stundas. Vasaras beigās Urāns būs novērojams visu nakti. Turklāt tad vairs netraucēs arī gaišās nakts. Urāna spožums šajā laikā būs +5^m,7, tā atrašanai un aplūkošanai nepieciešams vismaz binoklis un zvaigžņu karte. Visu vasaru tas atradīsies Auna zvaigznājā. 4. jūlijā plkst. 19^h Mēness paies garām 3° uz leju, 1. augustā plkst. 4^h 3° uz leju un 28. augustā plkst. 12^h 2° uz leju no Urāna.

MAZĀS PLANĒTAS

2021. gada vasarā opozīcijā vai tuvu opozīcijai un spožākas par +9^m būs četras mazās planētas – Pallāda (2), Hēbe (6), Viktorija (12) un Jūlija (89).

Pallāda

Datums	α_{2000}	δ_{2000}	Attālums no Zemes, au	Attālums no Saules, au	Spožums, zv. l.
20.08.	23 ^h 25 ^m	+4°16'	2,254	3,185	9,1
30.08.	23 ^h 18 ^m	+2°22'	2,186	3,169	8,8
9.09.	23 ^h 11 ^m	+0°12'	2,148	3,152	8,6
19.09.	23 ^h 03 ^m	-2°04'	2,142	3,135	8,7

Hēbe

Datums	α_{2000}	δ_{2000}	Attālums no Zemes, au	Attālums no Saules, au	Spožums, zv. l.
21.06.	20 ^h 00 ^m	-7°30'	1,421	2,339	9,0
1.07.	19 ^h 54 ^m	-8°18'	1,346	2,316	8,8
11.07.	19 ^h 45 ^m	-9°29'	1,293	2,293	8,5
21.07.	19 ^h 36 ^m	-10°59'	1,265	2,270	8,4
31.07.	19 ^h 26 ^m	-12°42'	1,262	2,247	8,5
10.08.	19 ^h 19 ^m	-14°30'	1,284	2,225	8,7
20.08.	19 ^h 13 ^m	-16°15'	1,327	2,203	8,9
30.08.	19 ^h 11 ^m	-17°53'	1,388	2,181	9,1



Viktorija

Datums	α_{2000}	δ_{2000}	Attālums no Zemes, au	Attālums no Saules, au	Spožums, zv. l.
11.07.	20 ^h 36 ^m	-2°01'	0,856	1,821	9,1
21.07.	20 ^h 29 ^m	-1°22'	0,832	1,819	8,9
31.07.	20 ^h 21 ^m	-1°14'	0,826	1,819	8,8
10.08.	20 ^h 13 ^m	-1°34'	0,840	1,821	8,9
20.08.	20 ^h 08 ^m	-2°16'	0,872	1,825	9,2

Jūlija

Datums	α_{2000}	δ_{2000}	Attālums no Zemes, au	Attālums no Saules, au	Spožums, zv. l.
10.08.	22 ^h 18 ^m	-1°48'	1,140	2,121	9,3
20.08.	22 ^h 07 ^m	-0°46'	1,111	2,111	9,1
30.08.	21 ^h 56 ^m	+0°01'	1,107	2,103	9,1
9.09.	21 ^h 45 ^m	+0°36'	1,127	2,096	9,3

MĒNESS

Mēness perigejā un apogejā

Perigejā: 23. jūnijā 12^h;

21. jūlijā 13^h; 17. augustā 11^h; 11. septembrī 12^h.

Apogejā: 5. jūlijā plkst. 18^h;
2. augustā 10^h; 30. augustā 4^h.

Mēness fāzes

- Jaunmēness:
10. jūlijā 4^h16^m;
8. augustā 16^h50^m;
7. septembrī 3^h51^m.
- Pirmais ceturksnis:
17. jūlijā 13^h10^m;
15. augustā 18^h19^m;
13. septembrī 23^h39^m.
- Pilnmēness:
24. jūnijā 21^h39^m;
24. jūlijā 5^h36^m;
22. augustā 15^h01^m;
21. septembrī 2^h54^m.
- Pēdējais ceturksnis:
2. jūlijā 0^h10^m;
31. jūlijā 16^h15^m;
30. augustā 10^h13^m.

Mēness aizklāj spožākās zvaigznes un planētas

Datums	Zvaigzne	Spožums	Aizklāšana	Atklāšana	Mēness augstums	Mēness fāze
24.06.2021.	θ Oph	3 ^m ,3	2 ^h 43 ^m	3 ^h 36 ^m	4°-0,5°	99%
2.09.2021.	ε Gem	3 ^m ,1	3 ^h 10 ^m	4 ^h 07 ^m	19°-27°	25%

Laiki aprēķināti Rīgai. Pārējā Latvijā aizklāšanas laika nobīde var sasniegt 5 minūtes uz vienu vai otru pusi.

METEORI

Jūlija otrajā pusē un augustā ir novērojamas vairākas aktīvas meteoru plūsmas.

1. Delta (δ) Akvarīdas. Plūsmas aktivitātes periods ir laikā no 12. jūlija līdz 23. augustam. 2021. gadā maksimums gaidāms 30. jūlijā, kad vienas stundas laikā var cerēt ieraudzīt līdz 25 meteoriem. Ap to pašu periodu aktīvas ir vēl dažas vājākas plūsmas. Tāpēc reāli novērojamais meteoru skaits var būt vēl lielāks, vienīgi visi tie nepiederēs pie δ Akvarīdu meteoru plūsmas.

Perseīdas. Pieskaitāma pie aktīvākajām un stabilākajām plūsmām. Tās aktivitātes periods ir no 17. jūlija līdz 26. augustam. 2021. gadā maksimums gaidāms naktī no 12. uz 13. augustu, it īpaši rīta pusē. Tad intensitāte var sasniegt pat 110 meteoru stundā.

ABONĒ ŽURNĀLU *ZVAIGŽNOTĀ DEBESS*

UN ARĪ TURPMĀK UZZINI PAR
JAUNĀKAJIEM ATKLĀJUMIEM ASTRONOMIJĀ!



ABONĒ LATVIJAS PASTA NODAĻĀS VAI INTERNETĀ: PASTS.LV
ABONĒŠANAS INDEKSS LATVIJAS PASTĀ: 2214

ŽURNĀLS IZNĀK ČETRAS REIZES GADĀ: MARTĀ, JŪNIJĀ, SEPTEMBRĪ UN DECEMBRĪ
2021. gada abonementa cena 9,00 EUR

ABONĒ LATVIJAS PASTA NODAĻĀS VAI INTERNETĀ: PASTS.LV

ABONĒŠANAS INDEKSS LATVIJAS PASTĀ: 2214

ISSN 0135-129X



0 2 >

Cena 3,00 €

9 770135 129006 >