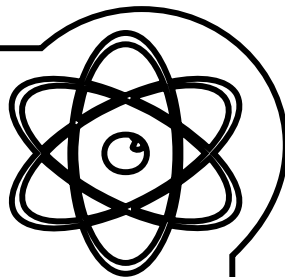
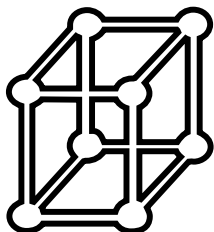


**EESTI FÜÜSIKA SELTS**



**EESTI  
FÜÜSIKA SELTSI  
AASTARAAMAT**

**2012  
XXIII  
aastakäik**



**TARTU 2013**

Toimetanud: Anna Aret, Helle Kaasik, Piret Kuusk

Kujundus ja küljendus: OÜ Intelligent Design

Autoriõigus Eesti Füüsika Selts 2013

ISSN 1406-0574

## SAATEKS

Eesti Füüsika Seltsil on oma peaaegu veerandsaja aastase olemasolu vältel välja kujunenud mõned harjumuspärased tegevusliinid: korraldatakse füüsikapäevi ja -koole, premeeritakse parimate teadustulemuste ning väljapaistvate üliõpilas- ja õpilastööde autoreid, jagatakse aukirju ja tänutähti mitmesuguste tegevuste eest füüsika edendamiseks, kirjastatakse aastaraamatut, mida seni on ilmunud 22 väljaannet.

Kuid *tempora mutantur, nos et mutamur in illis* – ajad muutuvad ja meie muutume koos nendega. Möödunud 2012. aastal tõusis päevakorda mõnede tegevusvaldkondade ajakohastamise küsimus.

Kuna igal aastal antakse välja riiklik teaduspreemia täppisteaduste valdkonnas, pole mõistlik seda dubleerida EFS aastapreemia väljaandmisega olemasoleva statuudi järgi. Tuleks rohkem esile tõsta füüsika ja üldisemalt täppisteadusliku maailmapildi väärtustamist avalikkuses.

EFS aastaraamatuid on seni levitatud reeglina paber kandjal. Kuid digiajastul on paberramatud omandanud teistsuguse tähenduse – neid ostatakse kas riikli ehteks või siis harjumuspärase lugemiselamuse saamiseks. Info otsimiseks pöördatakse eelistatult internetis olevate andmekogude poole. EFS aastaraamat kui Eesti füüsikakogukonna kroonika on rohkem andmekogu kui juturaamat. Kuigi ka praegu on portaalis [fyysika.ee](http://fyysika.ee) näha viimase kümne aastaraamatu aluseks olevad pdf-failid, on otsustatud, et käesolev aastaraamat on viimane, mida levitatakse endisel viisil. Edaspidi hakkab ilmuma EFS e-aastaraamat, mille peatoimetajaks on nõus hakkama Kaido Reivelt.

Eesti Füüsika Seltsi XXIII aastaraamat kirjeldab mitmeid sündmusi Eesti 2012. a füüsikaelus ning tutvustab meie füüsikute uusimaid teadustulemusi. Aastaraamatu lõpetab 2012. aasta füüsikakroonika, millega täitub järjepideva kroonikakirjutamise neljas aastakümme 1973-2012. Meenutame, et füüsikakroonikate koostamise algatas Harry Õiglane (1927-1999), tol ajal ENSV TA F(A)I asedirektor.

Piret Kuusk,  
toimetaja

# SISUKORD

## **Jaak Kikas ja Jaan Kalda**

Rahvusvaheline füüsikaolümpiaad Eestis ..... 6

## **Ilmar Ots**

Ülikoolimälestused ..... 8

## **Piret Kuusk**

Harald Kerese teaduslikest seisukohtadest ..... 27

## EESTI FÜÜSIKA TEADUSUUDISED

### **Aile Tamm**

Eesti Füüsika Seltsi liikmetele ..... 42

### **Margus Marandi**

Üliõhukeste polüüpürrookilede moodustumine  
kuldelektroodil ..... 43

### **Madis Lõhmus**

„Difraktsioonivaba“ valgusimpulsi moodustumine  
ringjal difraktsioonivõrel ..... 46

### **Aile Tamm**

Ferromagnetiline raudoksiid tinaoksiidi nanoosakestel  
võimalike spintrooniliste rakenduste tarvis ..... 49

### **Boris Polyakov, Sergei Vlassov, Leonid Dorogin, Mikk Antsov,**

### **Andrejs Petruhins, Ilmar Kink, Alexey Romanov, Rünno Lõhmus**

Pooljuhtmaterjalidest nanotraatide mehaanilised  
ja triboloogilised omadused ..... 52

### **Jakob Jõgi, Martin Järvekülg**

Miks mõned praod just nii kulgevad? ..... 57

### **Raul Välbe**

Katsetades ioonsete vedelikega, arvesta, et klaasanum võib  
tulemustesse lisada ka „mäekristalle“ ..... 60

### **Urmas Nagel, Toomas Rõõm**

Kiraalsus ja spinnlained ..... 63

### **Elmo Tempel**

Universumi tumeaine jäljed kosmoseteleskoop  
Fermi andmetes ..... 66

### **Tiina Liimets**

Ilutulestik talvetaevas – noovajäänuk GK Persei ..... 69

## XLII EESTI FÜÜSIKAPÄEVAD JA XXXIV FÜÜSIKAÕPETAJATE PÄEVAD

|  |     |
|--|-----|
| Kava .....   | 73  |
| <b>Mario Kadastik</b>  |     |
| Higgsi bosoni otsingud .....   | 77  |
| <b>Els Heinsalu</b>  |     |
| Konkureerivad Browni ja Lévy uitlejad .....  | 81  |
| <b>Aleksandr Pištšev, Nikolai Kristoffel</b>                                       |     |
| Uusi tulemusi mittelineaarsete koherentsete optiliste<br>efektide valdkonnas ..... | 96  |
| <b>EESTI FÜÜSIKA SELTS 2012</b>  |     |
| EFS aukirjad ja preemiad .....   | 100 |
| EFS tänutähed .....  | 101 |
| Eesti Füüsika Seltsi juhatuse 2012. aasta tegevusaruanne .....                     | 102 |
| Aasta pilt 2012 .....  | 107 |
| EFS laiendatud juhatuse 2012. aastal .....   | 108 |
| Täppisteaduste suvekool 2012 .....   | 110 |
| Täppisteaduste sügiskool 2012 .....  | 111 |
| <b>FÜÜSIKAKROONIKA 2012</b>  |     |
| Töökorraldus .....   | 114 |
| Väitekirjade kaitsmine .....   | 115 |
| Õppetöö .....  | 121 |
| Teadusüritused Eestis .....  | 128 |
| Teadustöö .....  | 132 |
| Raamatud ja kogumikud .....  | 140 |
| <i>In memoriam</i> .....   | 140 |
| Füüsikahariduslik tegevus .....  | 142 |
| <b>RAAMATUS KASUTATUD LÜHENDID</b> .....   | 155 |

# RAHVUSVAHELINE FÜÜSIKAOLÜMPIAAD EESTIS

JAAK KIKAS<sup>1</sup> JA JAAN KALDA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TÜ Füüsika Instituut, <sup>2</sup>TTÜ Küberneetika Instituut

Möödunud aasta suvel, 15. – 24. juulini 2012, toimus Eestis 43. koolinoorte rahvusvaheline füüsikaolümpiaad (*International Physics Olympiad, IPhO*). IPhO on mastaapne füüsikavõistlus, kus võistlejatel (iga osalev riik saab välja panna kuni 5 võistlejat) tuleb näidata oma teadmisi nii teoreetiliste kui eksperimentaalsete ülesannete lahendamisel. Võistlusel IPhO 2012 osales 378 võistlejat 80 riigist, väidetavalt pole nii suure osavõtivate riikide arvuga üritust Eestis varem kunagi toimunud. Haridus- ja Teadusministeeriumi egiidi all toimunud võistluse korralduslik pool lasus Eesti Infotehnoloogia Sihtasutuse õlul Tartu Ülikooli, Tallinna Tehnikaülikooli ja Eesti Füüsika Seltsi aktiivsel osalusel. Kuigi rahvusvahelisel füüsikaolümpiaadil on pikaajalised traditsioonid (esimene võistlus toimus aastal 1967 Varssavis) ja suhteliselt detailselt reglementeeritud korraldus, on üritus avatud uuendustele. Neid võiks IPhO 2012 juures välja tuua õige mitu.

Esiteks toimus üritus esmakordselt kahes linnas: kui õpilased võistlesid Tartus, pidas delegatsioonide juhtidest koosnev rahvusvaheline žürii oma istungeid Tallinnas, seal töötasid ka võistlustööde hindajad. Seda võimaldas kaasaegsete IK-tehnoloogiate laialdane kasutamine, kus nii ülesannete tekste kui võistlejate lahendusi edastati linnade vahel elektrooniliselt. Võistlejatele-juhendajatele oli korraldatud ka linnadevaheline telekonverents.

Teiseks kuulutati võistluste ajal üheks päevaks (20. juulil) Tartu maailma füüsikapealinnaks, propageerimaks füüsikat ja rahvusvahelist koostööd. Sellel puhul oli linnas korraldatud mitmeid füüsikateemalisi vabaõhuüritusi ja päeva kulminatsiooniks oli Nobeli preemia laureaadi Sir Harold Kroto loeng. Loodetavasti muudavad järgmiste olümpiaadide korraldajad taolise avalikkusele suunatud ettevõtmise traditsiooniks.

Kolmandaks eelnes olümpiaadile rahvusvaheline internetivõistlus Physics Cup IPhO2012, mille võitjaid autasustati samuti olümpiaadi lõputseremoonial. See võistlus, mille eesmärk oli motiveerida füüsikast

huvituvaid õpilasi, sai väga positiivset tagasisidet 268-lt osavõtjalt 43-st riigist. Internetivõistlusest osavõtjate hulgas oli ka olümpiaadi absoluutne võitja ja kaheksa kuldmedalisti.

Neljandaks toimus olümpiaadi ajal Tartus nn karjäärpäev, mille käigus õpilased said tutvuda võimalustega jätkata õpinguid maailma juhtivates ülikoolides – Oxfordi ja Cambridge'i ülikoolid Inglismaal, Massachusettsi Tehnoloogiainstituut Ameerikas, Singapuri Rahvuslik Ülikool.

Võistlusel tuli õpilastel lahendada kolm teoreetilist ja kaks eksperimentaalset ülesannet, mille oli ette valmistanud IPhO 2012 akadeemiline komitee ja mis nõudsid teadmisi peaaegu kõigist füüsikavaldkondadest. Ülesannete tekstid koos lahendustega on leitavad IPhO 2012 veebilehelt [www.ipho2012.ee/problems/](http://www.ipho2012.ee/problems/).

Olümpiaadi absoluutseks võitjaks tuli Ungari õpilane Attila Szabo, kes kogus 45,8 punkti maksimaalselt võimalikust 50-st. Talle järgnesid Hengyun Zhou and Yijun Jiang Hiina Rahvavabariigist (42,5 ja 42,2 punkti, vastavalt). Eriauhind parima teooriatulemuse eest läks samuti Attila Szabole (28,4 punkti 30-st); eriauhinna parima eksperimentitulemuse eest sai Kai-Chi Huang Taiwanist (18,4 punkti 20-st). Aleksandra Vasiljeva Venemaalt sai Massachusettsi Tehnoloogiainstituudi eriauhinna parimale neiule, tulemusega 30,9 punkti oli ta üldjärjestuses 43. kohal. Üldse anti IPhO statuudi kohaselt välja 45 kuldmedalit, 71 hõbemedalit, 93 pronksmedalit ja 63 diplomit. Väga edukas oli ka Eesti võistkond, kelle kõik liikmed jõudsid medalitele: kuldmedali sai Jaan Toots (Tallinna Reaalkool, 11. kl), hõbemedalid Kaur Aare Saar (Tallinna Inglise Kolledž, 11. kl), Andres Erbsen (Tallinna Reaalkool, 11. kl), Tanel Kiis (Viljandi C. R. Jakobsoni nim Gümnaasium, 12. kl) ja Kristjan Kongas (Tallinna Vanalinna Hariduskolleegium, 8. kl!). Pole vist vaja lisada, et võistlusülesandeid ette valmistanud akadeemilise komitee liikmed sedapuhku võistkonna ettevalmistamisega kokku ei puutunud. Kõigi auhinnaasaajate nimed on leitavad IPhO 2012 veebilehelt [www.ipho2012.ee](http://www.ipho2012.ee), samas võivad huvilised tutvuda ka tulemuste statistilise analüüsiga. Võistlejate ja nende juhendajate valdav arvamus oli, et ülesanded olid rasked (seda kinnitavad mitte eriti kõrged punktisummad), kuid põnevad ja intellektuaalset väljakutset pakkuvad.

IPhO 2012 kordaminekusse – selline oli seisukoht, mida väljendasid osavõtjad nii avalikes esinemistes kui paljudes isiklikes vestlustes – andsid oma hindamatu panuse arvukad vabatahtlikud, seda nii õpilaste giididena, hindajate tiimi liikmetena, võistlusplatsi meeskonna koosseisus kui veel paljudes teistes tegevustes. Olgu nad kõik siinkohal veelkord tänatud!

# ÜLIKOOlimÄLESTUSED<sup>1</sup>

---

**ILMAR OTS †**

Tartu Ülikooli Füüsika Instituut

## ÜLIKOOli!

1957. aasta juuni lõpp või juuli algus. Istun rongis ja sõidan Tartusse – viima dokumente sisseastumiseks Tartu (Riiklikku) Ülikooli. Ei tea veel rongiski, kas hakata õppima matemaatikat või füüsikat.

Kui keskkooli viimases, 11. klassis füüsikaõpetajaks olnud Siirak ükskord küsis, kas keegi ka füüsikat õppima läheb, karjusid peaaegu kõik, et ei lähe. Seepeale ütles Siirak, et kui õige aeg tuleb, võib ta mõnelegi näpuga näidata, kes seda on siiski teinud. Kui ma enne Tartusse jõudmist otsustasin oma paberid siiski füüsikasse anda, olin esimene, kellele Siirak võis näpuga näidata. Hiljem selgus, et ka ainus meie klassist.

Kupees, kus sõitsin, oli teisigi, kes samuti oma pabereid ülikooli viimas olid. Nad ajasid minu arvates väga tarka juttu. Eriti paistis silma üks matemaatikasse astuja. Ta lahkas keerukaid matemaatilisi probleeme ja teadis ka ülikoolist ja õppejõududest väga palju. Hiljem sain teada tema tarkuse põhjuse – ta sõitis juba (vist) viiendat korda oma pabereid ülikooli matemaatikasse viima! Neli esimest korda oli ta sisseastumiseksamitel läbi kukkunud. Ja kukkus läbi ka viimasel katsel – teda ma ülikoolis enam ei kohanud.

Kuna olin Tallinna 20. Keskkooli lõpetanud kuldmedaliga<sup>2</sup>, polnud mul sisseastumiseksameid vaja teha. Seda teadaolevat fakti rõhutas ka dekaan dotsent Anatoli Mitt, kes enne venelaste sissetulekut oli olnud keskkoolis füüsikaõpetaja, kuid õppejõudude põua tõttu ülikoolis kutsuti sinna tööle.

Minuga vesteldes paistis teda huvitavat vaid, millise spordialaga olen tegelenud. Kui ütlesin, et olen veidike maadlusega tuttav, vaatas mulle

---

1 Ette loetud Ilmar Otsa (1937 – 2011) 75. sünniaastapäeva tähistaval kohvikulõunal 27. novembril 2012 TÜ Füüsika Instituudis.

2 Kuldmedalist oleksin peaaegu ilma jäänud, sest tegin kirjandis ühe vea – mitmuse omastavas käändes kirjutasin „kolhoosnike“, aga toona kehtis norm „kolhoosnikute“. Õpetajad panid nelja, ühe veaga. Siis läksid kirjandid Haridusministeeriumisse (ilma minu protestita). Seal pandi viis. Kirjandi teema oli „Ülesküntud uudismaa“.



otsa ja ütles: „Ahhaa, poolraskekaallane siis!“ Tegelikult olin üsna klee-  
nuke keskaallane, aga ei hakanud dekaani hinnangut korrigeerima.  
Lõpuks kinnitas ta veelkord, et mul pole vaja muretseda, kindlasti võe-  
takse mind vastu, olgu ma vaid õppetöö alguses platsis... Õiendasin do-  
kumentidega seotud formaalsused ja sõitsin koju tagasi.

Tollal ei hakanud õppetöö üldiselt 1. septembrist. Esialgu mindi kol-  
hoosidesse koristustöödele. Kui jälle Tartusse jõudsin, siis selgus, et  
meie kursus kolhoosi ei sõida. Meist taheti teha Maa kunstlike kaaslas-  
te – lunoidide – vaatlejad. Sel ajal tehti nii NSVL-s kui USA-s üsna pala-  
vikuliselt ettevalmistusi Maa kunstlike kaaslaste, sealhulgas mehitatud  
kaaslaste, orbiidile laskmiseks. Mõlemad riigid püüdsid iga hinna eest  
teist ennetada.

Meile hakati õpetama, kuidas lunoide vaadelda ja näha, kustkandist  
nad tulevad, kuhu lähevad ning veel muidki tarkusi. Mõnele värsele  
tudengile, sealhulgas minule, lunoidivaatlemine eriti ahvatlevana ei  
tundunud. Midagi me selle kohta ka üksteisele ütlesime, aga lunoi-  
diprogrammi juht V.T. vist kuulis seda. Ta sai üsna vihaseks, küsis minu  
nime ja seejärel, kustkohast ma ülikooli tulin. Ma ütlesin: „Tallinnast“.  
Mispeale V.T. ütles, et kui ta veel üks kord sellist juttu kuuleb, lendan ma  
otsekohe ülikoolist välja. Välja ma ei „lennanud“, aga pärast seda kutsu-  
sid kursusekaaslased mind mõnda aega „Ilmar Ots Tallinnast“.

Mis edasi toimus, selles valitseb mu mälusoppides segadus. Sest  
mina ja veel mõni noormees meie kursusel saadeti siiski kolhoosi abis-  
tama. Aga pärast kolhoosist naasmist ma veidi aega ikka lunoididega  
tegelesin. Maa kunstlikke kaaslasi taheti vaadelda aktinomeetriajaa-  
mas, mis asus seal, kus praegu on teaduspark. Sinna polnudki nii liht-  
ne sõita, sest Tartus olid tollal vaid mõned bussiliinid ja Riia maanteel  
(nüüd Riia tn) sõitis buss esialgu vaid Soinaste peatuseni. Hiljem veel  
üks peatus (praeguste järgi) edasi. Nii et tuli ka jalgsi kõmpida.

Aga need vaatlused ei ole mul eriti mällu jäänud. Tean vaid, et kaju-  
nes välja väike rühm, kes kauemaks jäid. Üks „elukutseline“ vaatleja oli  
üliõpilane V. – ta polnud meie kursusel. Ta oli teistest vanem, sest oli  
sõjaväeteenistuse läbi teinud. Kuulus ka parteisse, aga oli aja jooksul  
n.ö vastaliseks muutunud.

Kord kutsuti ta parteikomiteesse (rakukesse) aru andma. Seal pidi ta  
üle kahe tunni ootama, enne kui vastav seltsimees ta „vaibale“ kutsus  
ja noomima hakkas, et niisugune käitumine ei ole ühele parteilasele  
sugugi kohane. See vihastas V. sedavõrd, et ta küsis ägedalt, kas siis sel-

lepärast pidi ta nii kaua ootama, et niivõrd lapsikult noomida saada. „Mulle on seda parteid samapalju vaja kui jänesele tripperit!“ ütles V. ja pani parteipileti lauale, öeldes, et enam ta parteiga seotud ei ole. Hiljem selgus, et ise ei saa ennast siiski parteist lahutada. Ta heideti parteist välja.

## **ÕPPETÖÖ ALGUS, ÕPPEAINED, ÕPPEJÕUD**

Juba algusest peale sai selgeks, et „tähtsaimateks“ õppeaineteks ülikoolis on sõjaline õpetus ja kursuste komplekt – NLKP ajalugu, dialektiline ja ajalooline materialism.

Muudest kursustest hakati kõigepealt lugema analüütilist matemaatikat ja üldfüüsikat. Esimest luges Lembit Roots, teist dekaan Anatoli Mitt ise.

Mällu on jäänud esimene loeng ülikoolis, mis toimus ühes botaanikaia hoones. Kogu kursus oli kohal ja ootas. Avaneski uks ja sisse astus meist umbes tosina või enamagi aasta võrra vanem härra, keda me enne polnud kohanud. Kargasime püsti. Aga „onu“ naeris, ütles, et ta on „sam rjadovoi“ ja võttis meie kõrval istet. Hiljem selgus, et selleks meheks oli H.L., kelle sünniaasta on 1923.

Peagi avanes jälle auditooriumi uks ja sisenes keegi poisiohtu noormees. Tema jäi seisma, ütles, et ta on Lembit Roots ja talle on ülesandeks tehtud meile analüütilise matemaatika kursust lugeda. Meie loomulikult polnud sellise „poisikese“ sisenedes püsti suvatsenud tõusta.

Lembit Roots oli tõesti noor lektor, tema dikteeris sageli oma loengut nagu etteütlust. Ta oli väga tugev maletaja (jõudis meistriskandidaadini välja). Ka bridžis oli ta vabariigi kaliibriga mängija.

Dekaan Mitt oli väga punktuaalne inimene. Ootas auditooriumi ukse taga, kuni kell „kukkus“ ja astus siis sekundi pealt sisse. Loengutel toimus algul enamasti keskkoolikursuse veelkordne läbitöötamine. A. Mitt oli seda kursust lugenud enne meid ja luges veel paljude aastate jooksul pärast meid. Kurjad keeled räägivad, et ta ei teinud ettekantavasse erilisi täiendusi. Ka naljategemise kohad, mis olid ära märgitud, jäid enam-vähem samaks.

Pärast A. Mitti jätkas klassikalise füüsika loenguid Paul Prüller. Kursuse nime ei mäleta. Nüüd oleksid tema loengud kuulunud keskkonnafüüsikasse. Loengute sisu puudutas õhuelektri valdkonda. Enne oma

loengukursusega alustamist küsis P. Prüller: „Kes teile enne mind luges?“ – „Dotsent Mitt,“ vastasime. „Ah dotsent Mitt! Dotsent Mitt on ka väga hea lektor.“ Pärast sellise hinnangu andmist oma lektorioskustele võis ta loengutega alustada. Tuleb tunnistada, et tema loengutest pole mulle midagi erilist mälusoppi talletunud. Kuid ta andis ka praktiku-me, kus õpetas mingi aparaadiga õhulisandeid mõõtma. Siit on meelde jäänud, kuidas aparaati töörežiimi panna. „Vaadake, siin on roheline pistik. Võtame selle ja lülitame selle siia auku. Punase pistiku paneme sinna, sinise aga sellesse auku“ jne. Töötamise põhimõtet justkui ei seletanud.

Paul Prüller jättis soliidse härrasmehe mulje. Jõudis alati enne teisi oma kaabut kergitada. Õigemini küll ta ei kergitanud kübarat, vaid hoidis seda endise koha peal ja tõmbas oma pea selle alt välja.

Õhuelektrifüüsika uurimisele ülikoolis pani aluse Jaan Reineta. Meie ajal püüdis ta uute üliõpilaste värbamisega sellele suunale lisajõudu koguda. Kui ta oma järjekordset „ohvrist“ oli möödumas, pani ta talle käe ümber ja küsis: „Kuidas Te olete nüüd mõelnud, kas tahate ikka veel puhta teooria juurde jääda või natuke ka eksperimendiga tegeleda?“ Vastusest sõltumata päris ta edasi: „Mis keelt Te keskkoolis õppisite? Ah inglise keelt. Inglise keel on meie suunale kõige tähtsam. Enamus õpperaamatuid on kirjutatud inglise keeles.“ Kui vastati, et keskkoolis oli võõrkeeleks näiteks prantsuse keel, kiitis J. Reineta prantsuse keelt; kui vastati, et saksa keel, oli see tema jaoks kõige tähtsam.

Hilisemateks olulisteks õppeaineteks olid erirelatiivsusteooria ja elektromagnetvälja teooria. Neid luges Paul Kard. Luges ühe kursusena – kõigepealt relatiivsusteooria, ilma milleta ei saa elektromagnetvälja juurde minna, ja siis elektromagnetvälja teooria.

Paul Kard oli teoreetilise füüsika kateedri juhataja. Kas ta siis oli juba kaitsnud oma doktoritööd või kaitses mõned aastad hiljem, seda ma ei tea praegu öelda. Doktoritöö oli optiliste kiledeteooria alalt ja kaitses ta seda kas Moskvas või Leningradis. Ta ise oli opteerunud Venemaalt. Oli põline poissmees. Kui talle soovitati abielluda, oli ta vastu küsinud: „Aga kas see tuleb tädusele kasuks?!“ Ta oli tugev õppejõud, oma ala tõsine ekspert. Pärast iga loengut küsis ta: „Kas küsimusi on?“ Ja ootas neid küsimusi üpris kaua – nii kaua, et piinlik hakkas. Väga tihti neid küsimusi ei tulnudki.

P. Kard oli väga rahulik mees. Kui Gagarin kosmosesse lendas, jäid mõned üliõpilased tema loengule hiljaks. „Miks te hilinesite?“ küsis

õppejõud rangelt. „Teate, inimene lendas kosmosesse, me jääme sellest ülekannet kuulama!“ vastasid hilinejad, ise erutusest ähkides. Kard mõtles hetke ja ütles: „Aga sellest oleksite te saanud ka homsetest ajalehtedest lugeda!“

Tema sõber R.P., igavene arvutaja (kuigi lõpptulemusteni sageli ei jõudnudki), oli vist olnud Saksa sõjaväes. Ühel päeval ta ütles P. Kardile: „Tead, Paul, nüüd pole mul vist enam pääsu. Võetakse kinni ja saadetakse Siberisse.“ P. Kard olevat mõttesse jäänud ja siis kostnud: „Eks sa kirjuta mulle siis sealt Siberist, kui kohale jõuad!“

Õppejõududest tuleb kindlasti mainida Ivar Piiri, kes luges meile matemaatilise füüsika meetodeid, ja Ruth Liast, kes luges kvantelektrodünaamikat.

Ivar Piir oli (ja on ka praegu) väga delikaatne inimene. Meenub üks lugu. Kord oli üks vene osakonna tütarlaps eksamile spikri kaasa võtnud, see oli tal kusagil paksude kaante vahel. Istudes tahtis ta need kaaned lauasahtlisse panna. Kuid oh häda! Lauasahtlil puudus põhi ja abivahend kukkus mürtsatades põrandale. Tüdruk nägi, kuidas I. Piir laua tagant püsti tõusis. Seepeale kattis tüdruk oma silmad kätega ja jäi hirmuga ootama. Kuid – ooteaeg kippus pikaks venima, palju pikemaks, kui õppejõul oleks kulunud tema juurde jõudmiseks. Tüdruk tegi silmad lahti. I. Piir oli läinud hoopis akna juurde, avanud selle ja hingas rahulikult värsket õhku.

Sel ajal veel üldisest kvantväljateooriast ei räägitud. Seda tehti kvantelektrodünaamika kontekstis kahe semestri jooksul, lektoriks Ruth Lias, kes luges väga hästi, pannes põhirõhu matemaatilisele aparatuurile. Võibolla oleks ta võinud ka füüsikalist poolt enam valgustada. Pärast pensionile jäämist hakkas R. Lias tõlkijaks. Tema andekus lööb ka siin välja.

Õppejõududest oli väga tuntud ka joonestamisõpetaja Georgi Dementjev. Tema juures käis töö nii, et meie joonestasime ja tema rääkis kogu selle aja pidevalt anekdoote. Kuid ta oli siiski nõudlik.

Üks esimesi tähtsamaid asju joonestamisel oli normkiri. Üks meist ütles kunagi, et tal on normkiri valmis, ainult ühes osas on tähed ära vahetatud, pole alfabeetilises järjekorras. Ja kas õppejõud võtab sellise defektiga töö vastu, nii et ta võiks selle juba täna ära anda. „Ei või,“ oli vastus. „Tahate koju mammale kirjutada, aga kirjutate „amam!“

Meenub, kuidas me üks päev enne esimest eksamit ülikooli internaadis pabistasime. Me ei tundnud siis veel õppejõudude eksamineerimismaneere. Püüdsime sondeerida pinda meie toast läbikäivate 2. kursuse

matemaatikute kaudu. Neil oli päev enne meid mingi eksam sellesama õppejõu juures, kellele meie oma esimest eksamit tegema pidime.

Kaua aega mitte ühtki 2. kursuse matemaatikut eksamilt intrisse ei naasnud. Võib-olla läksid nad edukat eksami sooritamist tähistama.

Lõpuks tuli eksamilt tagasi üliõpilane A.L., keda otsekohe pinnima hakkasime. „Kuidas läks?“ küsisime. „Mokas kõik see kapatäiis!“ vastas A.L., kellel oli harjumus lõpusilpide vokaale venitada. „Milles siis asi oli? Kas ta küsis palju lisaküsimusi?“ – „Jah, väga palju lisaküsimusi esitaas.“ – „Kas sa ei osanud siis neile vastata?“ – „Lisaküsimustele ma ainult vastasiingi!“ Meile sai nüüd asi selgeks. Aga A.L.-i hakati sellest ajast Kapatäieks kutsuma. Temaga puutusime veel kokku lõpueksamitel. Neid tuli võtta väga tõsiselt. Eriti raske tundus meile olevat üldfüüsika eksam. See nõudis kogu kvantfüüsika eelse füüsika tundmist kõikides tema harudes. Tegime oma toa poistest pundi ja hakkasime koos eksamiks valmistuma. A.L.-il oli ülikool lõpetamata, ta oli vahepeal aastaid töötanud õpetajana. Nüüd ühines ta meie pundiga, aga energiat või siis ka tahtmist jätkus tal ometi vaid üheks päevaks. Siis lõi ta meist lahku: „Ma olen täna rohkem füüsikat õppinud kui kogu ülikooli ajal kokku!“ Aga eksami tegi ära, oli ta ju nutikas noormees. Hiljem töötas ta kaua aega füüsikaõpetajana, sai tuntuks ja arvestatavaks pedagoogiks.

## **NLKP AJALUGU, DIALEKTILINE JA AJALOOLINE MATERIALISM**

Nendest „tähtsatest“ suundadest (ainetest) õppetöös pole esimestest aastatest suurt midagi mällu talletunud. Vaid üks jutt liikus ringi. See ei olnud seotud meie kursusega, kuid väärrib siiski kirjapanekut.

Ühel NLKP ajaloo seminaril ütles üks naisõppejõud: „Lähema viis-aastaku jooksul kasvab kombainide arv NSVL-s 5000 korda.“ Seepeale küsis tuntud matemaatikatudeng Ants Tauts: „Aga siis tuleb viie aasta pärast iga NSVL elaniku kohta viis kombaini!“ – „Jah, imestage, seltsimehed!“ kostis õppejõud vastuseks.

Asi läks huvitavaks, kui „lavale“ astus juba enne meid legendaarseks saanud M. M., kes töötas ülikoolis 1950. aastast. Kahel perioodil oli ta filosoofiakateedri juhataja.

Meile räägiti, et ta olevat osa võtnud tuntud õppejõudude nagu P.A. ja teistegi „marksistlikust kasvatamisest“ ja neid siis vist ka eksaminee-

rinud. Pärast eksamit olevat ta P.A.-le öelnud: “Vilosoofias oled sa kjull pjaris lol!” Näinud, et P.A. seepeale kurvaks muutus, olevat ta tuntud professorit lohutanud: “Aga ära sjeda ni sjudamesse võta – L. on veel palju lollim!”

M.M. meile eespool nimetatud ainetes vist loengutega ei esinenud, küll aga andis (arvatavasti kolmandal-neljandal kursusel) seminare. Need seminarid ei sarnanenud eelolnutega.

Juba vist esimesel seminaril, kui usin õppija, juba aastates (s 1925) soliidne härra I.T. pöördus toolil istudes ümber ja hakkas enda tagant portfelist kirjararbeid otsima, et M.M. sõnu paberile talletada, käratas viimane: „Kul’e siina sjaal, kas sjul on silmad selja taaga? Ma siiski ei taaha su selga njaha!” Märkasin kursusevenna näoilmet – see väljendas äärmist solvumistunnet. I.T. paistis silma äärmiselt tõsise suhtumisega õppetöösse, nii üliõpilasena kui ka hiljem ülikooli õppejõuna, kellena ta palju aastaid töötas.

Seltsimees M.M. muide arvas, et tal on juba ilma eelnevalt tudengeid küsitlemata selge, kes on tark ja kes rumal. Ja siis hakkas ta neid „rumalaid“ kiusama. Tema erinevad arvamused-arusaamised tarkadest ja mittetarkadest muutusid üha anekdootlikumaks.

Meenub, et räägiti kahest vennast, kellest vanem vist õppimisele erilist tähelepanu ei pööranud, eelistades enam „ühiskondlikku“ elu. Noorem vend võttis ülikoolis õppimist väga tõsiselt. M.M.-i poolt oli aga just noorem vend „rumalate“ poolele paigutatud (nagu eespool tema sellisest kombest juttu oli), teine vend aga „tarkade“ hulka sattunud. Kui noorem vend tuli eksamile, laskis M.M. tal mõne lause öelda ja pani pikemata kahe matriklisse. Ise ütles: „Sa lase oma vennal endale asi selgeks teha, tjema tiab.“ Asja kurbloodisus oli selles, et eksami hõlpsalt läbinud vend ei olnud eksamiks üldse valmistunud, vaid eksami eelõhtul oli oma vennal lasknud veidi mõningaid põhiprobleeme valgustada.

Ka meie kursusel hakkasid asjad kuidagi veidralt arenema.

V.R. võttis eksamit väga tõsiselt ja valmistas end igati selleks ette. Tema eksamipileti üks punkt oli „Usu gnoseoloogilised juured“. Neid „juuri“ on tegelikult üsna vähe, vaid paar-kolm tükki. Need oli V.R. kindlaks teinud ja need ta ka lühidalt esitas, tema arvates oli vastus ammen-dav. M.M. vaatas talle imestades otsa ja küsis, kas see on kõik. Saanud jaatava vastuse, ütles M.M.: „Usust on ju nii palju rääkida. Sellest oleks võinud mitu tundi juttu teha. Ma arvasin, et Teie olete ainukene sellel

kursusel, kellele ma võin viie panna. Ja nüüd vaevalt kolm.“ – „Kust Te pärit olete?“ – „Narvast,“ ütles V. R. „Või Narva mees ja vaevalt kolm.“ – „Mis tjanavast?“ – „Ah sellest tjanavast ja vaevalt kolm,“ tänitas M.M. ja panigi kolme matriklisse. Olgu öeldud, et ka M.M. oli Narvast pärit.

Järgmine vastaja olin mina. Kõrgendatud stipile jäämiseks oli mul viit vaja. Ütlesin mõttes juba kõrgemale stipile hüvasti. Kõik läks aga seekord hästi. M.M. ei seganud end minu jutule vahele. Kuid tuli natuke harjumatu lisaküsimus. Ta palus nimetada ühe klausli dialektilisest materialismist, mis näitab, et dialektiline materialism ei saa ilma ajaloolise materialismita eksisteerida. Jäin mõttesse, kuid pärast kaht suunavat küsimust taipasin, et selleks on praktika kui tõe kriteerium. Dialektilise materialismi tõdesid saab kontrollida praktikas, mis kuulub ajaloolise materialismi alla. Sellest vastusest piisas viie saamiseks.

Samal ajal oli M.M. kohati väga printsipiaalne. Sportliku mehena tõstis ta sangpommi ja käis hommikuti tee ääres hekkide taga suusatamas. Temaga seltsis seal üks üliõpilane. Viimane kelkis, et M.M.-ilt pole tal kuigi raske kõrgeimat hinnet saada – nad olevat head sõbrad. Eksamil aga ütles M.M.: „Suusatamine sinul vjaga hea, aga vilosoofia – kaaks!“

M.M. oli õppejõud, kes ka üsna suure osa tudengite stipisaamise lootused nurjas – kas pani kolme või kukutas nad eksamil üldse läbi.

Räägitakse, et vanast peast muutus ta veidi leebemaks. Ta olevat ka ise öelnud: „Vanaks olen jäänud, ei taha enam kaks panna. Vanasti, kui nägin, et üliõpilane kolmele tiab, ma ikka tjeda edasi kjusin, et kaks panna. Nüüd, kui njaen, et üliõpilane kolmele tiab, jumal temaga, panen kolme välja!“

Seoses M.M.-iga veel üks meenutus. Kord küsinud M. ühe tütarlapse käest, kes on raamatu „Anti-Dühring“ autor. „Üks sakslane on, aga nimi ei tule praegu meelde,“ vastanud tüdruk. „Aga Anti on ju soome nimi,“ öelnud seepeale M.M.

„Tähtsama“ õppeaine õppejõududest on meelde jäänud Volkov NLKP ajaloo kateedrist. Tema eesti keel oli M.M.-i omast palju kehvem. Aga ta oli sümpaatne inimene. Temalt oli raske, kui mitte võimatu, saada eksamil madalamat hinnet kui „väga hea“.

Meie kursuselt õnnestus vaid ühel tudengil selle saavutusega hiilata, kuigi läbi ukseprao või lukuaugu võis näha, et vastamise ajal hoidis ta NLKP ajaloo õpikut põlvedel ja selle lehti sirvides püüdis visalt Volkovi küsimustele vastuseid leida. Ei mäleta, kas ta sai eksamihindeks nelja või koguni kolme. Viimasel juhul pidi E.P. küll päris „geenius“ olema.

## SÕJALINE ÕPETUS

Sõjaline ettevalmistus (vojennaja podgotovka) võttis nädalast ära ühe päeva. See oli täielikult „sõjalise“ päralt. Kateeder asus ühes endises tudengite korporatsiooni hoones, Viljandi tn 1 (praegu Tõnissoni ja Kastani tänava nurgal).

Õppetöö toimus kolmes kohas: majas, maja hoovis (rividriil) ja väljasõitudega maastikule (strateegilised ja taktikalised õppused). Õppejõududeks olid polkovniku ja enamuses alampolkovniku aukraadiga mehed.

Kateedri juhataja oli polkovnik (või alampolkovnik?) Tihhomirov. Nimi viitab küll vaiksele rahule, kuid mees kisendas koledasti nii üliõpilaste kui ka õppejõudude peale, mistõttu oli saanud hüüdnimeks Gromkokrikov. Erilist tarkust temast küll ei kiirgunud, ta oli ebapopulaarne nii üliõpilaste kui ka talle alluvate ohvitseride-õppejõudude hulgas.

Õppetöö toimus loomulikult vene keeles, mis andis vene kursustele selge eelise. Võõras keeles õppimine oli üks põhjustest, miks eksamihinnete hulka tuli palju kolmesid ja põrumisi, mis võtsid stipi ära.

Nüüd oli hea tudengeid „pigistada“ – kui tahad kolmega stippi saada, lähed ja käid uudismaal ära!

Kuriosseks näiteks keelelistest arusaamatustest oli tudeng P.E. eksamitegemine. Ega ta eriliste teadmistega ei hiilanud ka. Ja isegi kui ta vastuseid teadis, ei suutnud ta neid eksaminaatoritele vene keeles edastada. Ma olin seekord koos temaga eksamiruumis. Teiseks punktiksksamipiletil oli tal „Suitsukate“ (dõmovaja zavesa). Juhtus nii, et tudengi „pudistamine“ tüütas eksamineerijad ära ja üks neist küsis: „Est u Vas vooõše predstavlenie, što eto za dõmovaja zavesa?“ Millele P.E. vastas: „Net!“ Küsija: „No vot, tšelovek tšestno priznaet, što ne znaet. Možete idti.“

Nüüd läks P.E. välja ja rääkis, et tal läks hästi. Algul olevat ta küll veidi soganud, aga kui ohvitser oli küsinud, kas tal on ettekujutust sellest, mis jääb suitsukatte taha, oli ta kindlalt vastanud, et ei ole! Kui ta just viit ei saa, siis tugeva nelja kindlasti.

Kui mina välja tulin, selgus P.E.-le kurb tõsiasi. Nimelt tähendas õppejõu küsimus tõlgituna, kas eksamiandjal on üldse ettekujutust, mis asi see suitsukate on. Kui tuli vastus „Ei!“, olid küsijad rahul. Panid kolme ära ja asi oligi korras!

Õppejõud muidugi erilist nutikust üles ei näidanud. Nad võtsid kõike



„po ustavu“. Ajasid seal näpuga järke ja meie pidime selle pähe õppima. Füüsilikast, mida läheb näiteks üksjagu vaja kasvõi kahuritule juhtimisel või korrigeerimisel, ei teadnud nad vist suurt midagi.

Anekdoot räägib, et üks tudeng seletanud kord õppejõule, kuidas kahurist ümber nurga tulistada. Sest kahurikuuli trajektoor on kõver ja kui kahur külili panna, siis tulistabki nurga taha!! Ohvitser mõelnud natuke ja siis öelnud: „Da, teoretitšeski eto vozmožno, no v praktike ne primenjaetsja.“

Küll aga olid ohvitserid üsna ülbed. Kord sõjaväeosas praktikal olles oli üks üliõpilastega kaasas olnud ohvitser (täpselt ei mäleta, võis ka kohaliku väeosa ohvitser olla) öelnud: „Zdes ne universitet, zdes dumat nado!“

Meenub veel üks naljakas lugu. Kord ütles ohvitser-õppejõud, et nüüd peate valima oma rühmast komsomolirakukese juhi. Karjusime üksmeelselt, et selleks sobib Rein K. Teadsime, et ta ei kuulugi komsomoli ridadesse. „Horošo, ja sebe napišu,“ ütles ohvitser, kirjutab nime märkmikku ja pani selle taskusse. „No ja ved voošše ne komsomolets!“ protesteeris Rein. „Eto nitševo ne znatšit!“ ütles ohvitser ja alustas tundi.

Meile lõppesid sõjalised õppused üpris kummaliselt. Pärast nelja-aastast õppetööd jäi meil enne ohvitserikraadi saamist käia veel mingis sõjaväeosas praktikal. Ühel heal päeval öeldi aga, et praktika jääb ära, sest sõjalise õpetuse kateeder likvideeritakse. Meile antavat aga ohvitseri aukraad ilma praktikata.

Ühel järgnevatest päevadest hakkasime siis ohvitseride juhendamisel vajalikke dokumente täitma. Küsimused, millele seal vastust nõuti, olid tollal tavalised.

Päritolu: iz rabotših, iz krestjan, või, mis plusspunkte ei toonud (!), iz intelligentsii.

Vanemate nimed.

Kus oli Teie isa Saksa okupatsiooni ajal? Kui Eestis, ega ta siis olnud seotud okupantide abistamisega?

Miks ta ei sõdinud nõukogude poolel? (Vastus: isa oli mobilisatsiooniks juba liiga vana) jms.

Kõik suutsid paremini-halvemini oma dokumendid korda seada. Ainult kursusevend V.P.-il polnud vajalikku fotot (või oli see pass) kaasas ja ta pidi selle järgmisel päeval kateedrisse viima. Viiski, kuid seal selgus, et selle järele vajadust enam ei olnud. Talle teatati, et ohvitseri meist siiski ei saa. Asi lõppes sellega, et meile kõigile kirjutati sõjaväepiletitesse, sel-

le punkti all, kus küsiti sõjalise hariduse kohta, „neobutšennõi“. Ja seda hoolimata nelja aasta pikkusest õppest!

Aga see tegi meie elu edaspidi kergeks. Mina näiteks puutusin militaarasjadega kokku umbes 25 aasta pärast. Kutsuti sõjakomissariaati ja võeti arvelt maha: olin saanud 50-aastaseks ja „ilma igasuguse õppeta“ seltsimeeste teeneid enam ei vajatud.

Neid, kes olid ülikoolis õppimise käigus ohvitserideks saanud, tülitati pidevalt järel- ja kordusõppustega. Ka ei lastud neid vist nii noorelt erru.

Peagi taastati TRÜ-s jälle sõjaline ettevalmistus ja kateedrile anti endine koolimaja Riia tänaval. Kõik läks edasi nagu enne.

Ainult meil ja mõnel järgneval kursusel käinutel oli õnn jääda „neobutšennõideks“.

## **RITSLAID (OHUTUSTEHNIKA)**

Omamoodi legendaarne oli ülikooli ohutustehnika spetsialist Valdek Ritslaid, keda kutsuti vahel Hiromandiks, vahel Hottabõtšiks.

Jutt, et temalt on raske arvestust saada, liikus ammu enne, kui ta oma tunde hakkas andma. Kord tuli mulle kusagil ülikooli läheduses vastu üks härra, kelle välimus pani mind juurdlema. Jõudsin järeldusele, et kui kedagi üldse Hiromandiks kutsutakse, peab see just seesama härra olema. Tulevik näitas, et nii see oligi.

Meelde on jäänud, kuidas V. Ritslaid meid mingisse tehasesse viis. Vist tutvuma, kuidas ühes eesrindlikus tehases ohutustehnikast lugu peetakse.

Läksime jalgsi ülikooli juurest läbi linna Riia maanteele. Seadsime end Ritslaiu järel vene rivisse. Temale see ei meeldinud ja nii pidi üks meist, sageli A. L., tema kõrvale minema juttu ajama.

Tehase külastamisest mäletan vaid seda, et A.L. jäi edasi Ritslaiu kõrvale ja tegi tööpinkide juures üsna maotuid märkusi. Nagu: „See tööpink tuleb kohe seisma panna, siin pole ohutustehnika peale mõeldud – pole kaitsekilpi ja ka töötaja kaitseprillid ei vasta ohutustehnika nõuetele.“

Teise tööpingi juures pea sama jutt.

Kolmanda juures umbes nii: „Noh, siin on enam-vähem kõik korras, ainult...“ jne. Härra Ritslaid tundis ennast loomulikult üpris kehvasti, ometi ei tahtnud ta töömeeste ees A.L.-ile märkusi teha. Katsus ainult „jultunud“ üliõpilast tööpinkidest kaugemale meelitada. Imelik ka, et

töömehed, pinkide taga töötajad A.L.-le kallale ei tulnud! Võib olla, et A.L. kriitikal oli ka tõetera sees.

Huvitavad olid V. Ritslaiu pakutud töökaitsealased plakatid. Ühe sisu oli umbes selline: „Seltsimehed kolhoosnikud, hangude ja rehade ebaõige varretamine võib nende kasutamisel tekitada tõsiseid mikrotraumasid. Määrige joodiga!“

Aga et teatud ajast nõuti ohutustehnikaalaseid teadmisi rohkem ja et Ritslaid oli eksamikomisjoni liige, võisid tema küsimused olla eksamineeritavatele väga ebageeldivad.

Diplomitööde kaitsmisel oli meie kursusel kaks tudengit, kelle tööd olid seotud ohutustehnikaga. Üks neist oli T.P., kelle tööks oli elektrilaengute eemaldamine kangastelt, ja teine L.V., kes tegi värvipüstoli. L.V. õppis vene kursusel, kuid kui toimus üliõpilaste jagunemine teoreetikuks ja eksperimentaatoriteks, jäi ta meie juurde.

Esimesena neist kaitses diplomitööd T.P. Nagu ta hiljem ütles, vaadatud Ritslaid teda nagu kull linnukest enne ärasöömist. Ometi ei küsinud Ritslaid tema käest vist midagi. Küll aga järgmisena kaitsva L.V. käest.

„Kuidas Teie värvipüstoliga, värvipüstoliga on? Kas temaga võib töötada, töötada plahvatusohtlikes keskkondades?“ (Ritslaid armastas sõnu korrata). „Võib küll,“ vastas L.V. „Aga eelkõneleja seltsimees T.P. töös on kirjutatud, et staatiliste elektrilaengute eemaldajaga on ohtlik, ohtlik töötada plahvatusohtlikes keskkondades, keskkondades.“ – „Ühe riista puhul on tegemist koroonalahendusega, teise puhul sädelahendusega,“ vastas L.V. „Aga seltsimees T.P-l on öeldud, et nii säde- kui koroonalahendustega riistadel on ohtlik plahvatusohtlikes keskkondades töötada.“ Ja nii ikka edasi.

Küsiija viitas alati T.P.-le.

Viimaks ei suutnud L.V. enam midagi välja mõelda ja hüüdis: „Aga vabandage, mina ei ole T.P.!“ Kõik hakkasid naerma, kaasa arvatud professor Kard, kes muidu jäi alati tõsiseks. Pärast seda Ritslaid enam suud lahti ei teinud.

## UUDISMAA

1958. aasta suvel tuli sõit uudismaale (muide, suurem võimalus stippi saada oli jällegi uudismaal käimisega seotud).

Mõned aastad tagasi oli NSVL-s alustatud uudismaade hõlvamist.

Esimestel aastatel saadi sealt suurt saaki, mille koristamisel vajati ka väga suurt abi. Ikkagi läks palju viljast kaduma.

Sõit toimus loomavagunites. Nii oligi vist parem, sest palavate ilma-dega poleks reisivagunites õhku jätkunud.

Et meie rongil polnud mingit kindlat ajagraafikut, tuli vahejaamades kaua, vahel isegi väga kaua oodata – kuni sõidugraafikuga rongid olid oma teed läinud. Oli veel kaks asjaolu, mis meie ooteaega pikendasid. Esiteks ei pidanud rongid sõidugraafikutest kinni ja teiseks sõitsid paljud rongid (nagu meie omagi) hoopis ilma graafikuta, paljud naftarongid näiteks. Arusaadavalt eelistati neid, meie rongiga arvestati viimase-na. Ärasõiduaega keegi ei teadnud, kuid vaksalist ära minna ei tohtinud. Ja ei julgenud ka eriti, oleks kergesti võinud rongist maha jääda. Sageli teatati umbkaudne väljumisaeg, aga sõideti välja üksjagu varem.

Et oodates mitte niisama molutada, laulsime paljudes peatuskohtades isamaalisi (vabariigiaegseid) laule. Laulmine tuli meil nii hästi välja, et paljud jäid meie „kontserte“ kuulama. Kohalikes lehtedes olevatki koguni kirjutatud, et Eesti üliõpilased andsid meeldejäeva kontserdi. Nendest artiklitest rääkisid tudengid, kes olid eespool kirjeldatud „libiseva graafiku“ tõttu meie rongist maha jäänud ja juhuronge kasutades selle jälle kinni püüdsid.

Seoses laulmisega meenub veel üks seik. Oleme jõudnud Molotovi (enne ja nüüd Perm) linna. Mööda tänavaid marssides võtsime laulu üles. Teadagi ei tohtinud ega julgetud Eestis sääraseid laule avalikult laulda.

Äkki, keset laulu, keerasid kõrvaltänavalt välja kolm trellitatud aken-dega vanglaautot, mis lauljaid üksjagu ehmatas. Kas tõesti olid meie laulude tekstid jõutud juba ära tõlkida?! Rivisamm enam ei klappinud. Veelgi enam, meie rivi hakkas tagantpoolt laiali pudenema. Tegu oli loomulikult juhusega. Vanglaautod sõitsid meist mürinal mööda, neil tuli mingi muu ülesanne täita.

Molotovis elasime üle ka väikese pettumise, seal tuletati meile meelde ajavahet. Tahtsime minna toidupoodidesse proviantti ostma. Meie kellad näitasid õhtust aega, natuke peale kaheksat. Poodide juurde jõudes selgus aga, et need olid juba suletud. Meil ei olnud pähegi tulnud, et Molotovis näitasid kellad meie omadest kaks tundi hilisemat aega. Tegelikult polnud see meie jaoks mingi katastroof. Toiduaineid ja muud kraami pakuti müüa ka vaksalis. Seda tegid kohalikud ärikad.

Ei mäletagi neid hetki, kui kohale jõudsime ja kuidas meid vastu võe-

ti. Igatahes oli seal lähedal Viktorovka küla. Aga kõige suurem hoone oli seal nii madal, et võis isegi küünarnuki katusele panna. Tüüpiline ühe tänavaga küla, majad kahel pool tänavat.

Suurem osa meie uudismaalastest pandi põhitööle – viljakoristamisel traktori järelhaakijateks. Ma ei tea haakijate kõiki funktsioone, kuid see oli, nagu nüüd öeldakse, tõeline väljakutse. Nad said ikka tõsiselt vatti – pikad ööst lisa võtavad tööpäevad, tohutud tolmupilved, kuumus ja palju muid pahesid.

Üks väga väike punt, sealhulgas ka mina, pandi samaanist (sõnnikust ja põhust tambitud kuivatatud „kivid“) hooneid ehitama. Põhispetsialistideks olid kohalikud, täpsemalt küll sakslased, keda oli sõja alates Volga äärest ida poole küüditatud. Juht oli Adolf Fribuse nime kandev mees. Ta rääkis, et teda taheti tema nime pärast kunagi isegi maha lüüa. Sakslane ja nimeks Adolf – see ei saanud keegi teine olla kui Hitler ise! Ei aidanud ka liignimi Fribus, mis oli kindlasti vaid maskeering.

Ehitusel töötasid peale minu veel P. E. ja kaks tudengit, kelle nimed praegu meelde ei tule. Muidugi töötasid sakslased spetsialistidena ja said palju tugevamat palka kui meie, abitöölised. Aga vahete-vahel saadeti ehitajad mingit muud pakilist tööd tegema, näiteks vaguneid tühjaks laadima. Mäletan, et ükskord tuli vagunitest maha laadida väga jämedaid puutüvesid, mis nõudis kangide kasutamist ja palju jõudu. Sakslased laadimistöodel erilist indu üles ei näidanud. Kui ükskord õnnestus heita pilk töökäskudele, nägin, et ka seal olid spetsialistideks pandud sakslased ja meid abitööliseks jäetud. Loomulikult protesteerisime. Brigadir (kellele ka Adolf allus) ütles siis, et ta paneb meile kirja vaid tõrvapapi laotamise vundamendile. Huvitaval kombel osutus selle lihtsa töö tegemine väga kalliks, mistõttu sakslased hakkasid omakorda nurisema ja meid kadestama.

Kuid meie töös oli veel teisigi kõrvalhüppeid. Üks neist, mis oleks võinud meie jaoks traagiliselt lõppeda, oli dusti ehk DDT pulbri lennukisse laadimine, mida siis lennukid põldudele laotasid. See oli üsna meie uudismaal oleku alguses, võib-olla üldse üks esimesi töid ja mitte kõrvalhüpe ehituselt. Tööks olime varustatud spetsiaalse riietusega, jalatsitega ja gaasimaskidega. Siiski oli see töö vastik, pealegi nii intensiivne, et magamisega üldse ei jäänud. Et päeval oli tuule tõttu pulbrit lennukilt põllule külvata ebamugav, võeti just öötundidest lisa. Lõpuks me enam lennuki juurde ei läinudki. Põgenesime kutsujate eest kuhugi steppi. Sellest tuli suur jama. Järgmisel hommikul kutsus uudismaalaste

juht, ülikooli komsomolikomitee esimees J.L. meid enda juurde kohvile ja ütles väriseva häälega, et me oleme korda saatnud väga häbiväärse teo ja komsomolikomitee otsusel saadetakse meid kohe koju tagasi. Kõik jäid vait ega öelnud kaua aega sõnagi. Tagasisaatmine tähendas kindlat ülikoolist eksmatrikuleerimist. Paistis, et tuleb midagi ette võtta. Ütlesin siis, et tulime siia kindla eesmärgiga viljakoristamisel ja muudel ettevõtmistel abiks olla. Aga et igal asjal on oma piir. Me olime tihedast töögraafikust niivõrd kurnatud ja väsinud, et polnud lihtsalt võimelised nõutud ajal tööd alustama. Ja et loomulikult oleksime pidanud oma olukorrast teada andma, selle asemel, et ära kaduda. Meie viga! Jms... Asi hakkas arenema ja enneaegne kojusõit jäi ära. Meie tegelikul äraminekul jäid kohalikud (st parteitöötajad) meie tööga väga rahule ja meile kingiti televiisor, mis oli tollal üsna uus asi.

Ühest põhitööst erinevast ettevõtmisest räägin veel: siloaugu täitmise silomaterjaliga, kus meie ülesandeks oli autode tühjashangumine siloauku. Vedavaid autosid oli väga palju ja sestap pidid autojuhid kaua ootama, kuna autode tühjendamine võttis palju aega.

Tuli idee töö mehhaniseerimiseks: tõmmata auto tühjaks traktoriga, trossi abil. Peale trossi, mis traktori juurde kuulus, läks vaja veel kahte umbes meetripikkust prussi. Need pandi autokasti esimestesse nurkadesse. Nende üle tõmmati tross – umbes prusside keskkohalt. Nüüd haarasid kaks meest, üks ühest ja teine teisest prussist ja tõmbasid neid ülemisest otsast auto esiotsa poole. Traktori liikuma hakates libises kogu koorem kergesti autokastist siloauku.

Töö hakkas nüüd kiiresti kulgema ja autojuhid kihutasid kui meeletud edasi-tagasi. Nüüd nad nähtavasti teenisid üsna palju. Kui meie tööd oleks hinnatud hanguga tühjendamise tariifi järgi, oleksime ka meie üsna kopsaka summa teeninud. Hiljem nägin, et seda ei tehtud. Teenisime vaid mõned korrad rohkem, ei enam.

Oli üks füüsika 2. kursuse tudeng N.R., kes püüdis oma tehtud töö mahtu kordades suurendada – kui just brigadiri sel ajal lähedal ei olnud. Aga ta oli ka teistmoodi kaval: kasutas ära kohalike käsuandjate kesiseid teadmisi. Kord oli tema ülesandeks kaevata üks silindrikujuline auk. Kui tööandja tuli tehtut üle vaatama, ütles N.R. tegelikult kaevatud august palju suurema numbri. Ja lisas veel, et sellise silindrilise augu ruumala võrdub  $2\pi R^2 h$ , kus  $R$  on augu raadius ja  $h$  sügavus.

„Ja sam znaju, što  $2 \pi$  radius v kvadrata umnožennoje na glubinu,“ ütles tööandja, mõõtis augu raadiuse ja sügavuse ära ning saigi N.R.

mainitud ruumala. Ei tulnud talle pähegi, et kordaja „2“ mõlema poolt antud valemis oli N.R. looming!

Samaanist majad, mida me ehitasime, olid meie elukohale lähedal. Kui kaugel sellest paigast oli Viktorovka, ei oska öelda. Viktorovkas me küll vahel käisime, aga arvatavasti mitte jalgsi. Kaugusi oli seal üldse raske hinnata. Kui kohaliku käest küsisid, kui kaugel üks või teine koht asub, oli vastus pea alati ühesugune: „Sovsem rjadom“. Vahel oli see „rjadom“ 40 km, vahel 200, kuidas juhtus.

Missugune oli maja, milles elasime, ei mäleta üldse. Kas oli seal vaid üks suur tuba poiste ja teine tüdrukute jaoks või oli mitu tuba – sellest mälu pilti ei teki. Ei mäleta, et keegi oleks kusagile eraldi tuppa sisenevad või sealt väljunud. Igatahes komsomolisekretär J.L. paistis seal alati meiega olevat. Kahjuks ei tõuse silme ette ka mingit pilti, kuidas voodid jagunesid või kas neid üldse oli.

Elu väljaspool tööd on peast täiesti kadunud. Küllap me õhtuti ikka kaarte mängisime, aga eriti häid bridžimehi küll ei mäleta olevat. Meie kaardimängust meenub vaid selline seik. Kaardimängu ajal toodi sisse üks kohalik vene noormees, nii 17–18 aastat vana, kellel oli peopesas mädanik. Kohalik velsker oli mädanikukollet püüdnud avada – üle peopesa jooksid risti-rästi löikejooned, aga naha läbilõikamiseni polnud jõudnud. Kuulnud, et eestlastega on kaasas arst, tuldi temalt abi paluma. Arstiks oli dr Teeäär, kes ka parajasti bridžimängust osa võttis. Teeäär pakkis oma arstiriistad lahti ja sosistas meile, et me poisist kinni haaraksime. Tegime seda ja kuigi noormees kukkus kisendama ja vanduma, lõi kas doktor mädakolde lahti. Sealt tuli ikka hulganisti mäda välja. Doktor puistas mingit pulbrit haavale ja sidus käe kinni. Poiss lahkus sõimates, lubades kõiki meid „ubit“. Siiski ta seda ei teinud – tuli järgmisel päeval Eesti arsti südamest tänama. Möödunud öö oli olnud üle hulga aja esimene, mil ta sai magada.

Lõikamine pidi olema üsna valuline protsess, sest mingit tuimestavat süsti doktor ei teinud. Küsisin tema käest kohe pärast patsiendi lahkumist, miks ta kätt ei tuimestanud. Ta vastas: „Noh, eks ma oleks võinud tuimestada küll, aga sai ka ilma selleta hakkama. Meil jäi ju huvitav rober pooleli, välja mängimata!“

Meie elukoha lähedalt voolas mööda jõgi. Ega ta eriti väike ei olnudki, sest nagu mäletan, oli tal üsna pikk sild peal, ikka üle 10 m pikkune. Vesi ei olnud väga puhas, aga ujumas me seal siiski käisime. Nendest ujumiskäikudest selgus, kui kuiv oli sealne kliima. Pärast veest väljatulekut

polnud vaja ennast kuivatada: umbes minutiga olid keha ja juuksed kuivad. Õhu kuivust märkasime ka siis, kui kohalikud naised jõe ääres pesu pesid. Pesid ja laotasid pestud asjad üksteise järel rohu peale kuivama. Jätsid siis viimasena pestud eseme oma kätte, viskasid ülejäänud, juba kuivanud pesu, pesukorvi ja lahkusid.

Üksvahe tekitati uudismaalaste seas kampaaniat – seal komsomoli ridadesse astuda, sest siis saab kasahhikeelse liikmepileti! Kampaania tekitajaks oli nähtavasti J.L. ise. Igatahes oli tema see, kes oma „ohvreid“ individuaalselt töötles. Minuni siiski individuaalne lähenemine ei jõudnud. Võib-olla sellepärast, et ma ükskord õhtul ütlesin, et minu arvates komsomoli astumine, eriti kasahhikeelse komsomolipileti pärast, pole just tark tegu. Igal juhul jäeti mind (ja võib-olla ka teisi) rahule. J.L.-il oli küllalt taipu, et igasuguseid ütlemisi mitte suure kella külge panna. Nii nagu kampaania tekkis, nii ta ka peagi rauges.

Uudismaalasi kimbutas raske haigus – nakkuslik kollatõbi. Seda põdesid peaaegu kõik ja mõnel tekkisid sellest hiljem ka tüsistused. Õnneks jäin mina haigusest puutumata.

Meie uudismaal viibimise ajaks olid põllud juba ära kurnatud ja suuri saake enam ei andnud. Mõnel põllul kasvav vili oli päris nigel. Koguni nii hõre ja madal, et mõned eelistasid jalgrattaga stepiteede asemel mööda põldu sõita – ikkagi rulliga kõvaks rullitud pinnas.

Aga suurte põllulaamade tõttu kogunes siiski palju pekstud vilja: kogumiskohtades oli palju väga kõrgeid, kaugeleulatuvaid viljaterade aunu. Niipalju vilja ühes kohas polnud ma kunagi enne näinud. Seal käisime ka meie midagi tegemas, võib-olla vilja autodesse laadimas.

Meie töö uudismaal lõppes planeeritust üksjagu varem. Ootamatult saabus varajane, seal ennenägematu külmalaine koos mahasadanud lumekihiga. Hakati valmistuma kojusõiduks. Pidime sõitma kahe rongiga, tüdrukud esimestena ja poisid veidi hiljem.

Kuna ärasõitjate nimekirja koostasid kohalikud, kes ei osanud eesti nimede järgi meessoost ja naissoost sõitjaid eristada, sattus esimesse rongi üsna palju poisse ja teise, nn poiste rongi, hulgaliselt tüdrukuid. Millisele rongile mina sattusin, täpselt ei mäleta, aga vist ikka esimesele. Rongideks olid juba reisirongid ja igatahes koosnes meie rongi personal grusiinlastest, kes hangeldasid gruusia puskariga.

Midagi olulist tagasisõidust ei meenu. Mäletan vaid, et juba rongi Valka jõudes hakkasime end Tartus väljumiseks valmis seadma. Ju oli siis igatsus ülikooli ja internaadielu järele väga suur.



## INTRIELU

Ülikoolil oli mitu internaati. Üks oli Aia tänaval, teine Kastani tänaval ja võib-olla oli neid kusagil veelgi. Kuid kõige populaarsem oli Tiigi tänava inter vaksali lähedal jahuveksi vastas. Seal olid väga suured toad ja suur osa neist olid läbikäidavad.

Mina sattusin ka ühte suurde tuppa, millest käisid läbi veel kahe toa elanikud. Toakaaslasteks olid peamiselt 1. kursuse füüsikud ja mate-maatikud. Kui mälu ei peta, oli meie toas 12 voodikohta. Tuba külgnes vahetult peasissekäigu esikuga, kus oli valvuriputka. Kogu aja tuli kuulata välis- ja siseuste paukumist, nii päeval kui öösel. Meie majapoolel oli ainult üks tualett, mis polnud WC, vaid lihtsalt C.

Selge on, et intritubades õppimisest sellistes tingimustes midagi välja ei tulnud. Õppimas käidi TUUBIKUMis, ülikooli peahoonega külgnevas endises ülikooli kirikus, mis oli õpperaamatukoguks kohandatud.

Intris viibimise aega täideti põhiliselt bridžimänguga, milles saavutati teatud meisterlikkus. Sellest piisas, et osaleda Eesti teise liiga meistri-võistlustel. Need olid siis veel pörandaalused üritused, avalikult bridži-võistlusi korraldada ei lubatud.

Tiigi intri „säravam“ kuju oli keskeas naisterahvas, kes tegeles maja ülalpidamisega. Alailma kisendas ta tüdrukute peale. Eriti siis, kui need soojade ilmadega lahtiste akende peal jalgu päevitasid. Umbes nii: „Mis te kuradi lambajalad, seal jalgu kõlgutate ja oma paljast ihu näitate! Marss akende pealt ära! Et ma teid, lambajalgu, enam seal ei näeks!“ Aga kes teistele nime annab, see ise seda kannab! Lambajalaks teda kutsuma hakatigi.

Temaga seoses meenub veel üks seik. Ühes intritoas elasid kahekesi kaks vanema kursuse üliõpilast, kes olid 1. järgu maletajad. Ükskord kutsusid nad mind enda juurde malet mängima. Nii segamini ja koristamata tuba polnud ma varem näinud. Ega ka hiljem! Laua peal oli vist küll kuuvanune „kultuurikiht“ – mustad lauanõud, poolelijäänud söögid, hallitanud leivakontsud. Üks toa asukatest lükkas laua sellelt poolelt, kus polnud toidunõusid, „kultuurikihi“ pörandale ja mäng võis alata. Peagi sisenes aga tuppa „perenaine“ ja hakkas jubedalt sõimama: „Olgu see kõik teil otsekohe koristatud!“ – „Ei korista ma midagi!“ ütles üks malemeestest. „Miks sa siis ei korista?“ küsis perenaine. – „Sa ütlesid mulle ükskord halvasti.“ – „Mis ma siis ütlesin?“ – „Sa ütlesid, et ma olen lambajalg.“ Perenaine läks nüüd toast välja ja meie malepartii jätkus.

Kusagil tagatoas elas matemaatika 2. kursuse tudeng T.T., kes oli ka malemängija ja bridžiharrastaja. Temaga seoses meenub järgmist. Nimelt olid internaatides moes nn „tinnad“ – öösiti aeti toaelanikud suure kisaga tinnatantsima. Üks agaramaid tinnale kihutajaid oli T.T., kes sealjuures kisendas täiest kõrist: “Tinna! Tinna!” Kui tudengeid oli juba küllalt kogunenud ja tinnatants võis alata, läks T.T. oma tuppa ja heitis rahulikult magama.

Tiigi tn ühiselamu ja seal oma tudengielu „parimad aastad“ veetnud asukate kohta liigub veel praegugi palju lugusid.

\* \* \*

Mälestuste kirjapanija ei võtnud endale ülesandeks vaadata kogu ülikooliaega, eksameid, õppejõude ja sündmusi, vaid pigem seda, mis enam meelde jäänud – huvitavamad episoodid, kirkamate õppejõudude veidrused jms. Et neid on paremini meelde jäänud just madalamatelt kursustelt, on loomulik. Siis oli kõik veel nii uudne ja harjumatu.

# HARALD KERESE TEADUSLIKEST SEISUKOHTADEST<sup>1</sup>

---

**PIRET KUUSK**

Tartu Ülikooli Füüsika Instituut

## SISSEJUHATUS

15. novembril 2012 oleks Eesti TA akadeemik, TÜ emeriitprofessor, Eesti Füüsika Seltsi esimene auliige Harald Keres (15. XI 1912 – 26. VI 2010) saanud saja aastaseks. Tal jäi sellest puudu kaks aastat neli kuud ja kaksikümmend päeva.

Oma pikka eluteed jõudis Harald Keres ise kirjeldada 2009. a ilmunud raamatus „Sajandi seiklused“ [1]. Kuid selle alapealkiri „Väljavõtteid autobiograafiast“ rõhutab, et siiski pole ta seal rääkinud kõigest, mis tema elus oli oluline – peaaegu üldse pole juttu tema teadustööde sisust. Alljärgnevas püüan elulooraamatut selles suhtes põgusalt täiendada ja leida juhtjooni Harald Kerese relatiivsusteooria alases teadustöös.

Tööde lähtekoht on teadagi haridus. Harald Keres lõpetas Tartu Ülikooli matemaatika osakonna 1936. a *cum laude* ja kuigi tol ajal said kõik täppisteaduste alal studeerijad matemaatiku diplomi, oli see tema puhul vägagi õigustatud, sest ta mõtteviisis oli ja jäi domineerima matemaatikale omane rangus. Asunud pärast lõpetamist tööle Tartu tähetornis abiassistendina, kaitses ta 11. märtsil 1938. a magistritöö matemaatilisest astronoomiast, milles arvutas kattumismuutlike kaksiktähtede liikumistrajektoore. Astronoomiaprofessor ja tähetorni direktor Taavet Rootsmäe (1885–1959), kes oli töö formaalne juhendaja, kirjutas oma retsensioonis: „Töö on puht-teoreetiline (matemaatiline) ega ole seotud ühegi tähevaatlusega.“ Ülikooli valitsus kinnitas kraadi *magister scientiarum mathematicarum* 25. märtsil 1938.

Sama 1938. a maikuus kandideeris Harald Keres taas tähetorni abiasistendi kohale ja pidi esitama ülevaate oma senisest tegevusest, ilmu-

---

1 Artikli aluseks on ettekanne Harald Kerese mälestusseminaril 15. novembril 2012 Tallinnas Eesti Teaduste Akadeemia saalis.

nud tööde nimekirja ja lähemad kavad. Viimase punkti all kirjutas ta: „Minu lõplik siht on saada eesti õpetlaseks. Selle sihi taotlemisel jätkan praegu süvenemist üksikuisse matemaatika distsipliinidesse, et leida sobivat küsimust esimese suurema iseseisva uurimistöö kirjutamiseks.“

Harald Kerest paelus puhtale matemaatikale omane järjekindel ja loogiliste lünkadeta esitusviis ja selle poole hakkas ta edaspidi püüdlema oma kirjatöodes. Ta on avaldanud ka mõned puhta matemaatika alased artiklid ja kaks matemaatika õpikut, üks kompleksmuutuja teooriast [2] ning teine vektor- ja tensorruumidest [3].

Lisaks matemaatikale hakkasid teda huvitama relatiivsusteooria alased raamatud, mida võis leida mitmest Tartu Ülikooli raamatukogust (tähetorni raamatukogu, matemaatika ja mehaanika instituudi raamatukogu). Märgime, et tol ajal peeti relatiivsusteooriat pigem matemaatika kui füüsika osaks ja veel 1950ndatel õpetati üldrelatiivsusteooriat paljude ülikoolide matemaatikateaduskondades. Ka Tartu ülikooli jõudis relatiivsusteooria kõigepealt tänu matemaatikutele – Lorenzi teisendustest ja erirelatiivsusteooriast oli 1930ndate esimesel poolel loenguid pidanud matemaatikadotsent Jüri Nuut (1892–1952).

Kui Harald Keres valiti 21. sept 1938 matemaatika-loodusteaduskonna noorema abiõppejõu kohale, hakkas ta esialgu õpetama matemaatikakursusi (vektorarvutus, matemaatika algpraktikum, harjutusi üldises mehaanikas), kuid kavandas kohe ka kolmesemestrist suurt loengukursust relatiivsusteooriast: 1) tensorarvutus, 2) relatiivsusteooria I (eriline relatiivsuse teooria), 3) relatiivsusteooria II (üldine relatiivsuse teooria). Sellest kavast õnnestus tal teostada kaks esimest osa 1939./40. õppeaastal. Kolmas osa, üldrelatiivsusteooria, küll kinnitati järgmise semestri õppeülesandeks 10. mail 1940, kuid suurte poliitiliste muutuste ja sellega seotud reformide tõttu ülikooliõpetuses tühistati see korraldus 8. okt 1940 ja tema õppeülesandeks määrati kõrgema matemaatika kursus bioloogidele ühes harjutustega. Seetõttu on üsna usutav, et Harald Kerese loengud üldrelatiivsusteooriast, selle ala esimesed Tartus ja Eestis, said teoks alles 12 aastat hiljem, sügissemestril 1952 [4].

Harald Kerese põhiliseks uurimisvaldkonnaks kujunes üldrelatiivsusteooria. Sel alal oli ta tegelikult iseõppija, sest sai oma alusteadmised raamatute lugemisest ja läbitöötamisest. Sellele järgnes loetu selgelmõtlemine doktoriväitekirjades, mida ta olude sunnil pidi kirjutama ja kaitsma koguni kaks korda. Esimese väitekirja „Ruum ja aeg üldises relatiivsuse teoorias“ (IV + 75 + IV lk) kaitses ta 12. detsembril 1942 Tar-

tus Eesti TA saalis (Lai 36) ja rektor Edgar Kant (1902–1978) kinnitas *doctor philosophiae naturalis* teaduskraadi 17. dets 1942. Kuid pärast sõda selgus, et Saksa ajal saadud teaduskraadid enam ei kehti, mistõttu 1946 kirjutas ta uue väitekirja „Ruumi ja aja relativistlik teooria“ (II + 102 + IV lk) ning kaitses seda 3. oktoobril 1947 TRÜ aulas. Füüsika-matemaatikadoktori kraadi omistas talle Kõrgem Atestatsioonikomisjon (Высшая аттестационная комиссия ehk VAK asukohaga Moskvas) 19. veebr 1949. Edasi algas aastakümne pikkune rehkendamise aeg, mille tulemusel ilmus temalt neli artiklit NSVL füüsika tippajakirjas „Журнал экспериментальной и теоретической физики“ aastail 1964–1967 [5]–[8]. Neis on sõnastatud Harald Keresi teadustöö põhitulemused – vastavusse printsiip, mis seob omavahel Newtoni ja Einsteini gravitatsiooni-teooriaid, ning Kerri lahendi ehk pöörleva musta augu allikate kirjeldus mitterelativistlikus lähenduses. Järgmine aastakümne lisas sellele artikli [9], kus Newtoni gravitatsiooniteooria on kirjeldatud 4-mõõtmelise singulaarse meetrikaga aegruumi geomeetria kaudu.

## **LUGEMINE: WEYLI RAAMAT „RAUM, ZEIT, MATERIE“**

Raamatuid, kust Harald Keres õppis üldrelatiivsusteooriat, oli ta enda sõnul põhiliselt kaks: Saksa matemaatiku Hermann Weyli „Raum, Zeit, Materie“ [10] ja Inglise astronoomi Arthur Eddingtoni „The Mathematical Theory of Relativity“ [11]. Esimene raamat kuulus talle endale, arvatavasti saadud sinise raamatupoe kaudu, teine oli laenatud rakendusmatemaatika ja mehaanika laboratooriumi raamatukogust. Neist olulisem on Weyli raamat, Eddingtoni raamat on sisult lihtsam ja tunnistab toetumist Weyli raamatule, mille esmatrükk ilmus 1918.

Weyli raamatu on Harald Keres põhjalikult läbi töötanud, mida näitavad tema hoolikad allakriipsutused, tehtud joonlaua ning punase ja sinise pliiatsi abil. Nagu öeldud, Weyl oli matemaatik, kuid teda kütkestas üldrelatiivsusteoorias matemaatilise, füüsikalise ja filosoofilise mõtlemise läbipõimitus. Weyl arendas oma raamatus kõiki neid kolme liini ja sama võime leida ka Harald Keresi hilisemates töödes. Tundub, et Harald Keres arusaam üldrelatiivsusteooriast on paljuski mõjutatud Weyli seisukohast, mis on esitatud ta raamatu eessõnas (lk VI): „Einsteini teooria tegelikku sisu sõnastaksin ma nii: keha liikumine on

dünaamiliselt määratud võitlusega jõu ja *inerts*i vahel; inertsiväli on kehaga vastastikmõjus olev reaalsus; gravitatsioon kuulub inerts ja mitte jõu juurde.“ Võib-olla just selle väite mõjul hakkas Harald Keres oma põhilist uurimisobjekti edaspidi nimetama inertsiväljaks, kuigi selle all mõistis ta sedasama, mida teised nimetasid gravitatsiooniväljaks.

## JÄRELEMÕTLEMINE: DOKTORIVÄITEKIRJAD

Ühes filosoofilises küsimuses aga pole Harald Keres Weyliga sugugi nõus. Weyl peab relatiivsusteooriate suursaavutuseks tõdemust, et füüsikaline reaalsus on 4-mõõtmeline aegruum, mille projektsioonid – ruum ja aeg – tema arvates taanduvad nn sekundaarsete kvaliteetide rolli, umbes nagu puht-füüsikalise elektromagnetkiirguse lainepikkusele vastab sekundaarne kvaliteet – värvus. Füüsikas uuritakse valgest kui teatud lainepikkusega elektromagnetlaineid, mitte aga värve ja värviaistinguid. Seega füüsikateaduse uurimisobjektiks peaks olema ainult aegruum ja mitte meie poolt vahetult tajutud aeg ja ruum eraldi. Sellele on Harald Keres kategooriliselt vastu. Oma nägemust objektiivselt mõistetud ruumist ja ajast asub ta matemaatiliselt kirjeldama oma doktoriväitekirjades. Esimese doktoriväitekirja (1942) eessõnas esitab ta operatsionalistliku seisukoha: „ ... kui füüsik vaatlleb liikumist ja mõõdab seejuures ruumi ja aega, siis on tema oma mõõtmise menetlusega defineerinud aja ja ruumi kui füüsi(ka)lised mõisted.“ Teise doktoriväitekirja (1946) sissejuhatuses on ta seda täpsustanud: „ ... vaatamata relatiivsuse teooria üldisele tunnustamisele, praktiline füüsik endiselt mõõdab ajas ja ruumis ja kasutab endiselt nende mõistetega ühenduses olevaid klassi(ka)lise füüsika mõisteid, nagu kiirus, kiirendus jne. Kuidas on see võimalik? Sellepärast, et relativistlik maailm ometi pole homogeense ehitusega 4-dimensionaalne kontiinum, vaid 3+1-dimensionaalne sündmuste agregaat, et igale vaatlejale tema teadvuse igal hetkel maailm omab ruumilise ja ajalise osise, mis on omavahel kaemuslikult nii ebavõrdsed kui iganes võimalik. Tegelikudel mõõtmistel pole juttugi aja ja ruumi kokkusulamisest Minkowski „uniooniks““

Seega lubavad tegelikud mõõtmised defineerida aja ja ruumi füüsikalised mõisted, mis üldjuhul erinevad üldrelatiivsusteooria tensorvõrrandites esinevatest aja ja ruumi matemaatilistest mõistetest. Nende kahe mõisterühma vahetõrda soovib Harald Keres oma väitekirja(de)s

selgitada ja, nagu ta ise kirjutab, „kõrvaldada konflikti teooria ja praktika vahel“.

Harald Keres on nõus Weyli väitega, et rääkida ruumipunktist iseneses, üksikuna, on mõttetu – juba Aristoteles sai aru, et koht (*topos*) tähistab kohta mingis ümbruses ja keha asukoht on antav ainult teiste kehade suhtes. Asukoha määramiseks on tarvis valida taust, milleks ideaalis on jäik 3-mõõtmeline keha. Standardselt valitakse selliseks kehaks kolmest lõikuvast mõõdupuust koosnev teljestik, mis kõvera ruumi kirjeldamisel loetakse olevat lõpmata väike ja pannakse liikuma ühest ruumipunktist naaberpunktidesse. Selline on 1920ndatel aastatel Élie Cartani (1869–1951) poolt välja töötatud liikuva reeperi meetod diferentsiaalgeomeetrias. Kuid oma väitekirjades läks Harald Keres teisteed. Tema poolt valitud taustad on lõpliku suurusega jäigad kehad ja (füüsiku) individuaalse, lokaalse ruumi moodustavad temaga seotud taustkeha „sees“ olevad asukohad. Matemaatiliselt vaatles ta kolme lõikuvat telge ja nimetas lokaalseks ruumiks kõiki asukohti, mis olid nende telgede lõplikus ümbruses. Nood kolm telge olid füüsikaliselt antud peilimise teel kui valguskiirte teed ruumis ja nende abil sai taustkehaks konstrueerida lõpliku suurusega tetraeedri. Kuna taolisi füüsikalisi teljekolmikuid saab ehitada ilmselt lõpmata palju, siis on ka lokaalseid ruume lõpmata palju ja nad võivad olla omavahel mitmesugustes suhetes – ühtida täielikult või osaliselt või siis liikuda üksteise suhtes. Paigalolevad ruumid on üksteise kõrval või (osalt) üksteise sees; nende jaoks saab defineerida ekvivalentsuhte ja selle kaudu ruumipunkti mõiste. Üksteise suhtes liikuvad ruumid on aga üksteise järel ja nende kaudu saab defineerida aja. Niisugusele lõplike ruumide kogumile üles ehitatud füüsikat nimetas Harald Keres topoloogiliseks füüsikaks. See oli tookord üsna uudne alus, sest Henri Poincaré (1854–1912) oli topoloogia formuleerinud alles 1895.

Harald Kerese teise doktoriväitekirja I osas oli kirjeldatud tolle uude „topoloogilise füüsika“ võimalikku ülesehitust, mis tekitas mõningat segadust kaitsmisel, olgugi et väitekirja järgmistes osades olid kõik rehkendused tehtud harjumuspärase meetriliste ruumide diferentsiaalgeomeetria raames. Väitekirja teesid, mis olid lisatud kaitsmiskoosoleku teatele ja mille toome siinkohal tervikuna, annavad alust arvata, et ta ise pidas „topoloogilise füüsika“ võimalikkuse näitamist oma põhi-saavutuseks.

### **RUUMI JA AJA RELATIVISTLIK TEOORIA. TEESID**

1. Ruum ja aeg on materiaalse olemasolu objektiivsed vormid. See fakt peegeldub aga üldises relatiivsuse teoorias täiesti puudulikult. Siin vaadeldakse ruumi ja aega ainult maailma infinitesimaalseis piirkonnis, kuna ruumi ja aja süstemaatiline makroskoopiline käsitletu puudub täielikult.
2. Ruumi ja aja makroskoopiline käsitletu üldises relatiivsuse teoorias on võimalik.
3. Ruumi põhielement, punkt, on eksperimentaalselt defineeritav peilimise teel, lähtudes materiaalsest põhitetraeedrist. Ruumipunktide vahelistest relatsioonidest tuleneb punkthetke mõiste. Punkthetk on eksperimentaalselt määratav ruumipunktide paariga. Kõikide punkt-hetkete hulk on 4-dimensionaalne.
4. Asukoha määramine ajas taandub asukoha määramisele ruumis. Ses mõttes on aeg ruumi kõrval sekundaarne mõiste. On võimalik füüsika võrrandeid kirjutada nii, et neis esinevad ainult ruumilised koordinaadid.
5. Tuginedes ainult ajalis-ruumilistele asukohamääramistele on juba võimalik füüsika ülesehitus. See on füüsika topoloogiline käsitlusviis. Talle vastandlik on füüsika tavaline meetriline käsitlusviis, mis vajab asukohamääramiste kõrval veel empiirilisel defineeritud pikkuse ja aja ühikut.
6. Puht-topoloogilise käsitlusviisi juures on punkthetkete maailmas defineeritav mitte-täielik RIEMANN'i meetrika, mis korraldab igale naaberpunkthetkete paarile juurde intervalli pikkuse kuni meelevaldse proportsionaalsuse kordajani. Selle kordaja üheseks määramiseks piisab ruumilise pikkusühiku defineerimisest. Koos viimasega defineerub automaatselt ka ajaühik.
7. Ruum on ühe põhitetraeedri abil määratavate ruumipunktide kolmedimensionaalne kogu. Maailmageomeetrilises esituses tähendab ruum maailmajoonte kongruentsi. Ruumi konstrueerimine tähendab selle geomeetrilise kujundi konstrueerimist. Ruumide matemaatiline iseloomustus ja klassifikatsioon toimub diferentsiaalvõrrandite abil, mis karakteriseerivad geomeetriselt nimetatud joonte-kongruentsi.
8. Ruumi igas punktis kulgeb punktaeg, mille maailmageomeetriseliks pildiks on selle ruumipunkti maailmajoone järjestatud punkthetkete jada. Rühmitades ruumi eri punktaegadest punkthetked „samaage-seiks“ defineerime selles ruumis ühtlusaaja. Omavahel samaage-sete



punkthetkete 3-dimensionaalne kogu on ühtlusaja ruumhetk. Tema maailmageomeetriliseks pildiks on hüperpind. Ühtlusaja maailmageomeetriliseks pildiks on üheparameetriline hüperpindade parv. Ühtlusaja konstrueerimine tähendab nimetatud hüperpindade parve konstrueerimist.

9. Ühtlusajaga varustatud ruum on taustsüsteem – looduse matemaatiliseks kirjeldamiseks piisav täielik ajalis-ruumiline taust. Tema maailmageomeetriliseks pildiks on joonte-kongruents, mis on lõigatud hüperpindade parve poolt. Taustsüsteemide matemaatiline iseloomustus ja klassifikatsioon toimub diferentsiaalvõrrandite abil, mis karakteriseerivad geomeetriselt nimetatud kujundit.

Väitekirja lühikeses II osas vaadeldi I osa mõtteviisi valgusel ajaloolisi ruumi ja aja käsitlusi Newtoni teoorias ja erirelatiivsusteoorias. III osas anti üldrelatiivsusteooria ruumi ja aja tüüpide matemaatiline klassifikatsioon lähtudes nende sisemistest geomeetristest omadustest, mis kirjeldatud vastavate diferentsiaalvõrranditega. Põhimõtteliselt on siin tegemist aegruumi lõpliku piirkonna  $3+1$  lahutuse võimalikkuse matemaatilise kirjeldamisega. IV osas iseloomustati erirelatiivsusteooria pseudo-eukleidilises ruumis liikuvate lokaalsete ruumide mõningaid tüüpe vastavate joonekongruentside puutujavektorite väljaga ehk nn kiiruste väljaga.

Kuna väitekirja oli eestikeelne, tuli doktorikraadi taotlemiseks esitada VAKile venekeelsed teesid, annotatsioon ja lühikokkuvõte. Kuid Harald Keresi poolt sõnastatud teesides ei ole väitekirja III ja IV osas arendatud matemaatilise käsitluse üksikasju ning ka 32-leheküljelises venekeelses kokkuvõttes on esimesed 20 lk pühendatud teesides esitatule. Niisuguste materjalide alusel otsustas VAKi retsensent 1948. a kevadel, et töö on liiga filosoofiline – „относится к пограничной области между философскими и физико-математическими исследованиями“ – ja kuna kokkuvõttes oli liiga vähe näha konkreetseid arvutusi, siis tema arvates töö ei vastanud NSVL füüsika-matemaatikadoktori nõuetele. VAK väljastas eitava otsuse 15. mail 1948. Tartu ülikooli nõukogu ei jäänud sellega rahule ja pärast proteste VAK siiski omistas doktorikraadi 19. veebr 1949.

Kui väitekirjade epopöa oli saanud õnneliku lõpu, jätkas Harald Keres esialgu väitekirjas alustatud füüsikalise ruumi ja aja matemaatilise kirjeldamise skeemi täpsustamist. Ta avaldas 1952. a Tartu Observatooriumi-

mi Publikatsioonides 65-leheküljelise artikli „Ruumi ja aja geometria aksiomide süsteem. I osa“, kus püüdis aksiomatiseerida oma topoloogilist käsitlust ruumist ja ruumide liikumisega määratud ajast lõplike lokaalsete ruumide kogumist lähtudes. Lubatud järgmisi osasid tolele tööle aga ei järgnenud. Järelemõtlemist sel teemal ta siiski jätkas ja pidas 9. aprillil 1979 Tartu gravitatsiooniseminaris ettekande „Ruumi mõiste füüsikalistest alustest“.

Alates 1950ndate keskelt jääb Harald Keres oma mõttetöös tavapärase Einsteini üldrelatiivsusteooria raamesse. Võib-olla mõjutas teda ka asjaolu, et 1940ndate lõpus, kui VAKis tekkisid probleemid talle doktorikraadi omistamisega, toetasid teda tuntud Vene füüsikateoreetikud, Moskvast Dmitri Ivanenko (1904–1994) ja Leningradis Vladimir Fock (1898–1974), kellega konsulteerides sai ta esmakordselt n.ö reaalajas ja vahetult arutada relatiivsusteooria sisulisi probleeme. Ja küllap Fock püüdis talle selgitada oma eripärast arusaama Einsteini gravitatsiooniteooriast: seda ei saavat nimetada relatiivsusteooriaks ehk suhtelisuse teooriaks, kuna selles ei saa leida taustsüsteeme, mille suhtes füüsikanähtuste kirjeldus oleks ühesugune. Eirelatiivsusteoorias on niisugused taustsüsteemid omavahel seotud Lorenzi teisendustega, mis ühtlasi on Minkowski aegruumi homogeensuse ja isotroopsuse matemaatiline väljendus. Kuid üldrelatiivsusteoorias on aegruum üldjuhul mittehomogeenne ja anisotroopne Riemanni ruum, millel puudub sümmeetriarühm ja seega pole taustsüsteeme, mille suhtes füüsikanähtuste kirjeldused võiksid olla ühesugused. Aegruumi struktuuri iseloomustav meetriline tensor esindab nii gravitatsiooni- kui ka inertsinähtusi. Einsteini teooriat pidas Fock pelgalt gravitatsiooniteooriaks ja eristamiseks füüsikalisi gravitatsiooninähtusi näivatest inertsinähtustest pani ta ette kasutada teatud kindlat koordinaadistikku, nn harmoonilisi ehk de Donderi koordinaate.

Focki nägemus Einsteini teooria sisust ja tähendusest oli seega täpselt vastupidine Weyli väitele, et gravitatsioon on seesama mis inerts. Selles arusaamistehargis valis Harald Keres kindlalt Weyli poole ja paljud tema teadusfilosoofiasse kalduvad tööd sisaldavad tulist vaidlust Focki filosoofiliste seisukohtadega. Algas poleemika juba 1957. a artikliga „Üldrelatiivsusteooria mõnedest küsimustest“ ENSV TA FAI Uurimustes nr. 5, 1957 (tõlge raamatus „Ruum ja aeg“ [12]). Selles on kõigepealt väidetud, et eirelatiivsusteooriat ja üldrelatiivsusteooriat saab vaadata kui aegruumi automorfismide erinevate rühmade teoo-

riaid, kusjuures üldrelatiivsusteoorias sõltub automorfismide rühma valik konkreetsest gravitatsiooniväljast ja äärmisel juhul võib sisaldada vaid identsusteisenduse. Mis aga puutub Focki harmoonilistesse koordinaadisüsteemidesse, siis nende olemasolust ei järgne, et „tõeline“ gravitatsiooniväli ja selle poolt tekitatud „absoluutne“ kiirendus eristub aegruumi üldisest inertsiaalsest foonist, sest harmooniliste koordinaatide määratlusse kuulub ka eeldus, et lõpmata kaugel on aegruum tasane, seega kiirendus selle koordinaadistiku suhtes ei ole absoluutne, vaid kiirendus lõpmata kauge piirkonna suhtes. Kümme aastat hiljem keskendus vaidlus teooria alusprintsipiide, relatiivsusprintsipi ja ekvivalentsusprintsipi mõtte ümber. Pole vist vajadust lisada, et vaidlus puudutas ainult teoorias sisalduvatele matemaatilistele suurustele omistatud füüsikalisi tähendusi ja valemite tasemel oleksid kõik kolm – Weyl, Fock ja Keres – olnud täielikult ühel nõul, kui nad oleksid kusagil tegelikult kokku saanud. Küll aga võinuks tekkida erimeelsusi küsimuses, millised rehkendused on mõttekad ja millised mõttetud, sest see eristus sõltub tähendustest.

## **REHKENDAMINE:**

### **NEWTONI JA EINSTEINI TEOORIA VÕRDLUS**

Vladimir Fock väitis, et gravitatsiooninähtused on täielikult iseloomustatud vabalt langevate kehade liikumisega. Harald Keres oli sellega igati nõus ja järeldas, et selge arusaama üldrelatiivsusteooria füüsikalisest sisust võiks anda vaba langemise kirjelduste võrdlemine Einsteini teoorias ja Newtoni teoorias.

Tänapäeval on kõige tunnustatum võrdlus Einsteini ja Newtoni teooria vahel nn parametrizeeritud post-Newtoni lähendus (PPN), mis töötati välja aastail 1968–72. Selles on algjäähendiks valitud erirelatiivsusteooria tasane Minkowski aegruum, millele hakatakse arvutama väikeste masside olemasolu poolt tekitatud meetrika häiritusi. Eeldusel, et graviteeruvate materiaalseste osakeste liikumiskiirus on väike võrreldes valguse kiirusega, osutub, et häiritused on võrdelised Newtoni teoorias sisalduva gravitatsioonipotentsiaaliga, mille jaoks saab Einsteini võrrandite madalaimas lähenduses tuletada Newtoni teooriast tuttava Poissoni võrrandi. Kuid erirelatiivsusteooria sisaldab maksimaalset lubatud kiirust, valguse kiirust, mis on võõras Newtoni gravitatsiooniteooriale.

15 aastat enne PPN ilmumist läheb Harald Keres teist teed: ta hakkab 3-mõõtmelises ruumis antud Newtoni gravitatsiooniteooriat otseselt võrdlema 4-mõõtmelises aegruumis antud Einsteini gravitatsiooniteooriaga. Vaatame lähemalt, millistest sammudest see võrdlus koosneb.

*Vaba langemine Newtoni teoorias.* Olgu meil antud Newtoni absoluutne aeg  $t$  ja absoluutne 3-ruum koos ristkoordinaadistikuga  $x^i$ , kus kõigis ruumipunktides asuvad punktmassid  $x^i(t, \xi^k)$  on vabalt langevad Newtoni gravitatsiooniväljas potentsiaaliga  $\Phi$ :

$$\partial^2 x^i(t, \xi^k)/\partial t^2 = \partial\Phi(t, x^k)/\partial x^i \quad (i, k = 1, 2, 3), \quad \Delta\Phi = -4\pi\rho, \quad (1)$$

s.t alghetkel ruumipunktis  $\{\xi^k\}$  asunud osakese kiirendus hetkel  $t$  võrdub gravitatsioonijõuga, mis on massijaotusele  $\rho(t, x^k)$  vastava potentsiaali  $\Phi(t, x^k)$  osatuletiste vektor;  $\Phi(t, x^k)$  rahuldab ülaltoodud Poissoni võrrandit.

*Vaba langemine Einsteini teoorias ja piirväärtus  $c \rightarrow \infty$ .* On teada, et kui Riemanni geomeetriaga aegruum koosneb vabalt langevate punktmasside trajektooridest (geodeetilistest joontest), siis aegruumi meetrika on koordinaadistiku valikuga viidav kujule

$$ds^2 = c^2 dt^2 - \gamma_{ik}(t, \xi^k) d\xi^i d\xi^k. \quad (2)$$

Hetkelist 3-ruumi  $\{\xi^k\}$  nimetatakse vabalt langevaks ja selle kauguste võrk (meetrika)  $\gamma_{ik}(t, \xi^k) d\xi^i d\xi^k$  on üldjuhul ajas muutuv (nn pehme ruum). Iga konkreetne gravitatsiooniväli on iseloomustatud vabalt langevate 3-ruumide hulgaga (koordinaadid  $\xi^k$  ei ole üheselt määratud, vaid lubavad suvalisi koordinaaditeisendusi 3-ruumis). Lisame, et  $c$  on siin valguse kiirus, mis üleminekul üldrelatiivsusteooriasse erirelatiivsusteooriast, kus tema konstantsus tuletatakse Maxwelli võrranditest, on postuleeritud konstantseks ja arvuliselt võrdseks valguse kiirusega erirelatiivsusteoorias. Selliselt valitud koordinaadistik määrab nn sünkroonse taustsüsteemi. Otsene arvutus kinnitab, et ülaltoodud meetrikas on jooned  $\xi^i = \text{const}$  geodeetilised jooned ehk vabalt langevate (inertsiaalselt liikuvate) punktmasside trajektoolid 4-ruumis. Selliseid sünkroonseid taustsüsteeme, kus 3-meetrikal  $\gamma_{ik}$  on lõplik piirväärtus juhul, kui valguse kiirus loetakse lõpmata suureks,  $c \rightarrow \infty$ , nimetas Harald Keres  $G$ -süsteemideks ja see oli tema käsitluses keskne mõiste.

*Newtoni teooria esitamine üldisemal kujul.* Ka Newtoni teoorias saab raskusjõu mõjul vabalt langevate punktmasside liikumisvõrrandeid (1) ümber kirjutada pehmes 3-ruumis meetrikaga  $ds^2 = \gamma_{ik}(t, \xi^k) d\xi^i d\xi^k$

( $i, k = 1, 2, 3$ ). Osutub, et Newtoni gravitatsiooniteooria on sel juhul antav kolmest võrrandirühmast koosneva süsteemiga, mis skemaatilistes tähistustes on kujul

$$R_{00} = -4\pi\rho, \quad R_{0ijk} = 0, \quad P_{ik} = 0. \quad (3)$$

Funktsioonid  $R_{00}$ ,  $R_{0ijk}$ ,  $P_{ik}$  on antud 3-ruumi meetrika komponentide  $\gamma_{ik}(t, \xi^k)$  ja nende osatuletiste kaudu (funktsioonide  $R_{00}$ ,  $R_{0ijk}$ ,  $P_{ik}$  matemaatilised avaldised võib leida Harald Kerese artiklitest [5], [9]). Siin esimene võrrand vastab Poissoni võrrandile, mida rahuldab Newtoni gravitatsioonipotentsiaal, ja viimane ütleb, et Newtoni absoluutne 3-ruum on eukleidiline.

*Einsteini teooria võrrandid.* Aegruumi meetrika  $ds^2 = g_{\mu\nu}(x^\rho) dx^\mu dx^\nu$  ( $\mu, \nu = 0, 1, 2, 3$ ) on vabalt langevate 3-ruumidega taustsüsteemis antav kujul (2), seega on juba teada, et  $g_{00} = c^2$ ,  $g_{0i} = 0$ . Funktsioonid  $\gamma_{ik}(t, \xi^k)$  tuleb määrata Einsteini võrranditest, mis lubavad leida aegruumi geometriat kirjeldava meetrilise tensori  $g_{\rho\sigma}(x^\rho)$  funktsionaalse kuju vastavalt graviteeruva materia jaotusele, mis kirjeldatud materia energiaimpulssitensoriga  $T_{\mu\nu}$ :

$$R_{\mu\nu}(g_{\rho\sigma}) = -8\pi G/c^2 (T_{\mu\nu} - 1/2 g_{\mu\nu} g^{\sigma\rho} T_{\sigma\rho}). \quad (4)$$

*Vastavuse printsiip gravitatsiooniteoorias.* Kui vabalt langevate punkt-massidega antud taustsüsteem on  $G$ -süsteem, s.t kui Einsteini võrranditest (4) leitud 3-meetrika komponendid  $\gamma_{ik}(t, \xi^k)$  ja nende osatuletised on piiril  $c \rightarrow \infty$  lõpliku väärtusega, ning kui  $T_{\mu\nu}$  kirjeldab ideaalset vedelikku, siis pehmes ruumis antud Newtoni teooria võrranditest (3) esimene ja kolmas võrrandirühm ühtivad Einsteini teooria vastavate võrrandite piirväärtustega ning teine võrrandirühm on Einsteini võrrandite vastava rühma piirväärtuse kitsendus.

*Mitterrelativistlikud gravitatsioonipöörised.* Osutub, et Newtoni teooria teine võrrandirühm  $R_{0ijk} = 0$  asendub Einsteini teooria piirväärtuses pisut üldisema võrrandiga  $R_{0ijk} g^{ik} \equiv R_{0j} = 0$  (sama alumine ja ülemine indeks tähistab summeerimist üle selle indeksi), mis kirjeldab nii Newtoni potentsiaaliga gravitatsioonivälju kui ka selliseid pööriselisi mitterelativistlikke gravitatsioonivälju, mida ei saa iseloomustada jõupotentsiaaliga. Harilikult jäetakse mitterelativistlikud gravitatsioonipöörised siiski vaatluse alt välja, sest piirjuhu võrrandites  $R_{0j} = 0$  puuduvad allkaliikmed vähemalt tavapärase ideaalse vedeliku juhul ja miski ei sunni meid mitterelativistlikke pöörisevälju lugema nullist erinevateks.

*Einsteini võrrandite lahendite tähenduse leidmine.* Vastavuse printsiip lubab esitada selge skeemi Einsteini võrrandite täpsete lahendite tõlgendamiseks.

- Leiame koordinaaditeisenduse, mis viib Einsteini võrrandite lahendi vabalt langevate 3-ruumidega kujju (2).
- Arvutame 3-meetrika  $\gamma_{ik}(t, \xi^k)$  piirväärtuse  $c \rightarrow \infty$ .
- Interpreteerime tulemust kui vastavat mitterelativistlikku gravitatsioonivälja, mis antud pehme 3-ruumi taustal.
- Selge füüsikalise interpretatsiooni saamiseks lähme hetkelise pehme 3-ruumi  $\{\xi^k\}$  taustalt Newtoni absoluutse ruumi Cartesiuse ristkoordinaatide  $\{x^k\}$  taustale.
- Leiame mitterelativistlikku gravitatsioonivälja tekitava massijaotuse  $\rho(t, x^k)$ .

Selle skeemi praktilise rakendusena selgitas Harald Keres Uus-Mere-maa füüsikateoreetiku Roy Kerri (s 1934) poolt 1963. a leitud Einsteini võrrandite uue täpse lahendi, nn Kerri meetrika Newtoni vaste füüsikalise tähenduse: Kerri lahendi ehk pöörleva musta augu Newtoni piirjuhu tekitab kindlal viisil muutuva negatiivse massi jaotusega ketas, mille äärel on positiivse lõpmata suure joontihedusega niit. Pöörlemine, mis ilmneb üldrelatiivsusteooria lahendis, jääb Newtoni lähendis vaatluse alt välja, sest osutub olevaks relativistlik parandus.

Oma nägemuse gravitatsiooniteooriate füüsikalisest ja matemaatilisest sisust esitas Harald Keres kokkuvõtlikult Tartu gravitatsiooniseminaris kolmes ettekandes 24. dets 1979, 14. jaan 1980 ja 17. märtsil 1980, neist kahe esimese tekst pealkirjaga „Relatiivsusteooria alused“ on avaldatud Eesti mõtteloo sarjas 2009. a ilmunud raamatus „Ruum ja aeg“ [12]. Juba pool sajandit varem, 1959, oli Harald Keres kirjeldanud relatiivsusteooria põhimõtteid populaarteaduslikus vihikus „Aeg ja ruum“ [13].

## **KOKKUVÕTE: HARALD KERESSE OLULISEMATE TEADUSTULEMUSTE LOETELU**

- 1964 – formuleeris matemaatiliselt range piirülemineku Einsteini üldrelatiivsusteooria ja Newtoni gravitatsiooniteooria võrrandite vahel (vastavuse printsiip gravitatsiooniteoorias) [5]
- 1965 – näitas, et üldrelatiivsusteooriast mitterelativistlikul piiril saadud teooria sisaldab lisaks Newtoni gravitatsiooniteooria poolt

kirjeldatud gravitatsiooniväljadele ka pööriselisi mitterelativistlikke gravitatsioonivälju [6]

- 1966 – leidis kõik lahendid, mis rahuldavad korruga nii Einsteini teooria võrrandeid kui ka selle Newtoni lähendi võrrandeid [7]
- 1967 – lähtudes vastavuse printsiibist näitas, et Einsteini võrrandite Kerri lahendist mitterelativistlikul piiril saadud gravitatsioonivälja allikaks on negatiivse massi mittehomogeense jaotusega ketas, mille äärel on positiivse lõpmata suure joontihedusega ühemõõtmeline niit [8]
- 1976 – konstrueeris neljamõõtmelise singulaarse meetrikaga aegruumi, mis lubab geomeetriliselt kirjeldada kõiki mitterelativistlikke gravitatsioonivälju, nii Newtoni tüüpi kui ka pööriselisi [9]

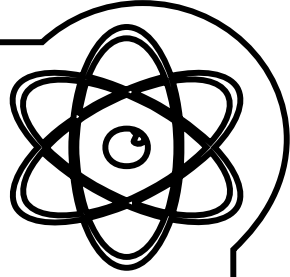
Täiendavaid andmeid Harald Kerese elu ja töö kohta võib leida ENSV Teaduste Akadeemia Teaduslikus Raamatukogus koostatud personaalnimestikust [14] ja Ivar Piiri artiklist [15]. Käesoleva artikli kirjutamisel on kasutatud Harald Kerese isiklikke toimikuid Eesti Ajalooarhiivis, f. 2100, nim. 1, s.ü 4864 (1933-1943) ja nim. 2 s.ü 319 (1933-1944).

## KIRJANDUS

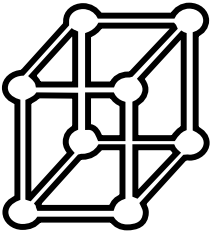
- [1] Harald Keres. Sajandi seiklused. Väljavõtteid autobiograafiast. – Kirjastus „Ilmamaa“, Tartu, 2009, 190 lk
- [2] Harald Keres. Matemaatilise füüsika meetodid I. Kompleksmuutu- ja funktsioonid. – Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, 1964, 542 lk
- [3] Harald Keres. Vektor- ja tensorruumid. – Kirjastus „Valgus“, Tallinn, 1989, 366 lk
- [4] Ivar Piir. Teoreetilise füüsika ajaloost Tartus (1921-1960): õppeainest uurimisobjektiks. – Eesti Füüsika Seltsi aastaraamat 2004, Tartu, 2005, lk 5-34
- [5] X. Керес. Принцип соответствия в общей теории относительности. – Журнал экспериментальной и теоретической физики, т. 46, 1741-1754 (1964)
- [6] X. Керес. Гравитационные поля неньютоновского типа. – Журнал экспериментальной и теоретической физики, т. 48, 1319-1327 (1965)
- [7] X. Керес. Общее решение совместной системы уравнений Эйнштейна и уравнений Ньютона. – Журнал экспериментальной и теоретической физики, т. 50, 493-506 (1966)

- [8] X. Керес. К физической интерпретации решений уравнений Эйнштейна. – Журнал экспериментальной и теоретической физики, т. 52, 768-779 (1967)
- [9] X. Керес. Тензорный гравитационный потенциал и четырёхмерное представление ньютоновской теории Э. Картаном. – Eesti NSV Teaduste Akadeemia Toimetised, Füüsika\*Matemaatika, 25. köide, nr. 4, 349-358 (1976)
- [10] Hermann Weyl. Raum, Zeit, Materie: Vorlesungen über allgemeine Relativitätstheorie. – Springer, Berlin, 1923, VIII + 338 S.
- [11] Arthur Eddington. The Mathematical Theory of Relativity. – Cambridge University Press, Cambridge, 1923, X + 247 pp.
- [12] Harald Keres. Ruum ja aeg (Eesti mõttelugu nr 89). – Kirjastus „Ilmamaa“, Tartu, 2009, 416 lk
- [13] Harald Keres. Aeg ja ruum. – Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, 1959, 48 lk
- [14] Harald Keres: personaalnimestik 1936-1985. – Eesti NSV Teaduste Akadeemia Teaduslik Raamatukogu, Tallinn, 1986, 47 lk
- [15] Ivar Piir. Harald Keres – õpetaja ja õpetlane. – Teaduse ajaloo lehekülgi Eestist, XIII kogumik. Tartu Ülikooli Kirjastus, 2004, lk 176-210





**EESTI  
FÜÜSIKA  
TEADUSUUDISED**



## **EESTI FÜÜSIKA SELTSI LIIKMETELE**

Juba teist aastat on Eesti Füüsika Seltsi aastaraamatus uus rubriik „Eesti füüsika teadusuudised“. Selles rubriigis ilmuvad Eesti teadlaste poolt kirjutatud artiklite eestikeelsed lühitutvustused. Nende lugude virtuaalne kodu on füüsikauudiste portaalis aadressil [www.fyysika.ee/uudised](http://www.fyysika.ee/uudised). 2012. aastal ilmus uudisteportaaalis 7 meie teadustööde lühitutvustust. Pangem tähele, et Eesti teadlased publitseerivad järjest enam, näiteks 2012. aastal ilmus 137 Thomas Reuters WoS poolt indekseeritud artiklit teadlastelt, kes on pidanud oma töökohaks Tartu Ülikooli Füüsika Instituuti. Tuleb tõdeda, et eesti keeles ja „hiirekliki kaugusel“ on võtnud vaevas enda töid tutvustada vaid väike osa meie teadlastest.

Loodame siiski, et teadusartiklite põhjal koostatud lühilugude lugemine EFS aastaraamatus informeerib meid kõiki edaspidigi kolleegide teadussaavutustest ja innustab ka uut pealekasvavat teadlaste põlvkonda enda teadustöid aktiivsemalt tutvustama. Peab nentima, et (akadeemiline) vanus ei määra teadustööde tutvustamise aktiivsust ega ole oluline ka tutvustuste avaldamiskriteeriumina, vaid oluline on pigem hoiak ja eestimeelsus. Huvi Eestis tehtava teaduse vastu pole kuhugi kadunud, pigem näitab kasvutrende, seega: teadlased, ärge olge tagasihoidlikud, kirjutage! Portaaali [www.fyysika.ee](http://www.fyysika.ee) toimetajad aitavad keeleliste korrektuuridega, vajadusel ka tõlkimisega, ja teie loodud uued teadmised leiavad Eesti loodusteaduste huviliste seas sooja vastuvõtu.

EFS füüsika uudisteportaaali peatoimetaja Aile Tamm  
Kiletehnoloogia labor  
Füüsika Instituut  
Tartu Ülikool

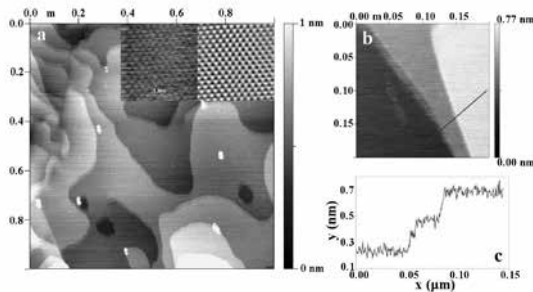
# ÜLIÕHUKESTE POLÜPÜRROOL- KILEDE MOODUSTUMINE KULDELEKTROODIL

MARGUS MARANDI

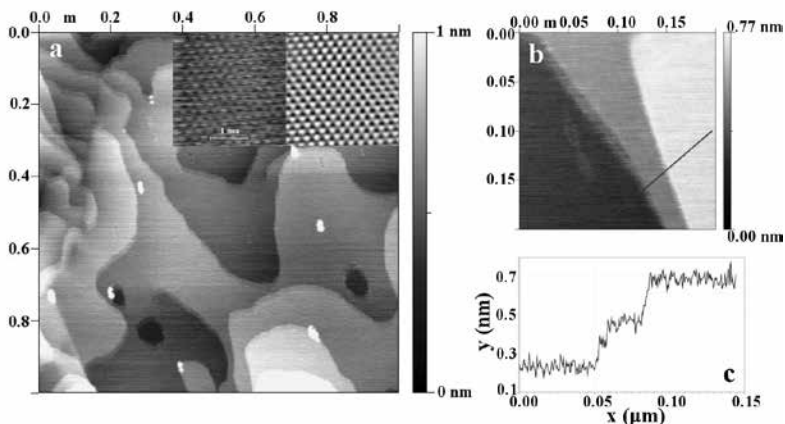
TÜ Füüsika Instituut

Elektrit juhtivaid polümeere on viimaste aastakümnete jooksul intensiivselt uuritud kui uut liiki orgaanilist materjali, millel on metallidele ja pooljuhtidele omased elektrilised ja optilised omadused ühendatud tavapolümeeride selliste omadustega nagu suhteliselt lihtne süntees ning hea vormitavus ja töödeldavus.

Polüpürrooli (PPy) peetakse üheks elektrit juhtivate polümeeride klassikaliseks esindajaks, tänu tema vastupidavusele erinevates keskkondades ja võimalusele saada selle polümeeri kilesid erinevate meetoditega, nt keemiline, fotokeemiline või elektrokeemiline protsess, mitmesugustest pürrooli (Py) lahustest, k.a vesilahused (joonis 1). PPy-d



Joonis 1. Elektrokeemiliselt sünteesitud õhukesed PPy kiled: vasakpoolsel pildil on must PPy kile paksusega ~1 mikromeetrit, sadestatud kuldplekist elektroodile, ja parempoolsel pildil poolläbipaistev PPy kile paksusega ~ 50 nm, sadestatud vilk-Au-kile elektroodile.



Joonis 2. Tüüpilised monokristalse kuldelektroodi aatomjõumikroskoobi pildid: (a, b) kile pinna pildid ja (c) pinnaprofiil pildil (b) oleva astangu kohast; kõrguste skaala nanomeetrites.

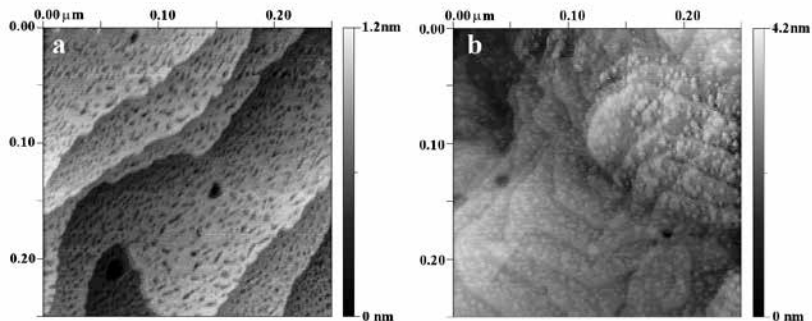
kasutatakse juba täna paljudes kõrgtehnoloogilistes rakendustes, nt keemilistes ja biosensorites, päikesepatareides, akudes, superkondensaatorites, molekulaarsõeltes, korrosioonitõrje katetena jne. Samuti loetakse polüpürrooli lootustandvaks materjaliks kunstlihaste valmistamisel, vastavaid uuringuid teostatakse TÜ Tehnoloogiainstituudis.

Tartu Ülikooli Keemia Instituudi ja Füüsika Instituudi teadlaste Margus Marandi, Silvar Kallipi, Leonard Matiseni, Jüri Tamme ja Väino Sammelselja äsjailmunud artiklites [1, 2] uuriti PPy kilede moodustumise erinevaid aspekte, sealhulgas ka pürrooli adsorptsiooni monokristalsetel kuldelektroodidel erineva Py sisaldusega vesilahustest ning erinevate lisandite ehk dopantide ionide mõju kile omadustele ning pinna struktuurile.

Uuringud viidi läbi erinevates keskkondades, nii vedelikus, vaakumis kui õhus, kasutades erinevate mikroskoopide, sh skaneerivate teravikmikroskoopide (ingl *scanning probe microscope*, *SPM*<sup>1</sup>) ja skaneeriva elektronmikroskoobi abi. Saadud tulemuste paremaks mõistmiseks kasutati ka elektronspektroskoopilisi ja elektrokeemilisi mõõtmisi.

Üliõhukeste kilede teravikmikroskoopilised uuringud nõuavad, et alused, millele kiled sadestatakse, oleksid väga siledad. Kui kiled sadestatakse elektrokeemiliselt, peavad need alused olema ka elektrit juhtivad ning neid nimetatakse elektroodideks. Sellisteks alusteks sobivad väga hästi

1 [en.wikipedia.org/wiki/Scanning\\_probe\\_microscopy](http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_probe_microscopy)



Joonis 3. Kuldelektroodile elektrokeemiliselt sünteesitud üliõhukese (~0.4 nm) PPy kilest skaneeriva tunnelmikroskoobi abil saadud pildid: (a) õhus ja (b) lahuses.

vaakumaurustamise<sup>2</sup> teel valmistatud kullakiled, mida osatakse valmistada TÜ Füüsika Instituudis (joonis 2).

Need kiled koosnevad „suurtest“, läbimõõduga kuni mitu mikromeetrit, orientatsiooniga (111) monokristallilistest saarekestest, mille pinnal on suhteliselt laiad aatomsiledad alad, terrassid, mis on üksteisest eraldatud enamasti mõne aatomtasandi kõrguste astangutega. Sellistele alustele sadestatud polümeerkilesid saabki uurida väga täpselt ülalmainitud meetoditega.

Uuringute käigus avastati uus väga lihtne meetod üliõhukeste PPy kilede valmistamiseks, mille elektrilist juhtivust on võimalik suuresti muuta ja mida on võimalik kasutada erinevates sensorites. Samuti ilmes, et PPy kilede kasv algab Py aluskihil saarekestena, mille elektrijuhtivus õhus on madalam kui lahuses (joonis 3).

## ALGALLIKAD

- [1] M. Marandi, S. Kallip, L. Matisen, J. Tamm, V. Sammelselg. *Synthetic Metals* 162 (2012) 162-170.
- [2] M. Marandi, S. Kallip, V. Sammelselg, J. Tamm. *Electrochemistry Communications* 12 (2010) 854-858.

<sup>2</sup> [www.wfu.edu/%7Eucerkb/Nan242/L06-Vacuum\\_Evaporation.pdf](http://www.wfu.edu/%7Eucerkb/Nan242/L06-Vacuum_Evaporation.pdf)

# „DIFRAKTSIOONIVABA“ VALGUSIMPULSI MOODUSTUMINE RINGJAL DIFRAKTSIOONIVÕREL

---

MADIS LÕHMUS

TÜ Füüsika Instituut

Difraktsiooninähtusi<sup>1</sup> ehk valguse lainelisest iseloomust põhjustatud efekte on tavaks uurida pidevas valgusväljas, s.t valgusallikaga, mis kiirgab väga kitsas lainepikkuste vahemikus (tüüpiliselt alla 1 nm), sest sel juhul on difraktsioonipilt selge ja teravalt nähtavate heledus-tumedusribadega. Üheks huvitavaimaks ja kasulikke rakendusi leidnud difraktsiooninähtuseks on möödunud sajandi lõpus avastatud nn Besseli kimbud<sup>2</sup>. Besseli valguskimbu levides säilib tema keskel olev laserikiirest palju peenem maksimum ning seda ümbritsevad heledusrõngad teravaina paljude meetrite ulatuses – justnagu difraktsioonilist laialivalgumist polekski.

Üks paremaid viise sellist „difraktsioonivaba“ valguskiirtekimpu saada on paigutada laserikiirde ringsümmeetriline difraktsioonivõre. Kui võre moodustavad kontsentrilised kindla sügavusega ringvaod klaasplaadil, siis on tegemist nn faasivõrega, kus ei toimu valguse kadu neeldumise läbi.

Kitsa spektraalse koostisega valgustuse puhul on aga nähtav valgusväli vaid difraktsiooniprotsessi n.ö valmis tulemus. Difraktsiooni käigu filmilindina lahtimängimiseks oleks tarvis valgustus- ja katsetingimustega minna teise äärmusse – kasutada impulssvalgustust ja valgusvälja ajalise lahutusega registreerimist. Seni ei oldud seda praktiliselt tehtud vajalikule katseseadmele esitatavate keeruliste tingimuste tõttu.

Esiteks, valgusimpulss peab olema sedavõrd lühike, et vaatamata tema liikumiskiirusele 300 tuhat km sekundis (valguse kiirusel), oleks impulsil levisuunalist n.ö paksust vähem kui seebimullikilel. Teiseks,

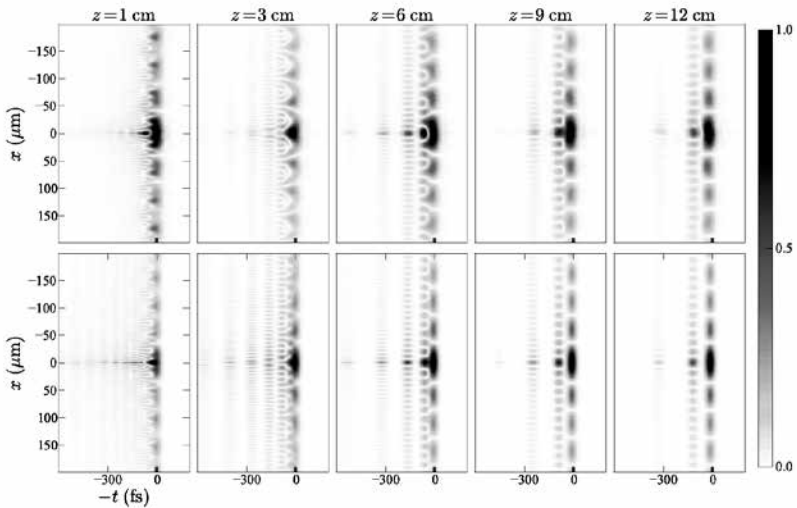
---

1 en.wikipedia.org/wiki/Diffraction

2 www.physic.ut.ee/instituudid/efiti/loengumaterjalid/elmag/Horison1998jaanSaari.pdf



Joonis 1. Suurendatud pilt binaarset faasi tekitavast ringsümmeetrilisest difraktsioonivõrest. Pildil nähtavad ringid on vaheldumisi erineval tasandil, 940 nanomeetrise kõrguste vahega.



Joonis 2. Ringsümmeetriliste binaarset faasi tekitavate difraktsioonivõrede taga tekkiv väli  $|E(x,y=0,z,t)|$  impulssvalgustuse korral. Üleval mõõtetulemus, all simulatsioon.

ka valgusvälja registreerimine peab (lisaks mikromeetrilisele ( $10^{-6}$  m) ruumilisele lahutusele) toimuma impulsi kestusele vastava ajalise lahutusega femtosekundi ( $10^{-15}$  s) suurusjärgus. Olgu näitlikustamiseks märgitud, et femtosekund on sekundist umbes samapalju lühem, kui seebimullikile paksus Maa ja Kuu vahekaugusest.

Käesoleval juhul on mõõdetavaks optiliseks elemendiks ringsümmeetrilised difraktsioonivõred (vt joonis 1), mida oleme uurinud SEA TADPOLE meetodiga [1]. Sellised võred tekitavad impulssvalgustuse režiimis mittedifrageeruva lainevälja. Joonisel 2 võib näha ringvõrede taga tekkivat difraktsioonipildi läbilõiget ning märgata difraktsiooni järkudest tekkinud interfereeruvaid impulsse. Mida kõrgem järk (sisuliselt nurk, mille all valgus pärast ringvõret levib), seda aeglasem sellest tekkiva impulsi levikukiirus ning tihedam ristsuunaline modulatsioon (heledad ja tumedad alad). Ringvõre kastiprofiilist tingituna tekitavad võre taha vaid paaritud järgud, mida kinnitab kvalitatiivselt ka modulatsioonimustri tiheduse võrdlus erinevate järkude vahel. Mõõtetulemuste valideerimiseks kirjutatud simulatsioonide jaoks kasutati Tartu Ülikooli teadusarvutuste keskuse arvutusressurssi. Mõõtmised viidi läbi Atlantas koostöös Rick Trebino uurimisrühmaga.

## ALGALLIKAS

- [1] M. Lõhmus, P. Bowlan, P. Piksarv, H. Valtna-Lukner, R. Trebino, P. Saari. "Diffraction of ultrashort optical pulses from circularly symmetric binary phase gratings". *Optics Letters*, Vol. 37, Issue 7, pp. 1238-1240 (2012), [www.opticsinfobase.org/ol/abstract.cfm?uri=ol-37-7-1238](http://www.opticsinfobase.org/ol/abstract.cfm?uri=ol-37-7-1238)



# FERROMAGNETILINE RAUDOKSIIDI TINAOKSIIDI NANOOSAKESTEL VÕIMALIKE SPINTROONILISTE RAKENDUSTE TARVIS

---

AILE TAMM

TÜ Füüsika Instituut

Kiirelt magneetuvaid ja nii magnetiliselt kui elektriliselt kiiresti ümberlülituvaid tahkeid materjalikihte on tarvis arendada uuelaadsete suhteliselt väikese energiatarbega ja samas suure tihedusega mälumaterjalide jaoks. Sellistes materjalides võiks salvestada infobitte elektriliselt, rakendades materjalile magnetvälja, või siis ka vastupidi, lugedes elektriliselt polariseeritud magnetmaterjali magneetumust. Peamine on esialgu siiski magnetiline salvestus ja elektriline lugemine... niivõrd kuivõrd võib neid teineteisest üldse eraldada.

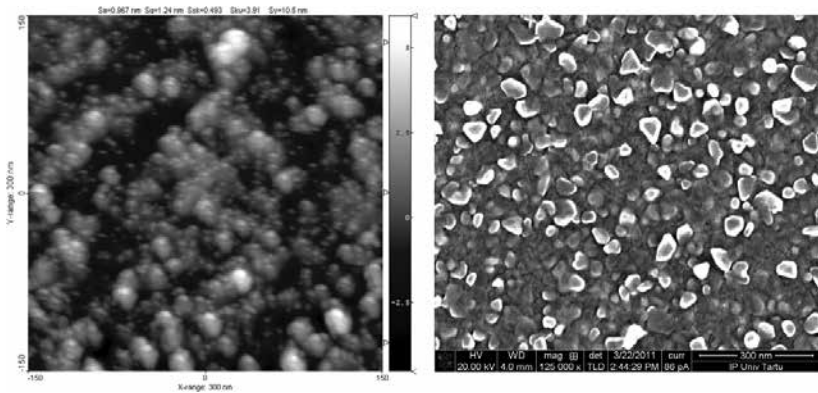
Aatomkihtsadestatud<sup>1</sup> (ALD) ferri- ja ferromagnetiliste õhukeste tahkiskilede sadestamine ja nende füüsikaliste (magnetiliste ja elektriliste) omaduste analüüsi näol on tegemist Eestis täiesti uue valdkonnaga, mis on ka fikseeritud ühe uurimissuunana Eesti Magnetlaboris Eesti Infrastruktuuri ([www.etis.ee/Portaal/infrastruktuur.aspx](http://www.etis.ee/Portaal/infrastruktuur.aspx)) Teekaardil. ALD kiled (sünteesitakse Tartu Ülikooli Füüsika Instituudi ja Helsingi Ülikooli poolt) ja nende kasutamine spinnelektronika (spintroonika) rakendustes on kogu maailmas kiiresti kasvav teadustemaatika. Näiteks õhukeste raudoksiidkilede magneetuvus pole muidugi võrreldav metalsete magnetmaterjalide magneetuvusega, kuid ALD abil tehtud kilede eelis on, et me suudame magnetmaterjali kasvatada suvalise kujuga alustele ja väga ühtlaselt, nanomeetri (nm) täpsusega. Vähesese magneetuvusega materjale mis on valdavalt kasutusel pooljuhtidena ( $\text{HfO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  jne) nimetatakse „lahjadeks magnetmaterjalideks“ (*diluted magnetic materials*).

---

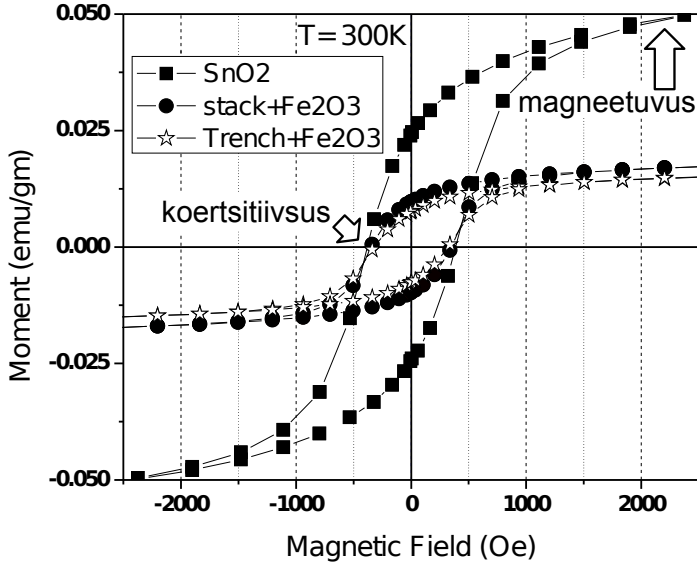
1 [et.wikipedia.org/wiki/Aatomkihtsadestamine](http://et.wikipedia.org/wiki/Aatomkihtsadestamine)

Ajakirjas „Journal of Crystal Growth“ ilmus Tartu Ülikooli Füüsika Instituudi töötajate Aile Tamme, Jekaterina Kozlova, Aleks Aidla, Tanel Tätte, Tõnis Arrovali, Uno Mäeoru, Hugo Mändari, Kaupo Kukli ning Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudi (KBFI) töötajate Mukesh Dimri ja Raivo Sterni koostöös artikkel „Atomic layer deposition of ferromagnetic iron oxide films on three-dimensional substrates with tin oxide nanoparticles“. Artikli teemaks on õhukesed tahkiskihid, mis juba paarikümne nanomeetri paksuse kihina annavad arvestatavat magneetumist. Uurimise all oli raudoksiid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ehk hematii), mis on iseene- sest ka magneetuv materjal, kuid kui õnnestub protsessi käigus saada ka osaliselt  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , mis on tuntud ka magnetiidi nime all, siis on tekkinud kile magneetuvus palju suurem. Artiklis näitasime, et kasutades  $\text{SnO}_2$  nanopalle aluskihina raudoksiidi all, hakkas eelistatult kasvama hoopis magnetiit. Muidugi ei saanud me kasvatada puhast magnetiiti, kuid protsessitingimused nähtavasti võimaldasid selle teket lisaks peamisele raudoksiidi faasile.

Põhjuseid selleks, miks meil tekkis parem magnetmaterjal kui tavali- ne  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , oli ilmselt mitu. Esiteks muidugi see, et väikesed kristalliidid aluspinnal suurendasid oluliselt aluspinna suurust (karedust), tekitades nukleatsioonitsentreid (joonis 1), mis on olulised kile kasvamise alus- tamiseks. Samuti aitas magnetiidi kasvu tekitada tinaoksiid, tänu oma +3 oksüdatsiooniastmele (elektronide vakantsile) kerge ebastabiilsuse pinnal, mistõttu muutus  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  tekkimine eelistatumaks.



Joonis 1. Aatomjõumikroskoobi (AFM) pilt  $\text{SnO}_2$  nanopallidest, kus väikesed ja küllaltki ühesuurused pallid katavad aluse üsna ühtlaselt (vasakul). Skaneeriva elektronmikroskoobi (SEM) pilt raudoksiidist lahutusega 300 nm näitab, et kile pind pole enam üldse väga tasane, vaid pigem on tekkinud pinnast eemalduvad osakesed (paremal).



Joonis 2. Magneetumist iseloomustavad kõverad SnO<sub>2</sub> osakestega planaarse tahkiskihi jaoks (ruudud) ja 3-dimensionaalsetele alustele kasvatatud tahkiskihtide kohta (tähed ja ringid). Pilt algallikast.

Materjali magneetumist mõõdeti vibreeriva prooviga magnetomeetriga (*vibrating sample magnetometer, VSM*). Mõõdetud kõver iseloomustab aine magneetuvuse sõltuvust välisest magnetväljast (joonis 2). Graafikult saab teada planaarsele paarikümne nm paksusele tahkiskihile iseloomuliku küllastusmagneetuvuse, jääkmagneetuvuse, ja ka koertsitiivsuse.

## ALGALLIKAS

- [1] Aile Tamm, Mukesh Dimri, Jekaterina Kozlova, Aleks Aidla, Tanel Tätte, Tõnis Arroval, Uno Mäeorg, Hugo Mändar, Raivo Stern, Kaupo Kukli. Atomic layer deposition of ferromagnetic iron oxide films on three-dimensional substrates with tin oxide nanoparticles. *Journal of Crystal Growth* 343 (2012) 21–27.

# POOLJUHTMATERJALIDEST NANOTRAATIDE MEHAANILISED JA TRIBOLOOGILISED OMADUSED

---

**BORIS POLYAKOV<sup>1,2,3</sup>, SERGEI VLASSOV<sup>1,2</sup>,  
LEONID DOROGIN<sup>1,2</sup>, MIKK ANTSOV<sup>1,2</sup>,  
ANDREJS PETRUHINS<sup>3</sup>, ILMAR KINK<sup>1,2</sup>,  
ALEXEY ROMANOV<sup>1,4</sup>, RÜNNO LÕHMUS<sup>1,2</sup>**

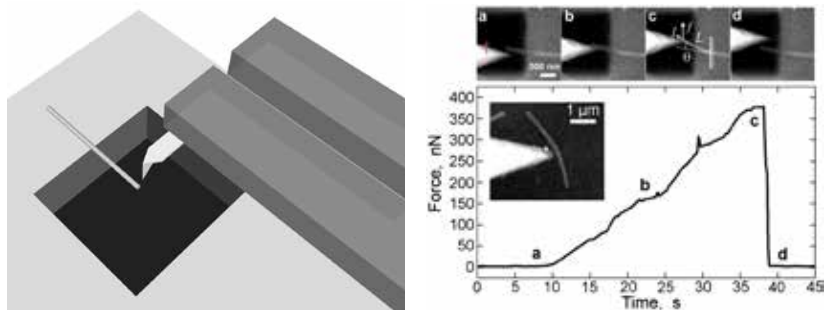
<sup>1</sup>TÜ Füüsika Instituut, <sup>2</sup>Eesti Nanotehnoloogiarenduskeskuse AS,  
<sup>3</sup>Läti Ülikooli Tahkisefüüsika Instituut,  
<sup>4</sup>Venemaa TA Joffe nim Füüsika-Tehnika Instituut

Pooljuhtmaterjalidest nanotraate (ülipreenikesed traadid, mille diameeter ei ületa 100 nanomeetrit) peetakse tulevikutehnoloogiates väga olulisteks materjalideks. Tänu nende väikestele mõõtudele on nanotraatidel väga erilised mehaanilised ja elektrilised omadused, mis teevad võimalikuks nende kasutamise nanoelektromehaanilistes rakendustes (NEMS<sup>1</sup>). Üliväikeste mõõtmete tõttu ei kehti selliste „nanoseadmete“ konstrueerimisel enamik klassikalisi füüsika- ja materjaliteaduse seaduseid. Kui hakkame vähendama klassikaliselt lihtsa elektromehaanilise seadme, nagu näiteks relee, mõõtmeid makroskaalast nanoskaalasse, siis üli-suure „nakke“ tõttu muutub elektriliste kontaktide omavaheline eraldamine võimatuks. Seega on ülioluline mõõta ja analüüsida nanoskaalas süsteemide erinevaid parameetreid individuaalselt. Nanomõõtmeliste struktuuride positsioneerimine ja karakteriseerimine on kompleksne ja keeruline väljakutse hoolimata näivast lihtsusest. Siinkohal annabki üksikute nanotraatide omaduste uurimine nende ümberpaigutamisel olulist informatsiooni, mis on väga vajalik edasistes nanotehnoloogilistes rakendustes.

Käesolevas töös on uuritud pooljuhtmaterjalidest nanotraatide mehaanilisi ja hõõrdeomadusi, mis on hädavajalikud nanomõõtmeliste

---

1 [en.wikipedia.org/wiki/Nanoelectromechanical\\_systems](https://en.wikipedia.org/wiki/Nanoelectromechanical_systems)



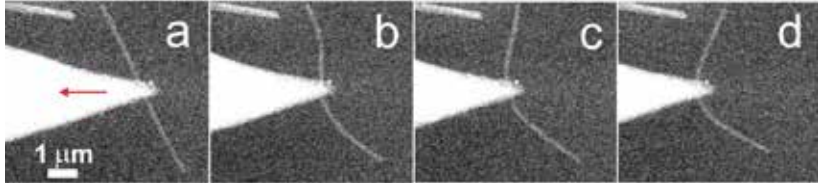
Joonis 1. Youngi mooduli mõõtmine osaliselt fikseeritud ZnO nanotraadi korral SEM mõõtekambris.

seadmete liikuvate osade valmistamiseks ja nende korrektseks toimimiseks. Erinevate omaduste mõõtmiseks oleme võtnud kasutusele skaneeriva elektronmikroskoobi sees paikneva nanomanipulatsiooni tehnoloogia, kus on XYZ suunas liikuv nanopositsioneer ning mis on varustatud originaalse jõusensoriga [1]. Selline eksperimentaalse võimaldab visuaalselt jälgida nanostruktuuride ümberpositsioneerimist koos samaaegse jõu mõõtmisega.

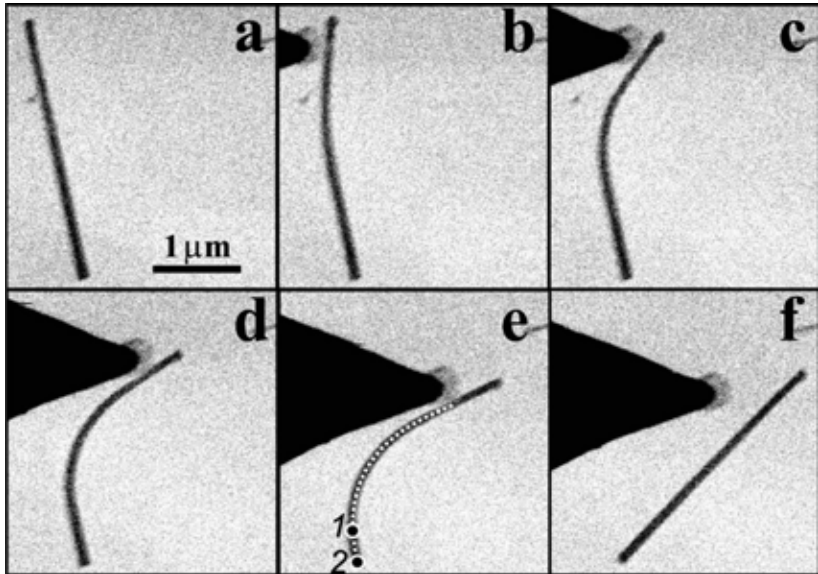
Näiteks määrasime *Youngi mooduli*<sup>2</sup> väärtuse paigutades nanotraadi osaliselt üle aluse serva ja painutades selle vaba osa terava teraviku abil. Painutamiseks samaaegselt registreerisime omavalmistatud sensorit kasutades selleks kuluvat jõudu (joonis 1) [2]. Mõõtmised näitasid, et nanotraadid on sama materjali makroskaalas objektidega võrreldes palju jäigemad. Samas tuleb arvesse võtta, et tulemuste hajuvus on nanotraatide korral palju suurem kui makroskaalas, kuna nanomõõtmetes on materjalisesed defektid juhuslikumat laadi.

Lisaks eelnevale arvutasime siledal ränialusel asuva nanotraadi staaatilise ja kineetilise hõõrdeteguri väärtused kasutades algandmeteks paindes nanotraadi profiili [3]. Kineetilise hõõrdeteguri määramiseks lohistasime nanotraadi keskpunkti ühtlaselt ristsuunas (sarnaselt saaks üksikut spagetti kahvli otsaga painutada ja liigutada). Joonisel 2 on toodud eksperimentaalsed pildid nanotraadi lohistamisel tekkinud kaarjast kujust, mis on määratud elastsus- ja hõõrdejõu omavahelisest tasakaalust. Kaare raadiust kasutades on võimalik välja arvutada kineetilise hõõrdeteguri väärtus konkreetse nanotraadi jaoks.

<sup>2</sup> en.wikipedia.org/wiki/Young's\_modulus

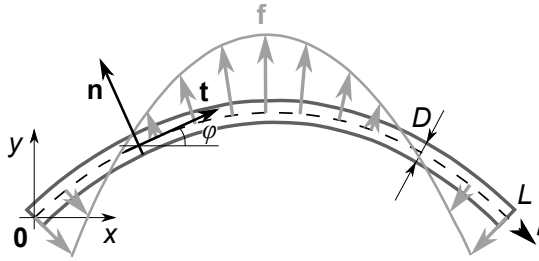


Joonis 2. Skaneeriva elektronmikroskoobi kujutus nanotraadi profiilist manipuleerimise eksperimentis. Teravik on puutes nanotraadiga ja nool näitab manipuleerimise suunda (a); osaliselt ümberpositsioneeritud nanotraat (b); täielikult nihutatud nanotraat (c); löplik karakterne kuju (d).

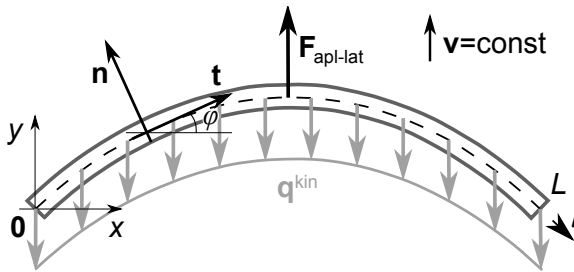


Joonis 3. Räni pinnal asetseva ZnO nanotraadi maksimaalse hõõrdeteguri määramine. Näidatud on SEM pildid, kus nanotraadi ühte otsa painutatakse AFM teravikuga ja osa nanotraadist jääb „nakkesse“ alusega.

Staatilise hõõrdeteguri arvutamiseks painutasime nanotraati elast-selt ja vaatlusime paindeolekut. Staatilise hõõrde maksimaalväärtuse saamiseks lükkasime pinnal asetsevat nanotraati ühest otsast kuni selle täieliku ümberpaiknemiseni. Paigale jääva nanotraadi osa staatilise hõõrde maksimaalväärtuse arvutasime paindeprofiilist, mille traat saavutas vahetult enne ümberpaiknemist [4] (joonis 3).



Joonis 4. Skeemil on näidatud tasapinnal paindes olev nanotraat pikkusega  $L$  ja läbimõõduga  $D$  ning lateraalsete jõu  $f$  jaotus.



Joonis 5. Keskpunktist jõuga  $F_{\text{apl-lat}}$  lükatud nanotraadi (pikkus  $L$ ) kineetilise hõõrdejõu  $q^{\text{kin}}$  jaotus.

Üheks kõige olulisemaks nanomanipulatsiooni eksperimentide tulemuseks on, et erinevalt makroskaalast, sõltub nanoskaalas hõõrdumine väga palju kontaktis olevast pinnast ja pinna karedusest [5].

Arvutusmudelites kasutasime *elastete varraste teooriat*<sup>3</sup>, mille kohaselt nanotraati mõjutavad välised hõõrde- ja elastsusjõud on omavahel tasakaalus (joonised 4 ja 5).

Meie eksperimendid ja tulemused on andnud panuse nii nanomõõtmeliste objektide interaktsioonide ja käitumiste paremaks fundamentaalseks mõistmiseks kui ka arendanud uudset mõõtetehnoloogiat, mõõtetehnoloogiat saab edukalt kasutada ka teiste ühemõõtmeliste struktuuride uurimiseks (näiteks nanotorud).

Mesosüsteemide tippkeskuse projekti toetab Euroopa Liit läbi Euroopa Regionaalarengu Fondi.

3 [en.wikipedia.org/wiki/Euler-Bernoulli\\_beam\\_theory](http://en.wikipedia.org/wiki/Euler-Bernoulli_beam_theory)

**ALGALLIKAD**

- [1] Vlassov, Sergei; Polyakov, Boris; Dorogin, Leonid; Lõhmus, Ants; Romanov, Alexey; Kink, Ilmar; Gnecco, Enrico; Lõhmus, Rünno (2011). Real-time manipulation of gold nanoparticles inside a scanning electron microscope. *Solid State Communications*, 151(9), 688 – 692.
- [2] Polyakov, Boris; Dorogin, Leonid; Vlassov, Sergei; Kink, Ilmar; Lõhmus, Ants; Romanov, Alexey; Lõhmus, Rünno (2011). Real-time measurements of sliding friction and elastic properties of ZnO nanowires inside a scanning electron microscope. *Solid State Communications*, 151(18), 1244 – 1247.
- [3] Dorogin, Leonid; Polyakov, Boris; Petruhins, Andrejs; Vlassov, Sergei; Lõhmus, Rünno; Kink, Ilmar; Romanov, Alexey (2012). Modeling of kinetic and static friction between an elastically bent nanowire and a flat surface. *Journal of Materials Research*, 27(3), 580–585.
- [4] Polyakov, Boris; Dorogin, Leonid M.; Vlassov, Sergei; Kink, Ilmar; Romanov, Alexey E.; Lõhmus, Rünno (2012). Simultaneous measurement of static and kinetic friction of ZnO nanowires in situ with a scanning electron microscope. *Micron*, 43(11), 1140–1146.
- [5] Polyakov, Boris; Vlassov, Sergei; Dorogin, Leonid; Kulis, Peteris; Kink, Ilmar; Lõhmus, Rünno (2012). The effect of substrate roughness on the static friction of CuO nanowires. *Surface Science*, 606(17-18), 1393 – 1399.



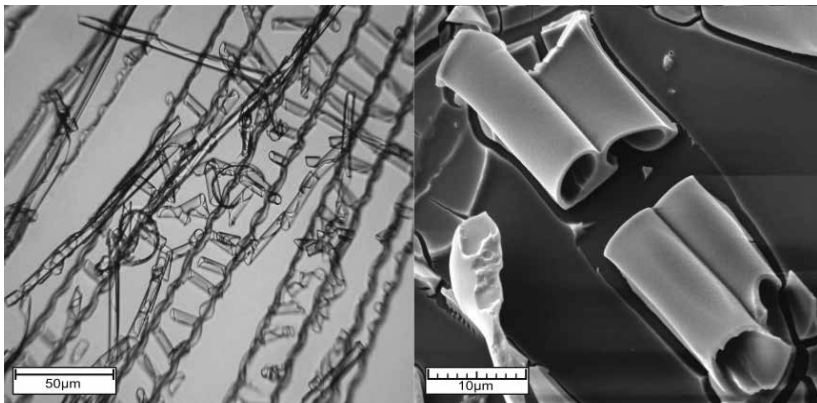
# MIKS MÕNED PRAOD JUST NII KULGEVAD?

**JAKOB JÕGI, MARTIN JÄRVEKÜLG**

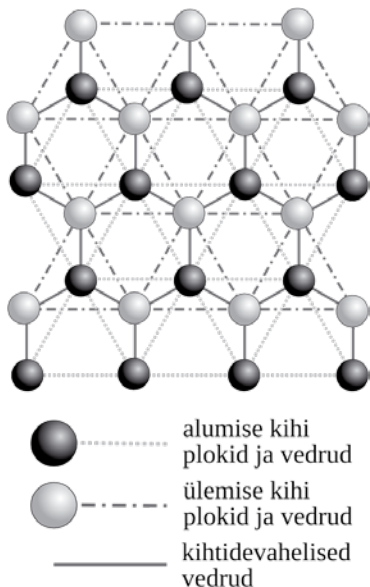
TÜ Füüsika Instituut

Materjalide pragunemine on protsess, mida võib märgata praktiliselt kõikjal meie ümber: klaasi purunemine mehaanilise pinge tõttu, puidu ja muda pragunemine kuivamisel, laava mõranemine jahtumisel. Tegemist on keeruka nähtusega, mis sõltub nii materjalide omadustest, struktuurist kui ka pragunemise mehhanismist.

Metallide (Hf, Zr, Ti) alkoksiidide geelkile [1] omapärase pragunemise ja rullumise nähtuse avastas 2005. aastal bakalaureusetöö [2] raames katseid teinud Martin Järvekülg. Viskoosel alusel moodustunud mõnesaja nanomeetri paksuse geelkile pragunemise järel moodustuvad kilfragmentidest iseorganiseerunult toruks rullunud struktuurid (joonis 1). Saadud oksiidmaterjalid on kõvad, keemiliselt inertsed, head elektri- ja soojusisolaatorid, bioühilduvad ( $\text{TiO}_2$ ); ning seetõttu potentsiaalselt rakendatavad nii lõiketerade ja biomaterjalide kui ka kosmosesüstiku osade valmistamiseks.



Joonis 1. Moodustuvad rullstruktuurid läbi optilise mikroskoobi (vasakul) ja skanniva elektronmikroskoobi (paremal).



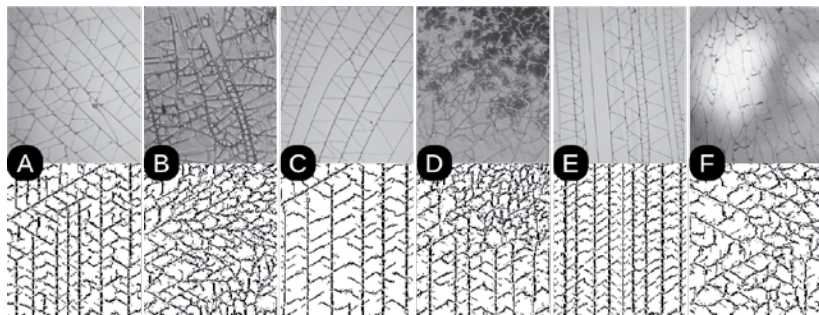
Joonis 2. Kasutatud kahekihilise vedru-plokk mudeli skeem.

mudel, joonis 2). Seejuures iga plokk koosneb paljudest aatomitest (ploki karakteristik mõõt on ligikaudu pool kile paksusest ehk ~200 nm). Mittehomogeense kokkutõmbumise kirjeldamiseks on vedrude parameetrid kummalgi kihil ja kihtide vahel erinevad. Igal vedrul on etteantud vahemikust valitud juhuslik katkemisjõud – kui elastsusjõud vedrus ületab selle, loetakse vedru katkenuks. Vedrude (st simulatsiooni-) ja eksperimentiparameetrite vahel on leitud loogilised seosed (täpsemalt vt [3]).

Sobivate parameetrite valikuga õnnestus saavutada kõik eksperimentid nähtud karakteristiklikud pragunemismustrid (vt joonis 3), samuti õnnestus reprodutseerida moodustunud kilefragmentide rullumine.

Selline toimiv mudel aitab geelkile pragunemist ja tekkivate fragmentide rullumist paremini mõista ning aitab oluliselt kaasa sobiva valmistehnoloogia väljatöötamisele, kuna loodud mudel kirjeldab otseselt tekkivate torujate mikrostruktuuride dimensioone. Paralleelselt modelleerimisega uuriti eksperimentaalselt ka tekkiva geelkile paksuse ning moodustuvate mikrotorude raadiuse sõltuvust erinevatest parameetri-

Modelleerimise seisukohast on geelkile pragunemine väljakutsuv, kuna lisaks kuivamisele toimuvad materjalis ka keemilised muutused (mis omakorda mõjutavad kuivamise kiirust) ning erinevalt varasematest pragunemistöödest on pragunev kile seotud alusega läbi viskoosse vahekihi (ei ole jäigalt fikseeritud ega ka päris vaba). Pragude tekkimise taga on moodustuva geelkile mittehomogeenne kokkutõmbumine – seda kinnitab ka kilefragmentide rullumine hilisemas faasis. Minimaalne mudel, mis võtab arvesse geelprotsesside omapära, koosneb kahest kolmnurkselt pakendatud plokkide kihist, kus plokid on lähimate naabritega vedrudega ühendatud (nn vedru-plokk



Joonis 3. Erinevatest parameetritest tingitud pragunemismustrid (ülemisel real eksperimenti-, alumisel simulatsioonipildid): A/B – madala/kõrge eelpolümeerisatsiooniastme korral; C/D – aeglasel/kiirel kuivatamisel; E/F – homogeenisel/ultrahelist tingitud mittehomogeensel juhul (täpsemalt vt [1]).

test [4]. Saadud tulemused näitavad, et sarnaselt pragunemisele alluvad kile paksus ning rullstruktuuri raadius selgetele seaduspärasustele ning on läbi eksperimentidiparameetrite ka kontrollitavad.

## ALGALLIKAD

- [1] [www.materjalimaailm.ee/sool-geel\\_materjalid](http://www.materjalimaailm.ee/sool-geel_materjalid)
- [2] Martin Järvekülg. Madaladimensiooniliste optiliste materjalide valmistamine sool-geel meetodil. Bakalaureusetöö, Tartu Ülikool, 2005.
- [3] Jakob Jõgi, Martin Järvekülg, Jaan Kalda, Aigi Salundi, Valter Reedo, Ants Lõhmus. Simulation of cracking of metal alkoxide gel film formed on viscous precursor layer using a spring-block model. *EPL - A Letters Journal Exploring the Frontiers of Physics*, 95(6) (2011) pp. 64005-p1–64005-p6.
- [4] Martin Järvekülg, Raul Välbe, Jakob Jõgi, Aigi Salundi, Triin Kangur, Valter Reedo, Jaan Kalda, Uno Mäeorg, Ants Lõhmus, Alexey E. Romanov. A sol-gel approach to self-formation of microtubular structures from metal alkoxide gel films. *Physica Status Solidi A* (2012), 209(12), 2481-2486.

# KATSETADES IOONSETE VEDELIKEGA, ARVESTA, ET KLAASANUM VÕIB TULEMUSTESSE LISADA KA „MÄEKRIKSTALLE“

---

**RAUL VÄLBE**

TÜ Füüsika Instituut

Ioonised vedelikud (IL) on madala sulamistäpiga ioonidest koosnevad vedelad soolad<sup>1</sup>. IL-id on leidnud kasutust paljudes rakendustes tänu suurepärasele omadustele nagu hea elektrijuhtivus, praktiliselt puuduv aururõhk ning keskkonnasõbralikkus [1].

Viimastel aastatel on teatud ioonsete vedelike stabiilsus ja ohutus keskkonna suhtes olnud uurimuse keskmes ning paljud seni kehtinud väited on sattunud küsimärgi alla [2].

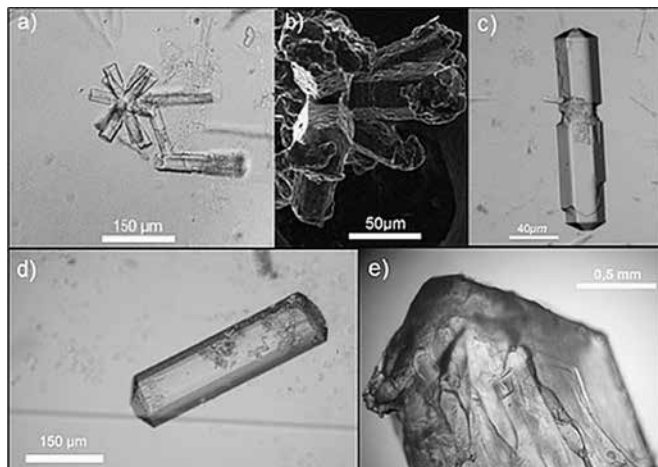
Oma eksperimentides IL-idega kasutasime klaasanumaid, teades, et kõikjal säilitatakse ja transporditakse IL-e samast materjalist taaras. Eksperimenteerides erineva kontsentratsiooniga IL-vesilahustega selgus, et nädalate-kuude jooksul toatemperatuuril IL laguneb, tekib sade – kristallid, kuid nagu peagi selgus, ei olnud meil tegu kristallidega klasikalises mõttes.

Optiliste mikroskoobikujutiste järgi oli sarnasus mäekristalliga ilmne ja võis arvata, et meil on tegemist korrapäraste homogeensete heksagonaalsete kristallidega (joonis 1). Üllatus saabus kristalli mehhaanilisel lõhestamisel, mis lihtsalt haamrilöögi mõjul vajusid kokku. Abinõuna selle vastu kuumutati kristallid 100° C-ni ning jahutati järsult maha vedela lämmastiku temperatuurini.

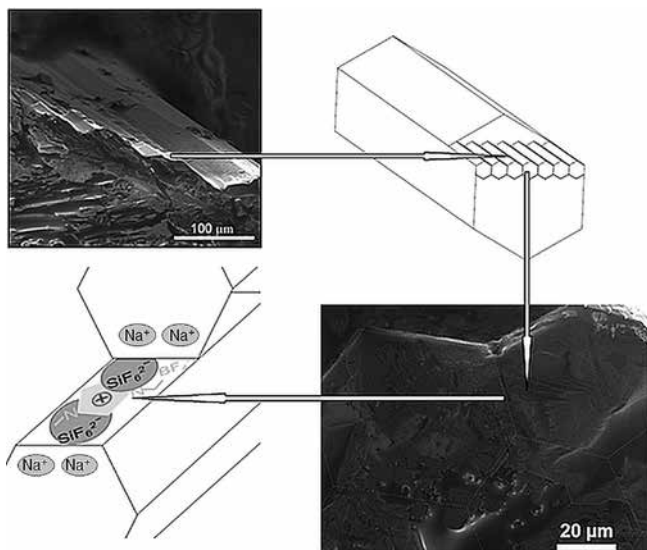
Selline termineline šokk lõhestas kristallid. Suure lahutusega elektronmikroskoobiga vaadeldes selgus, et mõnemillimeetrise pikkusega heksagonaalsed kristallid koosnevad tegelikult väikestest kristalliitidest.

---

1 [en.wikipedia.org/wiki/Ionic\\_liquid](https://en.wikipedia.org/wiki/Ionic_liquid)



Joonis 1. Erineva kuju ja mõõtmetega heksagonaalsed kristallid.



Joonis 2. Skaneeriva elektronmikroskoobi pildid mehaaniliselt lõhestatud kristallidest, ning hüpotees klasterstruktuuri kohta.

Asja olemuse selgitamiseks rakendasime infrapunaspektroskoopia<sup>2</sup>, massispektroskoopia<sup>3</sup>, Raman-spektroskoopia<sup>4</sup>, termogravimeetria<sup>5</sup> ning röntgenspektroskoopia<sup>6</sup> meetodeid püstitades hüpoteesi uudsetest hübriidkristallidest. Liitstruktuure kirjeldasime elektrostaatilise interaktsiooni mudeliga, kus negatiivselt laetud fluori aatomid interakteeruvad IL-i imidasooliumi positiivselt laetud ioonidega (joonis 2). Sellest järeldame, et just IL on siduvaks jõuks selliste struktuuride kokku kasvamisel liitkristalliks [3]. Elementanalüüs näitas, et meil on tegemist Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> ja ioonvedeliku kihilise hübriidkristalliga.

See nähtus on huvitav eeskätt oma uudsete tunnetuslike väärtuste poolest, olles ühtlasi hoiatuseks, et ka lühemaajalised katsed võivad olla häiritud ioonvedeliku reaktsioonidest klaasanumaga. Sellisel kahekomponendilisel materjalil loodame leida uudseid rakendusi, tänu elektrit juhtivale ioonsele vedelikule naatriumheksafluorosilikaadi kristalliitide vahel.

## ALGALLIKAD

- [1] M. Freemantle. *An Introduction to Ionic Liquids*. Royal Society of Chemistry Cambridge, (2009).
- [2] A. W. Taylor, K. R. J. Lovelock, R. G. Jones, P. Licence. Borane-substituted imidazol-2-ylidenes: syntheses in vacuo. *Dalton Trans.* 40 1463 (2011).
- [3] R. Välbe, U. Mäeorg, A. Lõhmus, V. Reedo, M. Koel, A. Krumme, V. Kessler, A. Hoop A. E. Romanov. A novel route of synthesis of sodium hexafluorosilicate two component cluster crystals using BF<sub>4</sub><sup>-</sup> containing ionic liquids. *Journal of Crystal Growth* 361, 51–56 (2012).

---

2 [en.wikipedia.org/wiki/Infrared\\_spectroscopy](http://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_spectroscopy)

3 [en.wikipedia.org/wiki/Mass\\_spectrometry](http://en.wikipedia.org/wiki/Mass_spectrometry)

4 [en.wikipedia.org/wiki/Raman\\_spectroscopy](http://en.wikipedia.org/wiki/Raman_spectroscopy)

5 [en.wikipedia.org/wiki/Thermogravimetric\\_analysis](http://en.wikipedia.org/wiki/Thermogravimetric_analysis)

6 [en.wikipedia.org/wiki/X-ray\\_spectroscopy](http://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_spectroscopy)

# KIRAALSUS JA SPINNLAINED

**URMAS NAGEL, TOOMAS RÕÕM**

Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut

Ajakirja *Nature Physics* 2012. a oktoobrikuu numbri kaanel on avaldatud pilt magnetilise aine kristallvõrest, kus KBFI teadlaste Urmas Nageli ja Toomas Rõõmu osavõtul avastati, et elektromagnetkiirguse neeldumisel spinnlainetel avaldub magnetilise struktuuri kiraalsus<sup>1</sup>. Avaldatud töös [1] näidati, et  $\text{Ba}_2\text{CoGe}_2\text{O}_7$  kristallile teatavates suundades magnetvälja rakendamisel sõltub terahertsikiirguse<sup>2</sup> neeldumine sellest, kas valgus levib piki magnetvälja või sellele vastu: ühel juhul neeldub kõik, teisel juhul peaaegu mitte midagi. Selline nähtus on võimalik, kui spinnlainetel on tugev vastasmõju polarisatsioonilainetega ning magnetiline struktuur on kiraalne.

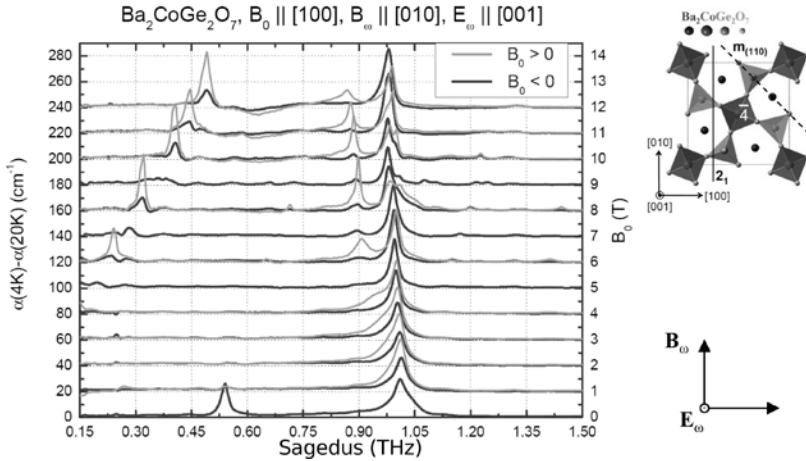
Aine kiraalsust saab määrata, mõõtes erinevust paremale ja vasakule ringpolariseeritud valguse neeldumises, sest ringpolariseeritud valgus on samuti kiraalne.

Elektromagnetkiirgusel on ka teist tüüpi kiraalsus. Nimelt moodustavad, vastavalt Maxwelli võrranditele, kolm valgust iseloomustavat vektorit (valguse leviku suuna, elektrivälja komponendi ja magnetvälja komponendi vektorid) parema käe kolmiku. Kui muuta valguse leviku suund vastupidiseks, siis peab ka üks elektromagnetvälja komponentidest suuna muutma.

Valguse elektriline komponent on vastasmõjus aine laengutega ja magnetiline komponent vastasmõjus aine magnetmomentidega. Tavaliselt liiguvad laengud ja magnetmomentid aines sõltumatult ning elektromagnetkiirguse neeldumine toimub kas vastasmõjust laengutega, tüüpiliselt nähtavas piirkonnas, või vastasmõjust magnetmomentidega raadio ja mikrolainete sageduspiirkonnas. Uued nähtused ilmnevad, kui laengud ja magnetmomentid ei liigu teineteisest sõltumatult

1 Kiraalsel objektil on kaks vormi, mis teisenevad teineteiseks peegeldamisel, näiteks nagu parema ja vasaku käe keermega kruvid, vt [et.wikipedia.org/wiki/Kiraalsus](http://et.wikipedia.org/wiki/Kiraalsus).

2 Terahertsikiirguseks nimetatakse umbes  $1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$  sagedusega elektromagnetkiirgust, mille lainepikkus asub infrapunase kiirguse ja raadiosageduskiirguse kokkupuutekohas, vt [en.wikipedia.org/wiki/THz](http://en.wikipedia.org/wiki/THz).



Joonis 1. Spinnlainete neeldumisspektrid erinevates magnetväljades ( $B_0$ ). Halliga on spektrid, kus THz valgus levib magnetvälja vektori suunas,  $E_0$  ja  $B_0$  on valguse elektri- ja magnetvälja vektorite suunad. Spektrid on vertikaalsuunas nihutatud. Üleval paremal on kujutatud  $Ba_2CoGe_2O_7$  kristallvõret koos sümmeetriaelementidega.

ning magnetmomendid moodustavad kiraalse sümmeetriaga objekti. Näiteks  $Ba_2CoGe_2O_7$  kristallis levivate (hübriidiseeritud Co ja O elektronide laengute) polarisatsioonilainete ja spinnlainete (Co magnetmomentide) vahel on vastasmõju põhjustajaks multiferroidsus<sup>3</sup>. Ajakirja *Nature Physics* oktoobrikuu numbris kirjeldatakse, kuidas selles aines THz piirkonnas ilmneb tugev magnetiline kiraalne dikroism: lineaarselt polariseeritud valguse neeldumine on erinev sõltuvalt valguse leviku suunast välise magnetvälja suhtes. Välise magnetvälja osaks on anda ette aine elektrilise polarisatsiooni ja magneetuvuse vahekord; elektromagnetlainel sõltub elektrilise ja magnetilise komponendi vahekord valguse leviku suunast. Seega THz-kiirguse levikul ühes suunas on faasivahekord sobiv, et ergastada hübriidisatsioonilaineid aines ning kiirgus neeldub, kuid leviku suuna muutmisel faasivahekord muutub ning neeldumist ei ole (joonis 1).

3 Multiferroidsed on ained, millel on samaaegselt rohkem kui üks ferroidne omadus: ferromagnetism, ferroelektrilisus, ferroelastus või ferrotoroidsus. Need omadused on seotud aine sümmeetriaga ruumi- ja ajainversiooni suhtes, vt [en.wikipedia.org/wiki/Multiferroic](http://en.wikipedia.org/wiki/Multiferroic).



## **ALGALLIKAS**

- [1] Bordacs, Sandor; Kezsmarki, Istvan; Szaller, David; Demko, Laszlo; Kida, Noriaki; Murakawa, Hiroshi; Onose, Yoshinori; Shimano, Ryo; Rõõm, Toomas; Nagel, Urmaz; Miyahara, Shin; Furukawa, Nobuo; Tokura, Yoshinori. "Chirality of Matter Shows Up via Spin Excitations". *Nature Physics*, vol.8, 734–738 (2012), [www.nature.com/nphys/journal/v8/n10/full/nphys2387.html](http://www.nature.com/nphys/journal/v8/n10/full/nphys2387.html) (artikli algne versioon on vabalt kättesaadav [arxiv.org/pdf/1109.1597v1.pdf](http://arxiv.org/pdf/1109.1597v1.pdf)).

# UNIVERSUMI TUMEAININE JÄLJED KOSMOSETELESKOOP FERMI ANDMETES\*

---

**ELMO TEMPEL**

Tartu Observatoorium

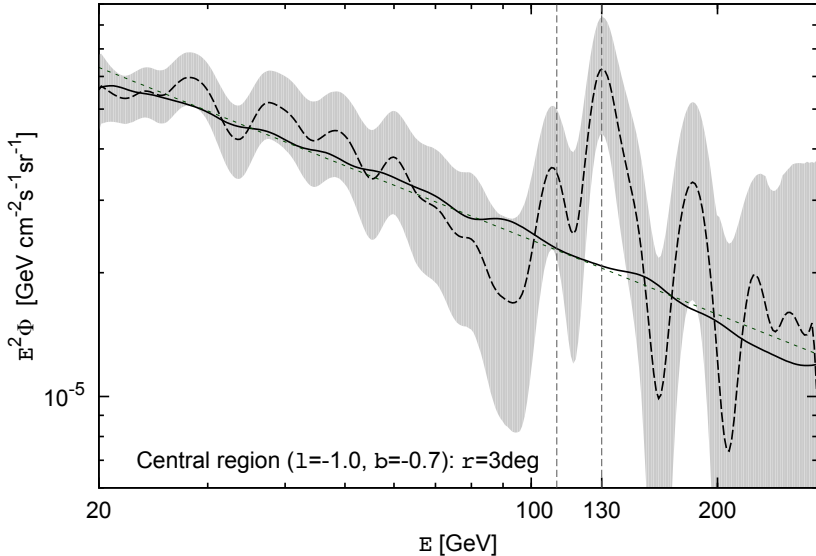
Juba mitukümmend aastat on teada fakt, et Universumis domineerib tumeaine, mida on viis korda rohkem kui tavalist ainet. Astronoomilistest vaatlustest on teada paljud tumeaine omadused, kuid selle päritolust ei ole füüsikutele mingit informatsiooni. Universumi tumeaine jälgi elementaarosakestefüüsika ja kosmoloogia eksperimentides on otsitud kümneid aastaid, kahjuks edutult. Elmo Tempel koostöös Martti Raidali ja Andi Hektoriga KBFist analüüsisid kosmoseteleskoop Fermi andmeid ning leidsid sealt tõenäoliselt esimesi vihjeid tumeaine päritolu kohta.

Kosmoseteleskoop Fermi on tänapäeval kõige moodsam gammakiirguse teleskoop, mille peamine ülesanne on kaardistada kogu taevas. Teleskoop on taevast kaardistanud juba üle nelja aasta ning selle aja jooksul on kogunenud kriitiline kogus andmeid uurimaks kõrgel energial gammakiirguse spektrit. Fermi andmeid kasutades avastatigi 2012. aasta kevadel Linnutee tsentrit ümbritsevast piirkonnast üks „veider“ signaal: üldiselt siledas kosmilise gammakiirguse spektris on nähtav suhteliselt terav maksimum. Sellist teravat maksimumi, mille energia on umbes 130 GeV, on tavaliste astrofüüsikaliste objektidega väga raske seletada. Samas kui eeldada, et tumeaine on osakestefüüsika päritolu, siis tumeaine annihilatsioon monokromaatseks gammakiirguseks tekitabki spektris sellise terava tipu.

Uurimuse autorid, Elmo Tempel, Martti Raidal ja Andi Hektor, näitasid esimesena, et gamma-joone signaal tuleneb üsna täpselt Galaktika keskmest ning ei ole seotud ühegi varem teadaoleva astronoomilise objektiga nagu näiteks „Fermi mull“<sup>1</sup>. Lisaks Galaktika keskele leidsid autorid samasuguse signaali lähedastest galaktikaparvedest.

---

\* ilmus TO teadusuudiste lehel [www.aai.ee/?page=teadusuudised](http://www.aai.ee/?page=teadusuudised)  
1 [www.nasa.gov/mission\\_pages/GLAST/news/new-structure.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/GLAST/news/new-structure.html)



Joonis 1. Kosmoseteleskoop Fermi gammakiirguse spekter. Peen punktiirjoon tähistab teoreetilist taustkiirgust, must pidevjoon märgib vaadeldud taustkiirgust. Jäme punktiirjoon koos halli alaga näitab Galaktika keskmes mõõdetud gammakiirguse spektrit koos statistiliste vigadega. Vertikaalsed punktiirjooned märgivad 110 ja 130 GeV energiaga maksimumide asukohti.

Kui eeldada, et tegemist on tumeaine annihilatsiooni signaaliga, siis kõige realistlikumad osakestefüüsika mudelid ennustavad kahe lähetikku asuva joone olemasolu. Kui vaadata gamma-joone morfoloogiat lähemalt, siis on tõepoolest näha, et lisaks tugevale 130 GeV joonele on olemas natuke nõrgem 110 GeV joon. Kuna täpselt samasugune joonte dublett on nähtav nii Galaktika keskmes kui galaktikaparvedes, siis kahest sõltumatust kohast leitud täpselt samasugune jaotuse maksimum näitab, et väga suure tõenäosusega signaal pärineb tumeainest.

Kuna statistiliselt ei ole signaali tugevus veel 100% usaldusväärne, siis leidub ka neid, kes antud signaalis kahtlevad ning arvavad, et tegemist on Fermi teleskoobi süstemaatilise veaga. Samas võttes arvesse, et täpselt samasugune signaal on nähtav galaktikaparvedest ja Galaktika keskmest ning ei ole nähtav mujal, on seda väga raske süstemaatilise veaga seletada. Antud küsimus saab tõenäoliselt lahenduse järgmisel suvel, kui Tšerenkovi teleskoop HESS II vaatleb Galaktika keset eesmärgiga antud maksimume kontrollida. Hoolimata sellest, kas antud signaal osutub tõeseks või mitte, on see juba praegu köitnud paljude teadlaste

tähelepanu ning sel teemal on ilmunud juba üle saja teadusartikli.

Tumeaine päritolu küsimus on fundamentaalfüüsika kõige tähtsam küsimus. Fermi mõõtmine võib osutada esimeseks kindlaks signaaliks tumeaine annihilatsioonidest, mis omakorda võimaldab määrata tumeaine päritolu. Kui avastatud gamma-joon osutub esimeseks tumeaine signaaliks osakestefüüsikas, siis ei ole tegu lihtsalt teadussaavutusega – tegu on inimkonna maailmavaadet muutva avastusega.

## ALGALLIKAD

- [1] Tempel, Elmo; Hektor, Andi; Raidal, Martti. Fermi 130 GeV gamma-ray excess and dark matter annihilation in sub-haloes and in the Galactic centre. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, Issue 09, article id. 032 (2012).
- [2] Tempel, Elmo; Hektor, Andi; Raidal, Martti. Addendum: Fermi 130 GeV gamma-ray excess and dark matter annihilation in sub-haloes and in the Galactic centre. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, Issue 11, article id. A01, pp. (2012).
- [3] Hektor, A.; Raidal, M.; Tempel, E. Evidence for Indirect Detection of Dark Matter from Galaxy Clusters in Fermi  $\gamma$ -Ray Data. *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 762, Issue 2, article id. L22, 4 pp. (2013).

# ILUTULESTIK TALVETAEVAS – NOOAJÄÄNUK GK PERSEI<sup>1</sup>

---

TIINA LIIMETS

Tartu Observatoorium

Tiina Liimets, Kristiina Verro ja Indrek Kolka Tartu Observatooriumist koostöös kolleegidega Hispaaniast uurisid GK Persei noovajäänuki struktuuri ja selle muutumist reaajas.

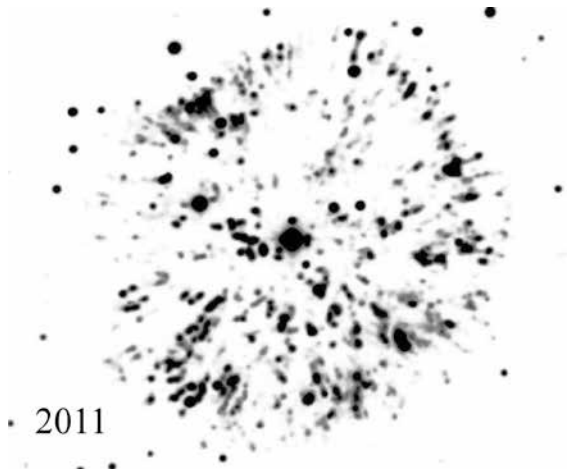
GK Persei on saanud oma poeetilise nime tänu välisele sarnasusele ilutulestikuga. Jäänuk on 1901. aastal plahvatanud suurejoonelise noova tagajärg. Noova oli maksimumis sama hele kui täht Veega meie taevas. Kirjeldatav objekt on eriline ka selle poolest, et tema ümber vaadeldi esimest korda „ülevalguskiirusel“ arenevaid objekte. Paar kuud pärast plahvatust olid noova ümber vaadeldavad helenduvad rõngad, mida alguses peeti väljapaisatud aineks ning mis näisid tsentraalsest tähest eemalduvat valguse kiirusest kiiremini. Hiljem leiti seletus: tegu ei olnud mitte realselt väljapaisatud ainega, vaid noova plahvatuse valgusimpulsi peegeldusega tähtedevaheliselt ainelt ehk valguskajaga.

Noova plahvatuse käigus tegelikult väljapaisatud aine muutus vaadeldavaks 15 aastat hiljem, 1916. aastal. Alates sellest ajast on teda vaadeldud mitmetel lainepikkustel, kasutades nii lai- kui kitsasriba filtreid, sest tegemist on kõige energeetilisema ja heledama noovajäänukiga, mis sarnaneb pigem supernoova jäänukile kui tavalisele noovajäänukile.

GK Persei jäänuki struktuur on filamentaarne, sisaldades mitmesuguse kujuga väiksemaid osasid ehk sõlmekesi, nagu on näha joonisel 1. Objekt asub meile küllaltki lähedal (kaugus 1300 valgusaastat) ning jäänuki ruumiline paisumiskiirus on umbes 1000 km/s. Tänu sellele on tema näiv paisumine taevafääril umbes üks kaaresekund aastas, mis on kergesti mõõdetav maapealsete teleskoopidega isegi paari kuu jooksul. Sellel põhjusel hakkasid käesoleva uurimuse autorid alates 2004. aastast monitoorima GK Persei paisumist taevafääril La Palmal asuva *Isaac Newton Telescope*'iga (INT) kasutades optilisteks vaatlusteks mõeldud kaamerat *Wide Field Camera* (WFC).

---

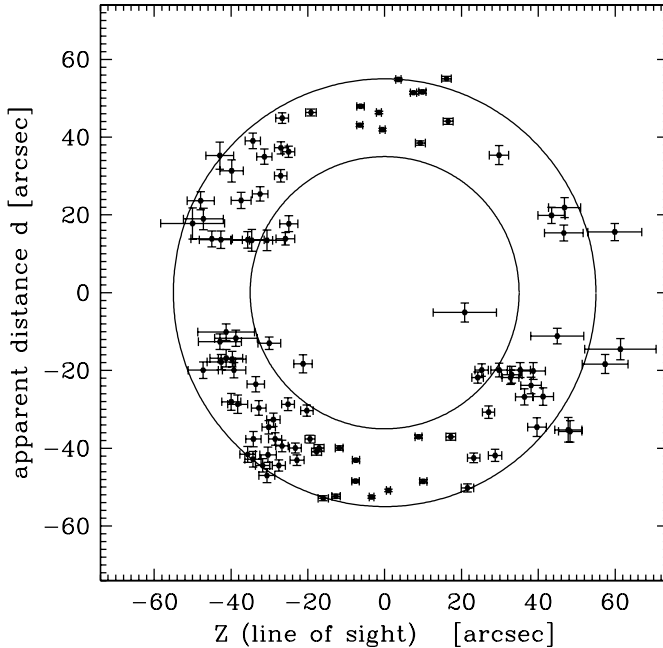
<sup>1</sup> ilmus TO teadusuudiste lehel [www.aai.ee/?page=teadusuudised](http://www.aai.ee/?page=teadusuudised)



Joonis 1. GK Persei näiva paisumise animatsiooni taevafääril optilises lainealas alates 1953. aastast kuni 2011. aastani saab vaadata ajakirja „The Astrophysical Journal“ lehel [iopscience.iop.org/0004-637X/761/1/34/fulltext/apj449162f3\\_video.mpeg](http://iopscience.iop.org/0004-637X/761/1/34/fulltext/apj449162f3_video.mpeg) või YouTube'is [www.youtube.com/watch?v=I7IWANp8LYk](http://www.youtube.com/watch?v=I7IWANp8LYk).

Paisumise animatsioon sisaldab varasemaid vaatlusi fotoplaatidelt ning hilisemaid CCD-kaadreid (tehtud kitsasriba Ha+[NII] filtriga). Kõik kaadrid on ümbritsevate tähtede abil astromeetriliselt kokku sobitatud. Sealjuures on varasemate kaadrite intensiivsused valitud subjektiivselt noovajäänuki paremaks esiletoomiseks, kuid ajas tihedam kaadrite jada, alates 2004. aastast (vaadeldud INT+WFC), on esitatud ühes ja samas intensiivsuste skaalas. Selline esitus võimaldab näha mõnede sõlmekeste eriskummalist heleduse muutust. Vastupidiselt kogu noovajäänuki heleduse sujuvale langusele 2,6% aastas, muutub osade sõlmekeste heledus mitmeid kordi, kas heledamaks või nõrgemaks, paari aasta või isegi mõne kuu jooksul.

Saamaks ruumilist pilti noovajäänukist, oli vaja teada ka noovajäänuki üksikute osade radiaalkiirusi, mida on võimalik mõõta Doppleri nihke kaudu. Selleks tehti spektroskoopilisi vaatlusi kahe teleskoobiga: INT koos spektrograafiga *Intermediate Dispersion Spectrograph* ning *Nordic Optical Telescope* koos instrumendiga *Andalucia Faint Object Spectrograph and Camera*. Kui taevafääril olid mõõdetud kokku 282 sõlmekeste nihkumised, siis nendest 217-l oli võimalik mõõta ka radiaalkiirused. Pannes nimetatud kaks kiirust kokku, konstrueeriti noovajäänuki kolmemõõtmeline vaade ruumis (joonis 2).



Joonis 2. Noovajäänuki GK Persei ruumiline vaade. Z-telg on vaatekiiresuunaline, vaateleja paremal pool. Y-teljel on näiv kaugus tsentraalsest tähest taevaskääril. Graafikul on esitatud 99 noovajäänuki sõlmekese asukoht. Ringid osutavad vastavalt 35 ja 55 kaaresekundit tsentrist.

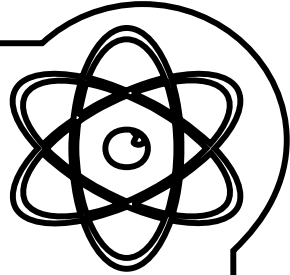
Uurimuse käigus saadi teada, et noovajäänuk on paks osakesterohke sfääriline kiht. Kihi paksus on hetkel umbes pool jäänuki välisest raadiusest. Sõlmede ruumilised paisumiskiirused tsentrist väljapoole võivad olla oluliselt erinevad, enamasti vahemikus 600 ja 1000 km/s. Optilised vaatlused näitavad, et noovajäänuk paisub kõigis suundades ühtlaselt ning on märgata vaid tagasihoidlikku aeglustumist alates tema väljapaikamisest rohkem kui sajand tagasi. See oli ootamatu tulemus, sest eelnevad uurimused raadio- ja röntgenlainelas ennustasid tugevat aeglustumist noovajäänuki kagupiirkonnas tänu vastasmõjule tähtedevahelise ainega. Täpsemalt ennustati, et noovajäänuki kagusektor on oma paisumisega järele jõudnud tähe eelnevas elufaasis väljapaistunud ainele (tähe ümber avastatud bipolaarsele udukogule) ning pidurdub selle tõttu. Käesoleva uurimuse autorid nimetatud aeglustumist ei detekteerinud.

Autorid järeldavad, et noovajäänuk ei ole udukogule järele jõudnud ning seetõttu ka ei toimu pidurdumist. Mineviku massikaost tekkinud lööklaine tõttu on noova ümbruses tähtedevaheline keskkond tühjaks puhutud ning noovajäänuk saab seal segamatult paisuda. See aga ei seleta raadio- ja röntgenlainealas vaadeldud asümmeetrilise kujuga objekti optilises lainealas vaadeldava noovajäänuki asukohas. Kõnealust raadio- ja röntgenkiirgust on võimalik seletada magnetväljast tingitud protsessidega tähtedevahelises aines. Et jälgida noovajäänuki arengut ja saamaks kindlamalt teada, kuidas see ruumis paisub, on vaja objekti vaadelda ka edaspidi erinevatel lainealadel.

## **ALGALLIKAS**

- [1] Liimets, T.; Corradi, R. L. M.; Santander-García, M.; Villaver, E.; Rodríguez-Gil, P.; Verro, K.; Kolka, I. A Three-dimensional View of the Remnant of Nova Persei 1901 (GK Per). *The Astrophysical Journal*, Volume 761, Issue 1, article id. 34, 13 pp. (2012).





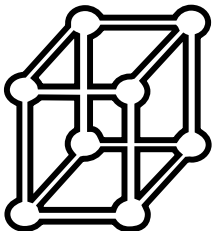
**XLII  
EESTI  
FÜÜSIKAPÄEVAD**

**JA**

**XXXIV  
FÜÜSIKAÕPETAJATE PÄEVAD**

**23. JA 24. MÄRTS 2012**

**TARTUS**



**23.-24. MÄRTS 2012. A**

**TARTUS**

**REEDE, 23. MÄRTS**

**DORPATI KONVERENTSIKESKUS  
(Soola 6)**

|   |       |
|---|-------|
| Tervitused .....  | 10:00 |
| EFS preemiade kätteandmine, laureaadi ettekanne   |       |
| <b>Mario Kadastik</b> (KBFI)  |       |
| Higgsi bosoni otsingud .....  | 10:10 |
| <i>Kohvipaus</i> .....  | 11:40 |
| <b>Elmo Tempel</b> (TO)   |       |
| Nobelleeritud supernoovad ja tumeenergia .....  | 12:00 |
| <b>Arved Sapar</b> (TO)   |       |
| Alternatiiv tumeda kosmoloogia paradigmale .....  | 12:25 |
| <b>Laur Järv</b> (TÜ FI)  |       |
| Einsteini üldrelatiivsusteooria laiendused ja parametrizeeritud<br>post-Friedmanni formalismi loomine kosmoloogias .....              | 12:50 |
| <i>Lõuna</i> .....  | 13:20 |
| <b>Raivo Tamkivi</b> (Tallinna Teaduspark Tehnopol)   |       |
| Eesti teadusargid ja füüsika roll nende arengus .....   | 14:20 |
| <b>Nikolay Voznesenskiy</b> (VTT-NTM OÜ)  |       |
| High accuracy interferometer for optical testing based<br>on diffraction etalon .....   | 14:40 |
| <b>Martin Neerot</b> (TÜ)   |       |
| EstCube-2 missioon QB50 nanosatelliitide võrgustikus .....  | 15:00 |
| <i>Kohvipaus</i> .....  | 15:30 |
| <b>Mihkel Pajusalu<sup>1</sup>, Margus Rätsep<sup>1</sup>, Arvi Freiberg<sup>1,2</sup></b> ( <sup>1</sup> TÜ FI, <sup>2</sup> TÜ MRI) |       |
| Kvantmehaanika looduslikus fotosünteesis? .....   | 15:45 |

|  |       |
|--|-------|
| <b>Henn Voolaid, Svetlana Ganina (TÜ)</b>                                      |       |
| Täiendõpe reaalainete õppejõududele .....                                      | 16:05 |
| <b>Els Heinsalu (KBF)</b>  |       |
| Konkureerivad Browni ja Lévy uitlejad .....                                    | 16:15 |
| <b>Arved Sapar (TO)</b>  |       |
| Uusi tulemusi ja ideid täheatmosfäärیده füüsikast<br>ja modelleerimisest ..... | 16:45 |
| <i>Kohvipaus</i> .....   | 17:10 |
| EFS üldkogu .....  | 17:25 |
| Seltsiõhtu .....   | 18:30 |

**LAUPÄEV, 24. MÄRTS**

**TEADUSKESKUS AHHA**

**(SADAMA 1)**

|  |       |
|--|-------|
| Avamine, tervitused .....  | 10:00 |
| <b>Svetlana Ganina, Henn Voolaid (TÜ)</b>  |       |
| Gümnaasiumi füüsikaõpetaja magistriõppe võimalustest TÛs .   | 10:10 |
| <b>Margit Timakov (EÕL)</b>  |       |
| EÕL tegevusest ja tulevikust .....   | 10:20 |
| <b>Indrek Peil (Saaremaa Õhisgümnaasium)</b>   |       |
| Füüsika ainekava I kursuse. Õlevaade küsitlusest .....   | 10:40 |
| <b>Peet-Märt Irdt (Nõo Realgümnaasium)</b>   |       |
| Loodusainete õppesuuna eksami arendusest .....   | 11:00 |
| <i>Kohvipaus</i> .....   | 11:20 |
| <b>Taavi Adamberg (TÜ)</b>   |       |
| Füüsika õppest ja õpetamisest Rootsis .....  | 11:50 |
| <b>Kaido Reivelt (EFS, TÜ FI)</b>  |       |
| Uutest (e-)õpikutest .....   | 12:35 |
| Füüsikaõpetajate osakonna üldkogu. Tegevusaruanne. Juhatuse ja<br>esimehe valimised. Arutelud ja plaanid 2012/2013 ..... | 13:00 |

**STENDIETTEKANDED**

**Aleksandr Pištšev, Nikolai Kristoffel** (TÜ FI)

Uusi tulemusi mittelineaarsete koherentsete optiliste efektide valdkonnas

**A.Vask<sup>1</sup>, R. Valner<sup>1</sup>, T. Uiboupin<sup>1</sup>, H. Haljaste<sup>1</sup>, H. Ehrpais<sup>1</sup>, J. Šubitidze<sup>2</sup>** (TÜ FI, <sup>2</sup>Eesti Lennuakadeemia)

Tudengisatelliidi ESTCube-1 testimine

**Erik Kulu<sup>1</sup>, Andris Slavinskis<sup>1,2</sup>, Urmas Kvell<sup>1,2</sup>** (TÜ, TO)

Attitude determination and control system for ESTCube-1

**Tanel Peet<sup>1</sup>, Riho Vendt<sup>1,2</sup>, Mart Noorma<sup>1,2</sup>, Urmas Kvell<sup>1,2</sup>, Silver Lätt<sup>1,2</sup>, Priit Joasoo<sup>3</sup>** (TÜ, TO, <sup>3</sup>Tartu Kõrgem Kunstikool)

Tudengisatelliidi ESTCube-1 temperatuurikontroll

**E. Ilbis<sup>1</sup>, U. Kvell<sup>1,2</sup>, E. Kulu<sup>1</sup>, J. Kalde<sup>1</sup>, H. Kuuste<sup>1,2</sup>, K. Zalite<sup>1,2</sup>, A. Slavinskis<sup>1,2</sup>, T. Eenmäe<sup>1,2</sup>, V. Allik<sup>2</sup>, M. Noorma<sup>1,2</sup>** (TÜ, TO)

ESTCube-1, Estonia's first student satellite

**NÄITUSED**

Laboritugi OÜ ([www.laboritugi.eu](http://www.laboritugi.eu))

3B Scientific ([www.3bscientific.com](http://www.3bscientific.com))

# HIGGSI BOSONI OTSINGUD<sup>1</sup>

MARIO KADASTIK

Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut

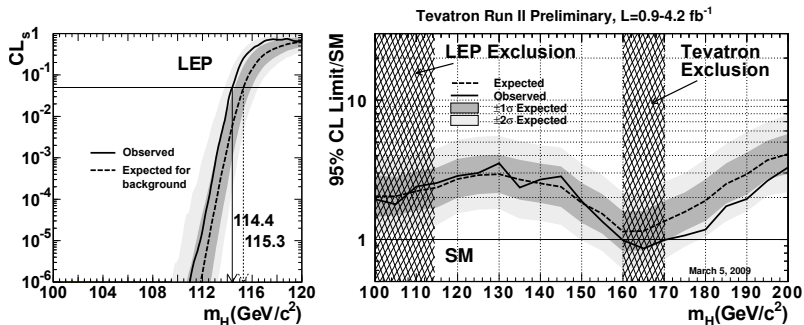
Kaasaegse fundamentaalfüüsika kõige põletavam probleem on universumi koostisosade massi päritolu probleem. Kosmilise reliktkiirguse mõõtmistest on teada, et vaid 4% universumi massist moodustab füüsikutele tuntud aine, mida kirjeldab osakestefüüsika standardmudel. Universumi ülejäänud massi moodustab tumeaine (ligi 21%) ja tumeenergia (ligi 75%). Kuni käesoleva aastani ei olnud eksperimentaalset kinnitust ühegi viimatinimetatud universumi massikomponendi päritolule.

Osakestefüüsika standardmudel kirjeldab kõiki tuntud osakesi, mis moodustavad eelnimetatud 4% universumi massist. Standardmudeli aluseks on  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$  kalibratsioonisümmeetria. Kõik materiaäljad – kvargid ja leptonid – moodustavad sümmeetriarühma multipletid. Kõiki looduses eksisteerivaid kvantinteraksioone – tugevat, nõrka, elektromagnetilist – vahendavad kalibratsioonisümmeetriate bosonid, mis on ka eksperimentaalselt avastatud. Seega on kalibratsioonisümmeetria printsiip üks fundamentaalsemaid loodusseadusi. Paraku nõuab kalibratsioonisümmeetria, et kõik materia- ja kalibratsiooniväljad on massitud.

Selleks, et seletada standardmudeli osakeste masse, pakkusid F. Englert ja R. Brout [1], P. Higgs [2] ning G. Kuralnik, C. Hagen ja T. Kibble [3] 1964. aastal sõltumatult välja teooria standardmudeli kalibratsioonisümmeetria spontaanseks rikkumiseks. Üks neist, P. Higgs, märkis oma artiklis, et spontaanse sümmeetria rikkumise mehhanism ennustab uue osakese olemasolu, mis seetõttu sai nime tema järgi. Higgsi bosoni olemasolu eksperimentaalne tõestus on alates 1964. aastast olnud osakestefüüsika üks peamisi eesmärke. Paraku lõppesid kõik otsingud kuni 2012. aastani edutult.

Kiirendi, mis põhimõtteliselt peaks olema võimeline kas Higgsi bosoni avastama või näitama, et Higgsi bosonit ei eksisteeri, on CERNis paiknev *Large Hadron Collider* (LHC). Aasta 2012 keskpaigaks oli LHC eksperimendid kogunud nii palju prootonite põrkeprotsesse, et sellest

<sup>1</sup> Eesti Füüsika Seltsi aastapreemia 2012 laureaadi ettekanne.



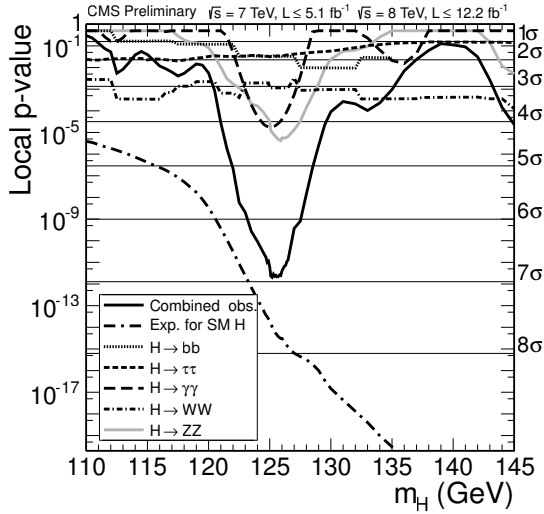
Joonis 1. Higgsi bosoni otsingu tulemused enne LHC andmeid. Vasakul on LEP kiirendi eeldatav tundlikkus ja mõõdetud tundlikkus (Higgs välistatud madalamatel massidel kui 114,4 GeV) ning paremal on Tevatroni eksperimentide tulemus, kus oldi võimelised välistama Higgsi boson vahemikus 160–170 GeV

piisas Higgsi bosoni olemasolu kontrolliks. Mõlemad LHC eksperimendid, *Compact Muon Solenoid* (CMS) ja ATLAS, analüüsisid oma andmeid ja teatasid uue bosoni avastamisest, mille mass on 125 GeV ja mille omadused on kooskõlas ennustatud Higgsi bosoni omadustega.

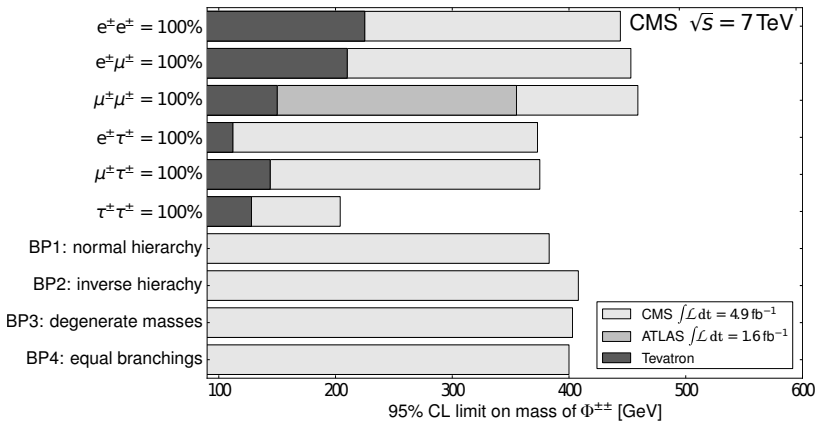
Praeguseks hetkeks on läbi analüüsitud üle poole 2012. aasta LHC andmetest ja mõlemad eksperimendid on kooskõlalises teatanud Higgsi bosoni avastamisest juba 7 standardhälbe tasemel [4]. Seega on kaua otsitud Higgsi boson leitud ja standardmudeli osakeste massi tekitamise mehhanism leidnud eksperimentaalse kinnituse.

Tulenevalt seni leitud tulemuste heast kooskõlast ennustatud Higgsi bosoniga on tõenäoline, et avastatud uus osake just seda ka on. Selle täpsemaks kinnitamiseks aga on vaja veel palju aega, kuna täpsemad mõõtmised, mis võimaldaksid meil teha järeldusi antud uue osakese interaktsioonitugevustest erinevate juba varem tuntud osakestega, vajavad palju-palju rohkem andmeid. Seni tehtud kontrollid ja mõõtmised on statistiliselt kõik soosinud just Higgsi bosoni hüpoteesi ning nii mõniigi teine hüpotees, nagu näiteks pseudoskalaarne osake, on tänaseks ka 95% usaldusnivooga välistatud.

See aga ei tähenda sugugi, et tegemist on ainsa Higgsi bosoniga. Niimelt standardmudeli järgi on neutriinod massitud osakesed ning samuti ei seleta standardmudel kosmoloogiast teada olevat tumeainet. Üheks Eesti teadlaste tööks CMS-is on olnud lisaks standardmudeli Higgsi otsingutele ka II tüüpi *see-saw* mehhanismi otsimine, mis samuti toob sis-



Joonis 2. CMS Higgsi otsingu tulemus. Näidatud on tõenäosust, et andmetes nähtud kõrvalekalle on statistiline fluktuatsioon. Punkt-kriipsjoon näitab eeldatavat joont vastava massiga Higgsi bosoni korral, teised jooned näitavad erinevaid lagunemiskanaleid ning nende kombinatsiooni. Jooniselt on näha uue osakese avastamist, kuna kõrvalekalle 125 GeV juures on pea seitse standardhälvet.



Joonis 3. Topelt laetud Higgsi osakese minimaalselt välistatud mass 95% usaldusnivoo juures lagunemiskanaliiti. Toodud on kõik teadaolevad otsingud LHC ja Tevatroni poolt.

se skalaarseid osakesi. Täpsemalt on siin tegemist Higgsi tripletiga, mis sisaldab ka kahekordse laenguga osakest. See triplett võimaldaks anda neutriinodele nullist erinevat seisumassi. Kuigi kahekordse laenguga Higgsi osakest on otsitud juba 1980ndatest aastatest, ei ole temast märke leitud. CMS-i juures tehtud analüüs on seni maailma üks täielikumaid, kaasates kõik võimalikud leptonilised lagunemised ning kasutades võimalikult mudelist sõltumatuid otsinguskeeme. Kuigi ka siin oli tulemus negatiivne, on ta teostatud vaid eestlaste poolt ja on seni maailma täpseim mõõtmine selles vallas [5].

## VIITED

- [1] F. Englert and R. Brout, "Broken symmetry and the mass of gauge vector mesons", *Phys. Rev. Lett.* 13 (1964) 321.
- [2] P. W. Higgs, "Broken symmetries, massless particles and gauge fields", *Phys. Lett.* 12 (1964) 132.
- [3] G. S. Guralnik, C. R. Hagen, and T. W. B. Kibble, "Global conservation laws and massless particles", *Phys. Rev. Lett.* 13 (1964) 585.
- [4] CMS Collaboration, "Combination of standard model Higgs boson searches and measurements of the properties of the new boson with a mass near 125 GeV", CMS PAS HIG-12-045.
- [5] CMS Collaboration, "A search for a doubly-charged Higgs boson in pp-collisions at  $\sqrt{s} = 7$  TeV", *Eur. Phys. J.* C72 (2012) 2189.



# KONKUREERIVAD BROWNI JA LÉVY UITLEJAD

---

**ELS HEINSALU**

Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut  
Niels Bohr International Academy, Taani

## 1 SISSEJUHATUS

Bioloogiliste populatsioonide dünaamika on determineeritud eeskätt sünni ja surma protsesside poolt, mida statistilise füüsika kontekstis võib modelleerida kasutades interakteeruvate osakeste mudelid, kus osakeste arv muutub ajas. Praeguseks on teada, et need protsessid on olulised ka kobarate moodustumisel süsteemides, kus uitliikumist sooritavad indiviidid paljunevad ja surevad. Kõige lihtsamaks mudeliks, kus on vaadeldud organismide koondumist klastritesse, on *Browni uitlejate mudel*, kus indiviidid paljunevad ja surevad võrdsete tõenäosustega ning nende ruumiline liikumine on kirjeldatav Browni liikumisega [1–3]. Kobarate tekkimise mehhanismiks on seal reproduktiivsed korrelatsioonid (järglane sünnib alati seal, kus on ta vanem) ning surma protsessi pöördumatus. Sellises Browni uitlejate mudelis puudub igasugune organismidevaheline interaktsioon, mis leiab aset reaalses bioloogilistes süsteemides. Realistlikumates mudelites on seda võetud arvesse konkurentsi kaudu. Konkurentssressurssidele teiste naabruskonnas asuvate indiviididega on teiseks keskseks komponendiks, mis on iseloomulik ökosüsteemidele. Teatud parameetrite korral on selliste mudelite omaduseks ruumiliselt perioodiliste struktuuride moodustumine [4–6].

Kuigi paljudes süsteemides on ruumiline liikumine kirjeldatav Browni difusiooniga, on täheldatud, et paljude organismide liikumine vastab pigem Lévy liikumisele [7–11]. Näiteks on kirjeldatav Lévy statistikaga mitmete bakterite liikumine [12, 13], samuti ämmalahvide liikumine toiduotsingul [14]. On näidatud, et see on võrreldes Browni liikumisega kasulikum mõningate otsingustrateegiatega korral, kaasa arvatud toiduotsing [11], suurendamaks leidmise tõenäosust madala tiheduse korral [15, 16]; peamiseks põhjuseks on juhuslikult aset leidvad pikad hüpped.

## 2 MUDEL

Vaadeldgem süsteemi, mis algselt koosneb  $N_0 = 1000$  organismist, mida modelleeritakse punktisarnaste osakestena ning mis on asetatud juhuslikult  $L \times L$  suurusele perioodiliste ääritingimustega alale ( $L = 1$ ). Indiviidid sooritavad kahemõotmelist uitliikumist, paljunevad tõenäosusega  $r_b^i$  ja surevad tõenäosusega  $r_d^i$ ,  $i = 1, \dots, N$ , ja  $N \equiv N(t)$  on organismide arv süsteemis hetkel  $t$ . Vastsündinutele omistatakse sama asukoht ruumis nagu on nende vanematel, st süsteemis on reproduktiivsed korrelatsioonid, ning nad liiguvad sama moodi nagu nende vanemad. Browni uitlejad on iseloomustatavad difusioonikoefitsiendiga  $\kappa [m^2/s]$  ning Lévy uitlejad üldistatud difusioonikoefitsiendiga  $\kappa_\mu [m^\mu/s]$ ;  $\mu \in (0, 2)$  on anomaalne eksponent; mida väiksem on  $\mu$  väärtus, seda anomaalsem on uitliikumine. Süsteem on simuleeritud kasutades Gillespie algoritmi [17, 18].

Kui organismide paljunemise ning suremise tõenäosused sõltuvad teiste organismide arvust naabruskonnas raadiusega  $R$  ( $R \ll L$ ), siis räägitakse lõpliku ulatusega *mittelokaalsest interaktsioonist*. Artiklites [17, 18] on eeldatud, et  $i$ -nda indiviidi paljunemise ja suremise tõenäosused sõltuvad lineaarselt naabrite arvust  $N_R^i$  interaktsiooni raadiuses  $R$ :

$$r_b^i = \max(0, r_{b0} - \alpha N_R^i), \quad (1)$$

$$r_d^i = \max(0, r_{d0} + \beta N_R^i). \quad (2)$$

Parameetrid  $r_{b0}$  ja  $r_{d0}$  on paljunemise ja suremise tõenäosused naabrite puudumisel ning  $\alpha$  ja  $\beta$  määravad, kuidas  $r_b^i$  ja  $r_d^i$  sõltuvad naabruskonnast. Parameetrite  $\alpha$  ja  $\beta$  positiivsete väärtuste korral on tõenäosus paljunemiseks seda väiksem ning suremiseks seda suurem, mida suurem on  $N_R^i$ .

Kui organismi paljunemise ja suremise tõenäosused sõltuvad kõigist teistest indiviididest süsteemis,

$$r_b^i \equiv r_b = \max\{0, r_{b0} - \alpha[N(t) - 1]\}, \quad (3)$$

$$r_d^i \equiv r_d = \max\{0, r_{d0} + \beta[N(t) - 1]\}, \quad (4)$$

mis on formaalselt võrrandid (1), (2), kus  $R = L$ , nii et  $N_R^i = N(t) - 1$ , siis räägitakse *globaalsest interaktsioonist*.

Kui demograafiliste sündmuste tõenäosused on samad kõigi organismide jaoks ning konstantsed,

$$r_b^i \equiv r_b = r_{b0}, \quad r_d^i \equiv r_d = r_{d0}, \quad (5)$$

mis on samaväärne võrranditega (1), (2), kui  $\alpha = \beta = 0$ , siis on tegemist *mitteinteraktiivsete* indiviididega.

Järgnevalt kirjeldame Browni ja Lévy uitlejate süsteeme, kus organismid ei mõjuta üksteist või kui globaalsed või mittelokaalsed interaktsioonid leiavad aset. Lihtsuse mõttes vaatleme juhtu, kui võrrandites (2) ja (4)  $\beta = 0$ .

### 3 LIHTSAD MITTEINTERAKTEERUVATE UITLEJATE MUDELID

#### A. MITTEINTERAKTEERUVAD BROWNI UITLEJAD

Lihtsat mitteinterakteeruvate Browni uitlejate mudelit, kus organismide paljunemise ja suremise tõenäosused on konstantsed, on uuritud mitmetes erinevates töödes [1, 2]. Keskmistades üle ansambli on populatsiooni suurus määratud sellisel juhul järgmiselt:

$$\langle N(t) \rangle = N_0 \exp[\Delta(t-t_0)], \quad (6)$$

sõltudes ainult vahest  $\Delta = r_b - r_d$  olenemata difusioonist. Kui paljunemine on tõenäolisem kui suremine, siis populatsioon kasvab plahvatuslikult, kuigi sõltuvalt populatsiooni algsest suurusest on olemas lõplik tõenäosus populatsiooni väljasuremiseks, mis on seda väiksem, mida suurem on  $\Delta$ . Kui surm on tõenäolisem kui paljunemine,  $\Delta < 0$ , siis leiab populatsiooni väljasuremine aset tõenäosusega 1. Kui sünni ja surma tõenäosused on võrdsed,  $\Delta = 0$ , siis keskmistades üle mitme realisatsiooni  $\langle N(t) \rangle = N_0$  ning süsteemi keskmine eluiga on lõpmatu. Siiski, üksikute realisatsioonide korral on  $N(t)$  fluktuatsioonid suured ning need viivad osades realisatsioonides kiirele väljasuremisele. Eksisteerib tüüpiline eluiga, mis on võrdeline  $N_0$ -ga, mis on defineeritud kui aeg, mil fluktuatsioonid saavad sama suureks kui keskmine väärtus, millest alates populatsiooni väljasuremine leiab aset tõenäosusega peaaegu 1 [1].

Üllatuslikult täheldati süsteemides, kus mitteinterakteeruvad Browni uitlejad paljunevad ja surevad võrdsete tõenäosustega, indiviidide koondumist kobaratesse [1-3]. Säärase süsteemi tüüpiline ajaline evolutsioon on illustreeritav joonisega 1a. Olgu siinkohal märgitud, et kõigil joonistel, kus esitatakse organismide ruumilist konfiguratsiooni, on individid jaotatud vastavalt nende algsele positsioonile üheksasse

gruppi, mida iseloomustavad erineva kujuga täpid, vt joonis 1 hetkel  $t=0$ ; paljunemise korral omastab vastsündinu samasuguse täpi, mis on tema vanemal. Alustades ruumiliselt ühtlase jaotusega, võib jooniselt 1a näha, et mõne aja pärast moodustub palju väikeseid kobaraid. See on seotud sellega, et paljunemise korral tekivad uued indiviidid sinna, kus on nende vanemad. Fluktuatsioonide ning surma pöördumatuse tõttu klastrite arv väheneb ajas, kuni lõpuks jääb järele ainult üks kobar, mis koosneb indiviididest, kes põlvnevad samast esivanemast. Kesksest kobarast eralduvad aeg-ajalt spontaanselt lühiealised väiksemad klastrid [1] ning süsteemi massikeskme liikumine on iseloomustatav sama difusioonikoefitsiendiga nagu üksikute organismide liikumine. Fluktuatsioonide tõttu hääbub lõpuks ka see viimane kobar.

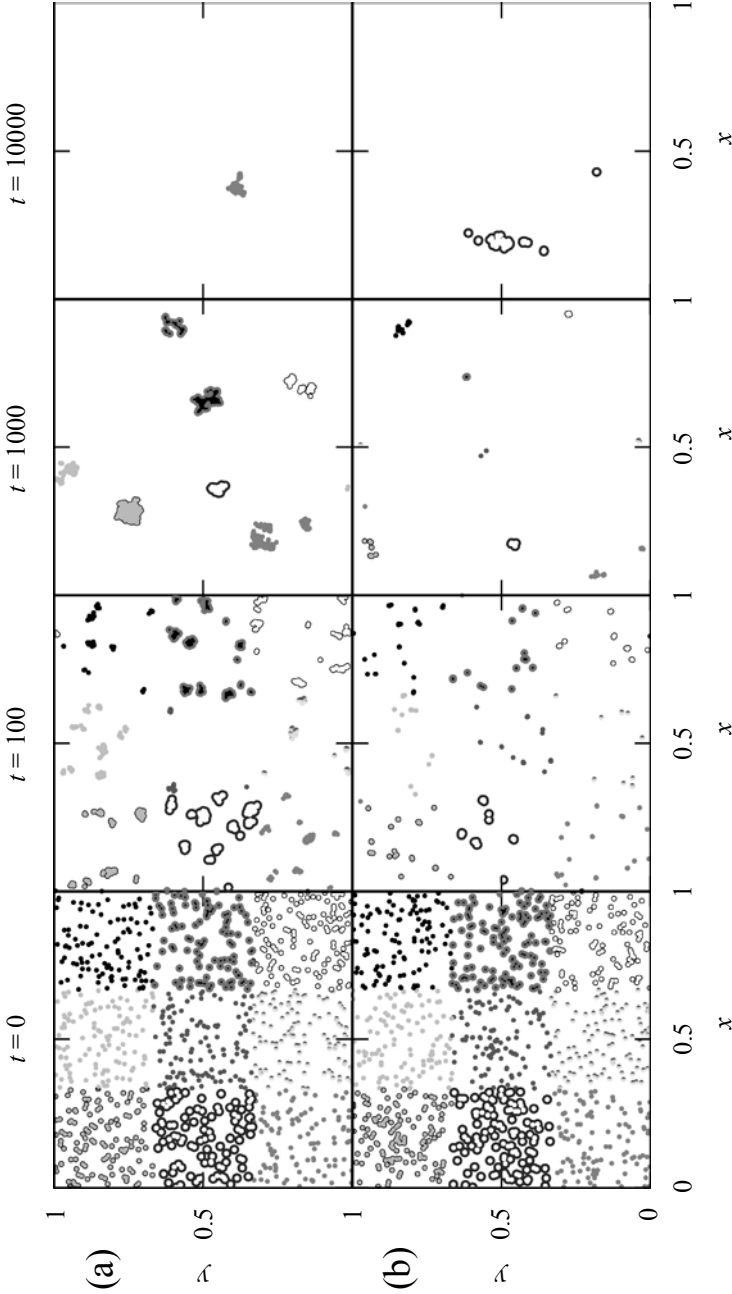
### B. MITTEINTERAKTEERUVAD LÉVY UITLEJAD

Sarnaselt Browni uitlejatele on ka mitteinterakteeruvate Lévy uitlejate korral populatsiooni suurus määratud võrrandiga (6), sõltumatult Lévy indeksist  $\mu$ , ning leiab aset kobarate moodustumine ja kobarate arvu vähenemine ajas, kuni alles jääb ainult üks keskne klaster. Nüüd aga, kuna uitlejad sooritavad ka pikki hüppeid, siis tekivad ja kaovad väikesed kobarad pidevalt ka kesksest klastrist kaugel (joonis 1b). Mida väiksem on  $\mu$  väärtus, seda anomaalsem on süsteem, st seda suurem on tõenäosus pikkadeks hüpeteks ning seda rohkem on süsteemis sääraseid lühiealisi kobaraid. Mõnikord võib ka juhtuda, et peamine kobar kaob ning mõni uus kobar võtab tema rolli üle. Selle tulemusena on ka süsteemi massikeskme liikumine iseloomustatav anomaalse difusiooniga.

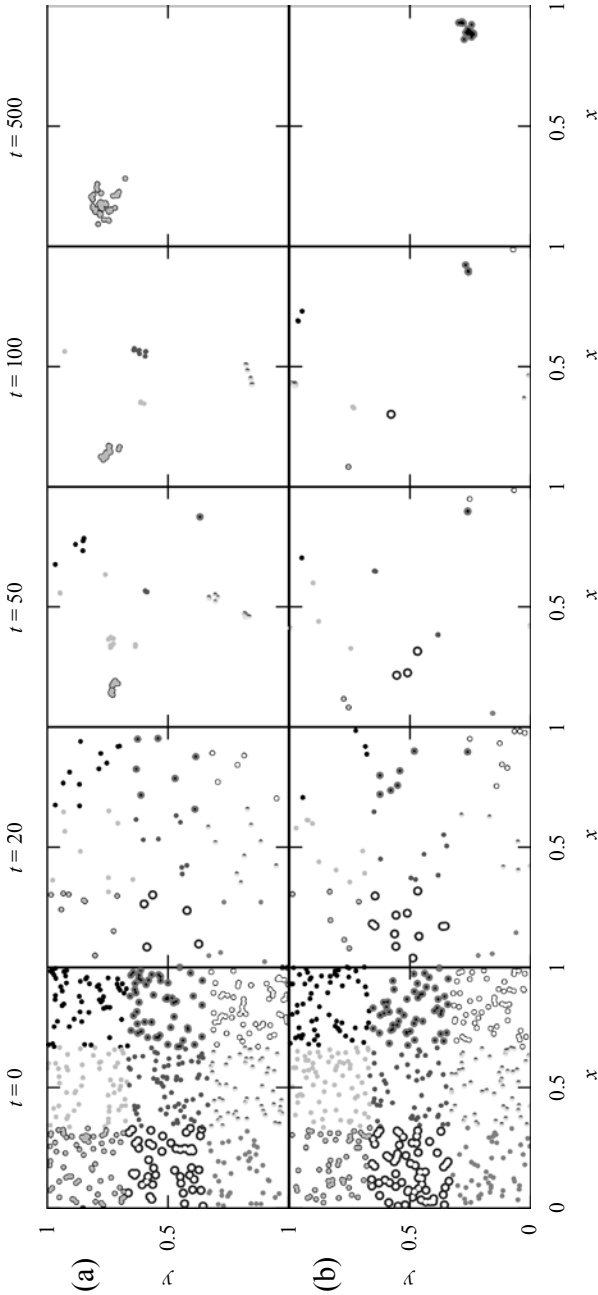
## 4 GLOBAALNE INTERAKTSIOON

### A. KOBARATE MOODUSTUMINE

Uurigem nüüd Browni ja Lévy uitlejate süsteeme, kus leiab aset globaalne interaktsioon, st sünni ja surma tõenäosused on antud võrranditega (3), (4), kus  $r_{b0} = 1$ ,  $r_{d0} = 0,1$ ,  $\alpha = 0,02$ ,  $\beta = 0$ . Globaalselt interakteeruvatest Browni ja Lévy uitlejatest koosnevate süsteemide ajalised evolutsioonid on kujutatud vastavalt joonistel 2a ja 2b. Nii nagu mitteinterakteeruvate uitlejate puhul, nii on ka nüüd süsteemi lõplikuks olekuks väljasuremine,



Joonis 1: Lihme mitteinterakteeruvate uitlejate mudel; organismide ruumiline konfiguratsioon erinevatel ajahetkedel  $t$ : (a) Browni uitlejad difusioonikoefitsiendiga  $\kappa = 10^{-6}$  ning (b) Lévy uitlejad üldistatud difusioonikoefitsiendiga  $\kappa_d = 10^{-5}$  ja  $\mu = 1$ . Paljunemine ja suremine leiavad aset võrdsete tõenäosustega,  $r_b = r_d = 0,1$ . Indiviidide kujul vastab nende esivanemate kujule ajahetkel  $t = 0$ .

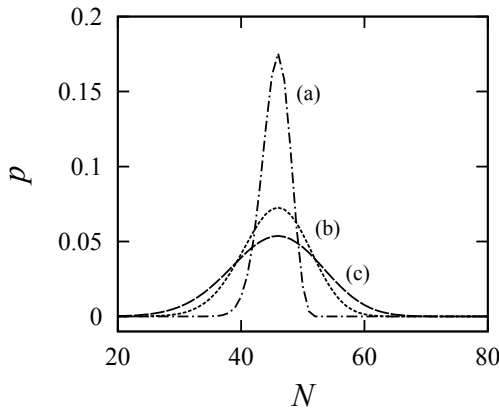


Joonis 2: Globaalselt interakteerivate uitlejate mudelid; organismide ruumiline konfiguratsioon erinevatel ajahetkedel  $t$ : (a) Browni uitlejad difusioonikoefitsiendiga  $\kappa = 10^{-5}$  ja (b) Lévy uitlejad üldistatud difusioonikoefitsiendiga  $\kappa_r = 10^{-4}$  ja  $\mu = 1$ . Pajumemise ning suuremise tõenäosustega seotud parameetrid on:  $r_{00} = 1, r_{01} = 0, \alpha = 0,02, \beta = 0$ . Indiviidide kaju vastab nende esivanemate kujule ajahetkel  $t = 0$ .

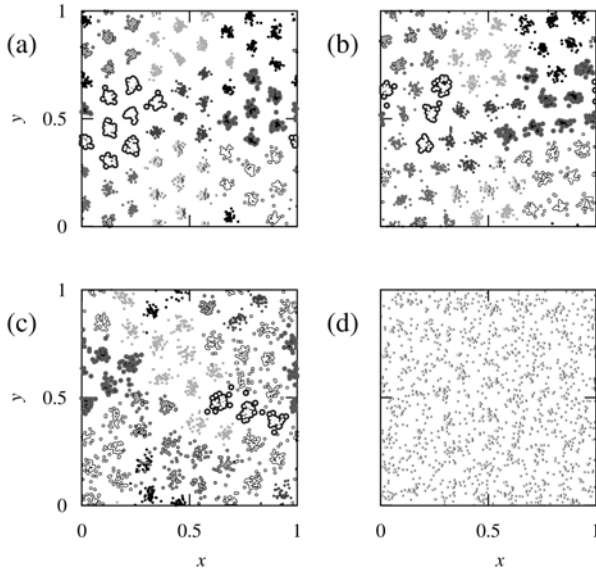
kuna alati on olemas lõplik tõenäosus piisavalt suurte fluktuatsioonide jaoks, mis selleni viivad. Ent kui organismide arv süsteemis on piisavalt suur, siis juhtub see alles väga pika aja pärast [19]. Seega eksisteerib kauakestev *kvaasistabiilne* olek, kus organismide keskmine arv  $\langle N(t) \rangle$  on määratav tingimusest, et paljunemine ja suremine leiavad aset võrdsete tõenäosustega,  $r_b^i = r_d^i$ . Siit saame,

$$\langle N(t) \rangle = \frac{\Delta_0}{\alpha + \beta} + 1, \quad (7)$$

kus  $\Delta_0 = r_{b0} - r_{d0}$ . Kuna joonisel 2  $N_0 > \langle N(t) \rangle = 46$ , siis simulatsiooni alguses surm on tõenäolisem ning organismide arv kahaneb kiiresti. Lühikaudu hetkel  $t = 30$  saavutab see väärtuse, mille juures surma ja sünni tõenäosused saavad keskmiselt samaks ning millest alates organismide arv fluktrueerub võrrandiga (7) antud väärtuse ümber; sünni ja surma tõenäosustega seotud parameetrid on võimalik valida sääraselt, et need fluktuatsioonid on nõrgad. Sellest hetkest hakkavad reproduktiivsete korrelatsioonide tõttu moodustuma väikesed kobarad. Nii nagu mitteinterakteeruvate uitlejate korral, nii põhjustavad fluktuatsioonid ja surma pöördumatus ka nüüd kobarate arvu vähenemise ajas, kuigi nüüd on



Joonis 3: Organismide arvu tõenäosusjaotused süsteemides, mis koosnevad globaalselt interakteeruvatest uitlejatest. Kõikide kõverate korral  $\Delta_0 = r_{b0} - r_{d0} = 0,9$ , ent  $r_{b0}$ ,  $r_{d0}$  omandavad erinevaid väärtusi: (a)  $r_{b0} = 1$ ,  $r_{d0} = 0,1$ ; (b)  $r_{b0} = 1,5$ ,  $r_{d0} = 0,6$ ; (c)  $r_{b0} = 2$ ,  $r_{d0} = 1,1$ . Kõverad, mis langevad kokku, vastavad süsteemidele, mis koosnevad Browni ja Lévy uitlejatest, kus  $\alpha = 0,02$ ,  $\beta = 0$ ; jaotused ei sõltu ei uitlejate tüübist,  $\alpha$  ja  $\beta$  ega ka  $\kappa$ ,  $\kappa_\mu$  ja  $\mu$  väärtustest.



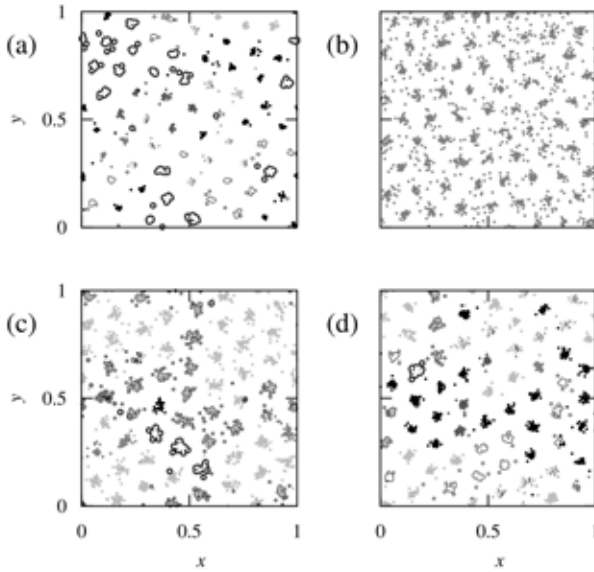
Joonis 4: Interakteeruvate Browni uitlejate mudel:  $R = 0,1$ ,  $r_{b0} = 1$ ,  $r_{d0} = 0,1$  ning  $\alpha = 0,02$ ,  $\beta = 0$ . Organismide ruumiline jaotus ajahetkel 45000 erinevate difusioonikoeffitsientidega süsteemides: (a)  $\kappa = 10^{-5}$ , (b)  $\kappa = 2 \times 10^{-5}$ , (c)  $\kappa = 4 \times 10^{-5}$ , (d)  $\kappa = 10^{-4}$ . Organismide algne jaotus on sama nagu joonistel 1 ja 2 hetkel  $t = 0$ .

indiviidide fluktuatsioonid erinevates klastrites omavahel seotud, hoidmaks organismide koguarvu ligikaudu konstantsena, nii nagu antud võrrandiga (7), ning protsess on kiirem. Lõpuks jääb alles ainult üks kobar, mis koosneb samast esivanemast põlvnevatest indiviididest (nagu juba mainitud, kaob ka see pika aja pärast) ning millest aeg-ajalt eralduvad lühiealised kobarad, nii nagu mitteinterakteeruvatest uitlejatest koosnevas süsteemis.

## B. UITLEJATE ARVU FLUKTUATSIOONID

Võrrand (7) osutab, et antud  $\alpha$  ja  $\beta$  väärtuste korral sõltub organismide keskmine arv süsteemis, milles leiab aset globaalne interaktsioon, ainult vahest  $\Delta_0 = r_{b0} - r_{d0}$ . Parameetrite  $r_{b0}$  ja  $r_{d0}$  konkreetsed väärtused, samuti  $\kappa$  või  $\kappa_\mu$  ja  $\mu$  väärtused ei oma tähtsust; tegelikult ei sõltu  $\langle N(t) \rangle$  isegi sellest, kas meil on tegemist Browni või Lévy uitlejatega. Ent  $N(t)$  fluktuatsioonid sõltuvad  $r_{b0}$  ja  $r_{d0}$  väärtustest, isegi kui  $\Delta_0$  ja seega indi-





Joonis 5: Interakteeruvate Lévy uitlejate mudel. Organismide ruumiline jaotus ajahetkel 45000 süsteemides, mis on iseloomustatud erinevate üldistatud difusioonikoefitsientidega ja anomaalse eksponendiga: (a)  $\kappa_\mu = 10^{-4}$ ,  $\mu = 1$ ; (b)  $\kappa_\mu = 10^{-3}$ ,  $\mu = 1$ ; (c)  $\kappa_\mu = 10^{-4}$ ,  $\mu = 1,5$ ; (d)  $\kappa_\mu = 5 \times 10^{-5}$ ,  $\mu = 1,5$ . Organismide algne jaotus on sama nagu joonistel 1 ja 2 hetkel  $t = 0$ . Ülejäänud parameetrid on samad nagu joonisel 4 Browni uitlejate jaoks.

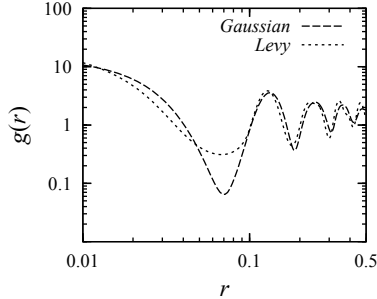
viidide keskmine arv on samad. Illustreerimaks seda, arvutagem organismide arvu tõenäosusjaotused globaalselt interakteeruvates Browni ja Lévy uitlejate süsteemides. Nagu võib näha jooniselt 3,  $\Delta_0$  antud väärtuse korral viivad  $r_{b0}$  ja  $r_{d0}$  suuremad väärtused suuremate fluktuatsioonideni. See on tingitud sünni ja surma protsesside Poissoni iseloomust. Suuremate  $r_{b0}$  ja  $r_{d0}$  väärtuste korral on  $N(t)$  jaotus laiem, mis tähendab seda, et suurem on ka tõenäosus, et mingil ajahetkel saab organismide arv võrdseks nulliga, mille järel süsteem sureb välja. Ökoloogilises kontekstis võib seda interpreteerida järgmiselt: olgu meil kaks kolooniat, mis koosnevad sama tüüpi organismidest ning millede tasakaalulised suurused on samad, determineeritud näiteks eluruumi suuruse poolt. Nüüd, kui ühes süsteemis populatsioonil ei ole vaenlasi ning loomulik suremus on madal, ent teises on suremus kõrgem, näiteks vaenlase olemasolu tõttu, siis suuremate fluktuatsioonide tõttu sureb viimane süsteem tõenäoliselt varem välja.

## 5 MITTELOKAALNE INTERAKTSIOON

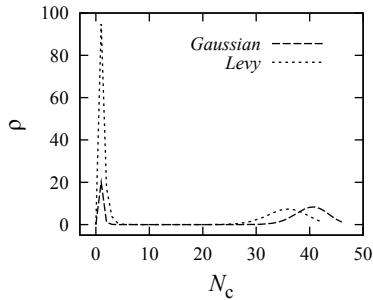
### A. PERIOODILISE STRUKTUURI MOODUSTUMINE

Artiklites [4, 6, 17], mis käsitlevad mittelokaalselt interakteeruvaid Browni ja Lévy uitlejaid, on eeldatud, et  $i$ -nda indiviidi sünni ja surma tõenäosused on antud võrranditega (1), (2). Artiklis [4, 6] täheldati, et Browni uitlejad moodustavad piisavalt väikese difusiooni ning piisavalt suure  $\Delta_0$  väärtuse korral perioodilise mustri, mis koosneb kobaratest, mis on paigutatud kuusnurksele võrele (vt joonis 4a-c). Suure difusiooni korral asendub selline muster organismide homogeensema jaotusega (joonis 4d). Lévy uitlejate korral on traditsiooniliselt defineeritud difusioonikoeffitsient lõpmatu ning võiks arvata, et ruumiline jaotus ei ilmuta perioodilist mustrit; ent artiklis [17] näidati, et sobivate parameetrite korral ilmneb ka siin kobarate perioodiline paigutus (vt joonis 5). Lévy uitlemisega seotud pikad hüpped küll mõjutavad moodustuvate kobarate struktuuri, ent peamine struktuur on determineeritud põhiliselt indiviididevaheliste interaktsioonide poolt. Võrreldes Browni uitlejatega on tänu pikkadele hüpetele Lévy uitlejatest koosnevas süsteemis isegi väikeste  $\kappa_\mu$  väärtuste korral palju üksikuid indiviide, kes ilmuvad lühikeseks ajaks perioodiliselt asetsevate kobarate vahele [17], võrdle jooniseid 4a ja 5a. Mustri periood on aga sellegi poolest mõlemas süsteemis interaktsiooni raadiusega  $R$  samas suurusjärgus ning on kõigest väga vähe mõjutatud  $\kappa$  või  $\kappa_\mu$  ja  $\mu$  väärtustest, nagu näidatud artiklites [4, 17].

Radiaalse jaotuse funktsioon,  $g(r)$ , mis kirjeldab, kuidas tihedus muutub kaugusega mingist indiviidist, annab lisainformatsiooni organismide jaotuse kohta [20]. Radiaalse jaotuse funktsioon arvutatakse loendades kõik organismid,  $dn$ , mis on kaugusel  $r$  kuni  $r + dr$  teatud indiviidist, kasutades valemit  $dn = N/L^2 g(r) 2\pi r dr$  ning keskmistades üle kõigi organismide ja üle pika aja. Joonisel 6 on võrreldud radiaalsete jaotuste funktsioone süsteemides, mis koosnevad Browni ja Lévy uitlejatest ning kus organismide arv on ligikaudu võrdne. Nagu näha, on esimese ja teise maksimumi vaheline miinimum palju madalam Browni uitlejate korral, kuna klastritevahelisi uitlejaid on seal palju vähem. See tulemus on kooskõlas joonisega 7, kus on kujutatud vastavad klastrite suuruste tõenäosusjaotused. Lisaks sellele, kui  $\kappa$  või  $\kappa_\mu$  suureneb, siis  $g(r)$  esimehe maksimum muutub madalamaks ning laiemaks: organismide arv süsteemis väheneb ning kobarad muutuvad vähem kompakseteks. Lõpuks, difusiooni suurte väärtuste korral  $g(r) \rightarrow 1$ , mis vastab indiviidide homogeensele jaotusele.

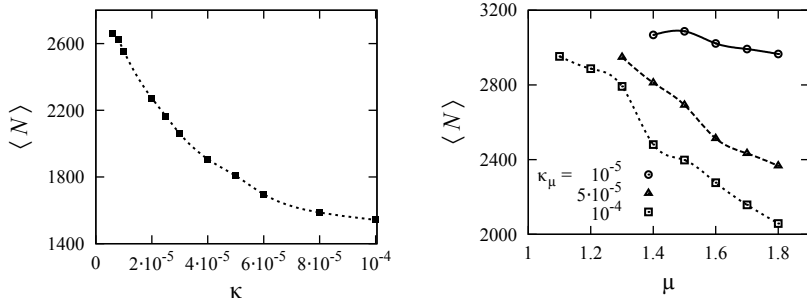


Joonis 6: Radiaalsete jaotuste funktsioonide võrdlus interakteeruvate Browni ja Lévy uitlejate süsteemides. Browni uitlejate difusioon on iseloomustatud koefitsiendiga  $\kappa = 10^{-5}$  ning Lévy uitlejate liikumine on iseloomustatud parameetritega  $\kappa_\mu = 56 \times 10^{-5}$  ja  $\mu = 1$ ; ülejäänud parameetrid on samad nagu joonistel 4 ja 5. Parameetrite sääraste väärtuste korral on organismide keskmine arv Browni ja Lévy uitlejatest koosnevates süsteemides ligikaudu sama, vastavalt,  $\langle N(t) \rangle = 2555$  ja  $\langle N(t) \rangle = 2565$ .



Joonis 7: Kobarate suuruste jaotused interakteeruvate Browni ja Lévy uitlejate mudelites. Kõikide parameetrite väärtused on samad nagu joonisel 6.

Antud difusioonikoefitsiendi jaoks eksisteerib  $\Delta_0$  kriitiline väärtus, mille korral süsteem sureb välja sõltumatult  $\alpha$  väärtusest [4]. Sellest kriitilisest väärtusest ülalpool viib  $\Delta_0$  suurenemine iga  $\alpha$  korral organismide keskmise arvu suurenemisele, ent ruumilise struktuuri moodustumine ei ole oluliselt mõjutatud. Seda siiski vaid siis, kui  $\Delta_0$  kasv on seotud üksnes  $r_{b0}$  kasvuga ning suremise tõenäosus on madal. Nimelt, nagu globaalse interaktsiooni korral, nii ka nüüd viib suremuse suurenemine, isegi kui sellega kaasneb paljunemise kasv, organismide arvu fluktuatsioonide suurenemisele. Mida suuremad on aga fluktuatsioonid, seda raskem on perioodilise mustril moodustumine, kuni lõpuks individidid ei



Joonis 8: Vasakul: organismide keskmise arvu sõltuvus difusioonikoefitsiendist Browni uitlejatest koosnevas süsteemis. Paremalt: organismide keskmise arvu sõltuvus anomaalsest eksponendist  $\mu$  anomaalse difusioonikoefitsiendi  $\kappa_{\mu}$  erinevate väärtustega iseloomustatud Lévy uitlejate süsteemides. Teiste parameetrite väärtused on samad nagu joonistel 4 ja 5.

koondu perioodiliselt paiknevatesse kobaratesse, vaid ebakorrapäraselt asetsevatesse klastritesse (vt ka [21]). See võib olla ka põhjuseks, miks reaalses bioloogilistes süsteemides enamasti ei ole tegemist perioodiliste struktuuridega.

Olgu järgnevalt  $r_{b0} = 1$ ,  $r_{d0} = 0,1$ ,  $\alpha = 0,02$ ,  $\beta = 0$ , nii nagu globaalse interaktsiooni korralgi. Sääraste parameetrite korral fluktrueerub organismide arv ainult nõrgalt keskmise väärtuse ümber. Erinevalt globaalse interaktsiooni juhust ei sõltu  $\langle N(t) \rangle$  nüüd mitte ainult sünni ja surma tõenäosustest, vaid ka difusioonist, st Browni uitlejate korral  $\kappa$  ning Lévy uitlejate korral  $\kappa_{\mu}$  ja  $\mu$  väärtustest, vt joonis 8. Mida väiksem on  $\kappa$ ,  $\kappa_{\mu}$  või  $\mu$ , seda suurem on organismide arv. Samal ajal muutuvad kobarad kompaktsemaks, tihedus klastrites suuremaks ning klastrite vahel väiksemaks, vt joonised 4 ja 5.

### B. ERINEVATE PEREKONDADE SEGUNEMINE

Jagades indiviidid algselt erinevatesse gruppidesse ning jälgides nende järeltulijaid on huvitav uurida ka süsteemi evolutsiooni seoses erinevate gruppide kadumise või ellujäämisega. Kui difusioon on väga väike, siis mittelokaalselt interakteeruvate Browni uitlejate korral on peale klastrite moodustumist klastritevaheline liikumine väga harv, kuna indiviidid ei ole võimelised liikuma ühest kobarast teise ning on väga ebatõenäoline jõuda ühest kobarast teise sooritades mitmest sammust koosnevat uitliikumist, kuna kobaratevahelises ruumis on surma tõenäosus küllaltki suur. Seega on väga väikese difusiooni korral erinevad perekonnad

seotud oma esialgse territooriumiga. Kui eeldada, et algselt esindavad kõik individid erinevaid perekondi, siis leiab aset ainult klastritevaheline konkurents ning lõpuks on erinevaid perekondi sama palju kui on kobaraid. Kui aga esialgselt on organismid jaotatud erinevatesse perekondadesse, mis hõlmavad suurt ala (suurem kui tüüpiline kobara suurus, nii nagu joonistel 1 ja 2 ajahetkel  $t = 0$ ), siis puudub perekondade konkurents klastrite sees, enamus perekondi jäävad ellu ning erinevatest perekondadest koosnevad kobarad okupeerivad ka pärast pikka aega ligikaudu sama ala, mis nende esivanemad, nagu võib näha jooniselt 4a. Sellisel juhul leiab perekondade vähene segunemine aset üksnes kobara kui terviku liikumise kaudu perioodilise mustri moodustumise käigus. Suuremate  $\kappa$  väärtuste korral on kobaratevaheline liikumine võimalik, mis viib uute territooriumide vallutamiseni, st organisme võib leida aladelt, kust nende esivanemad pärit ei olnud, joonis 4b. Efekt on seda suurem, mida suurem on  $\kappa$ , ning viib mõnede perekondade kadumisele, nagu on näha jooniselt 4c. Lõpuks on kõik organismid pärit samast perekonnast (esivanemast); kes võidab, on juhuslik sündmus. Protsess on seda kiirem, mida suurem on difusioon. Suurendades difusiooni veelgi, kaob ka perioodiline muster, joonis 4d.

Joonis 5 illustreerib perekondade segunemist mittelokaalselt interakteeruvate Lévy uitlejate korral. Sellisel juhul on klastritevaheline liikumine soodustatud pikkade hüpete poolt. Erinevalt Browni uitlejatest võivad organismid liikuda nüüd mitte üksnes naaberkobaratesse, vaid ka kobaratesse, mis asuvad kaugemal. Selle tulemusena võib mingi klaster, mis algselt koosnes organismidest, mis olid pärit ühest esivanemast, koosneda mingi aja pärast individidest, kes on pärit üksteisest kaugel asetsevatest perekondadest. Seega muutub klastritevaheline individide konkurents peagi konkurentsiks perekondade vahel ja isegi kui organismide hajuvus on väga väike, siis lõpuks koosneb Lévy uitlejatest koosnev süsteem individidest, kes on pärit ühest esivanemast. Nii nagu ka Browni uitlejate korral on ka nüüd selline perekondade kadumise protsess seda kiirem, mida suurem on üldistatud difusioonikoefitsient.

## 6 LÕPETUSEKS

Käesolevas kirjutises on antud lühike ülevaade interakteeruvate osakeste süsteemidest, mis koosnevad konkureerivatest Browni või Lévy uitlejatest.

Üldisemalt rääkides, on näidatud, et interakteeruvate osakeste mudelid on väga kasulikud modelleerimaks ning mõistmaks mitmeid probleeme sellistel erinevatel aladel nagu kondenseeritud aine füüsika, keemiline kineetika, populatsiooni bioloogia ning sotsioloogia. Sõltuvalt konkreetsest probleemist ja süsteemist võivad interakteeruvate osakeste süsteemide üksikelemendid kujutada molekule, bioloogilisi olevusi või sotsiaalseid agente. Koostisosade käitumine on kindlaks määratud teatud mikroskoopiliste reeglitega; süsteemi kollektiivne makroskoopiline käitumine, mis on seotud indiviidide kombineeritud ajalise evolutsiooniga, võib aga sageli olla vägagi üllatav. See on komplekssete süsteemide tuumaks.

Selles artiklis esitatud uurimistööd on toetatud sihtfinantseeritava projekti SF0690030s09 ning ETF grandid 9462 kaudu.

## VIITED

- [1] Y.-C. Zhang, M. Serva, and M. Polikarpov, *J. Stat. Phys.* 58, 849 (1990).
- [2] W. R. Young, A. J. Roberts, and G. Stuhne, *Nature* 412, 328 (2001).
- [3] J. Felsenstein, *The American Naturalist* 109, 359 (1975).
- [4] E. Hernández-García and C. López, *Phys. Rev. E* 70, 016216 (2004).
- [5] E. Hernández-García and C. López, *J. Phys.: Condens. Matter* 17, S4263 (2005).
- [6] C. López and E. Hernández-García, *Physica D* 199, 223 (2004).
- [7] R. Metzler and J. Klafter, *Phys. Rep.* 339, 1 (2000).
- [8] R. Metzler and J. Klafter, *J. Phys. A: Math. Gen.* 37, R161 (2004).
- [9] P. Dieterich, R. Klages, R. Preuss, and A. Schwab, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105, 459 (2008).
- [10] R. Klages, G. Radons, and I. M. Sokolov, *Anomalous Transport: Foundations and Applications* (Wiley-VCH, 2008).
- [11] G. M. Viswanathan, E. P. Raposo, and M. G. E. da Luz, *Phys. Life Rev.* 5, 133 (2008).
- [12] M. Levandowsky, B.S. White, and F. L. Schuster, *Acta Protozool.* 36, 237 (1997).
- [13] R. Nossal, *J. Stat. Phys.* 30, 391 (1983).

- [14] G. Ramos-Fernández, J. L. Mateos, O. Miramontes, G. Cocho, H. Larralde, and B. Ayala-Orozco, *Behav. Ecol. Sociobiol.* 55, 223 (2004).
- [15] F. Bartumeus, F. Peters, S. Pueyo, C. Marrasé, and J. Catalán, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 100, 12771 (2003).
- [16] D. Sims, E. Southall, N. Humphries, G. Hays, C. Bradshaw, J. Pitchford, A. James, M. Ahmed, A. Brierley, M. Hindell, et al., *Nature* 451, 1098 (2008).
- [17] E. Heinsalu, E. Hernández-García, and C. López, *Europhys. Lett.* 92, 40011 (2010).
- [18] E. Heinsalu, E. Hernández-García, and C. López, *Phys. Rev. E* (2012).
- [19] C. R. Doering, K. V. Sargsyan, and L. M. Sander, *Multiscale Modeling & Simulation* 3, 283 (2005).
- [20] F. Ramos, C. López, E. Hernández-García, and M. A. Muñoz, *Phys. Rev. E* 77, 021102 (2008).
- [21] D. A. Birch and W. R. Young, *Theoretical Population Biology* 70, 26 (2006).

# UUSI TULEMUSI MITTE- LINEAARSETE KOHERENTSETE OPTILISTE EFEKTIDE VALDKONNAS\*

---

ALEKSANDR PIŠTŠEV, NIKOLAI KRISTOFFEL

TÜ Füüsika Instituut

## 1. SISSEJUHATUS

Intensiivsele laserkiiritusele kujunev aine elektronsüsteemi koste hõlmab ergastava valgusvälja amplituudi astmete suhtes mittelineaarseid efekte. Tsentraalsümmeetriata tahkiste teist järku nähtuste hulgas tuntakse optilist alaldamist ja anomaalset fotovolta voolu.

Anomaalne fotovolta efekt (AFE) seisneb makroskoopilise voolu tekkes homogeense pooljuhi suletud ahelas.

Optilisel alaldamisel (OA) polariseerub kristall elektriliselt valgustamise toimetel.

Nende mõlema nähtuse taga peituvad koherentsed protsessid, mis põhinevad elektronide kvantsiirete amplituudide interferentsil. Seetõttu ei sõltu nad laengukandjate spetsiifiliste hajumiste relaksatsiooniaegadest nagu ballistiliste protsesside korral.

Seos AFE koherentse voolu ( $j$ ) ja OA polarisatsiooni ( $P$ ) vahel indutseeriva valguse sagedusel  $\omega$  formuleeriti esmakordselt meie töös [1] kujul

$$P(\omega) = \lim_{\eta \rightarrow 0} [j(\omega) / \eta]. \quad (1)$$

Parameeter  $\eta$  esindab siin teatud keskmise relaksatsiooniaja pöördväärtust. Piirprotsess  $\eta \rightarrow 0$  tähendab AFE ja OA viimist ühtsesse koherentsikanalisse. Mõlema efekti uurimine on oluliselt motiveeritud. Näiteks OA on seotud terahertzi sagedusega kiirguse genereerimise võimalusega. AFE seostub päikeseenergia kasutamisega.

Autorite edasine uurimistöö käsitletavas valdkonnas [2] andis uudseid tulemusi, mida refereerime lühidalt alljärgnevas.

---

\* Stendiettekande lühikokkuvõte Füüsikapäevilt 2012



## 2. DISPERSIOONISEOS

Selgus, et duaalteisenduse (1) näol on tegemist avaldisega, mis võimaldab seostada sugulaslikke valguse ja aine vastasmõju protsesse makroskoopilisel ja mikroskoopilisel tasemel.

Tuletati originaalne dispersiooniseos AFE sagedusspektri ja OA spektri vahel.

$$P(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} dx \frac{x^2 + \omega^2}{(x^2 - \omega^2)^2} j(x) = \frac{1}{\pi} \frac{d}{d\omega} \int_{-\infty}^{+\infty} dx \frac{\omega}{x^2 - \omega^2} j(x). \quad (2)$$

Niisi, teades mõõdetud AFE voolu ilmumisspektrit, võimaldab peaväärtustega integraalseos arvutada OA spektri selles materjalis.

Näiteks on  $\delta$ -funktsiooni kujulise  $j(x)$  jaotuse korral  $\omega_0$  ümber

$$P(\omega) = \frac{2j_0}{\pi} \frac{\omega_0^2 + \omega^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2}. \quad (3)$$

## 3. AJALINE KORRASTATUS

Näidati, et seos (1) põhineb energiavahetusel valguslaine ja tahkise keskkonna vahel ning vastavalt kausaalsusprintsibile on nende kostete kujunemisele vastavad ajalised korrastused erinevad.

Elektronsüsteemi teist järku koste avaldises valgusväljale eraldati selles esinevas aegkorrastuse protseduuris korreleeritud ja korreleerimata osad. Selgus, et valgusindutseeritud statsionaarne koherentne AFE laengutransport ei vaja erilist korrelatsiooni elektronide vahel.

Valgusindutseeritud OA polarisatsiooni kujunemine nõuab aga elektronsüsteemi evolutsiooni korreleeritust pärast ergastamist välise elektromagnetvälja poolt. Polarisatsioon osutub elektronlaengu makroskoopilise ümberjaotumise tulemuseks.

Ajaline inversioonisümmeetria osutub AFE korral rikutuks, kuid säilib optilisel aldamisel. AFE juhul rikutakse korrelatsioonid langevates footonites nende neeldumise tõttu reaalseste elektronsiirete käigus. OA juhul peavad valguslaine interaktsioonid elektronsüsteemiga erinevatel ajamomentidel olema korreleeritud mittelineaarse keskkonna polariseerimiseks virtuaalsete siirete kompleksis. Teoreetilises käsitluses ilmuvad vastavalt sellele kosteavaldistes dissipatiivsetele protsessidele omased  $\delta$ -funktsioonid ja mittedissipatiivsetele vastavad integraalsed peaväärtused.

Niisiis toimib seos (2) ajalisel korreleeritud ja korreleerimata koste panuste vahel aja  $\omega^{-1}$  suhtes. Samas peegeldab avaldis (1) üldist suhet dissipatiivse ja mittedissipatiivse protsessi vahel antud süsteemis.

#### 4. GEOMEETRIILISED OMADUSED

Geomeetrilise Berry faasi tähtsat rolli paljudes füüsikalistes efektides on viimasel ajal laialt teadvustatud. Autoritel õnnestus originaaltulemusena näidata, et AFE ja OA koherentne iseloom on seotud elektronsüsteemi (kristalli Blochi funktsioonide) geomeetriliste faasiomadustega Berry faasi näol.

AFE ja OA avaldistes defineeritakse impulssruumis Berry tüüpi seostused renormeeritud Blochi funktsioonide perioodiliste amplituudide kaudu  $\bar{A}_n^r = \left\langle u_{n\bar{k}}^r(\vec{r}) \left| i \frac{\partial}{\partial \vec{k}} \right| u_{n\bar{k}}^r(\vec{r}) \right\rangle$ . AFE ja OA osutuvad olevaks

otseselt määratud selliste, sisuliselt kalibratsioonipotentsiaalide vahelgi aktiivsete elektrontsoonide jaoks. Nähtuste füüsikaline olemus seisneb renormaliseeriva täiendava faasivahe ilmumises Blochi amplituudidesse  $u_{n\bar{k}}^r(\vec{r}) = u_{n\bar{k}}^r(\vec{r}) \exp\{-i\varphi_n^B\}$ . See faasivahe kogutakse kvantisiirete interferentsi käigus elektronide vaheseisundite osalusel. Analoogne lisafaas esineb näiteks Hall'i kvantefektis kvaasiosakeste statistika määramisel.

Mõlemad, nii AFE vool kui ka OA polarisatsioon, osutuvad invariantseteks geomeetrilise kalibratsiooni suhtes. Nad on korreleeritud Blochi tüüpi lainefunktsioonide sisemiste geomeetriliste omaduste suhtes.

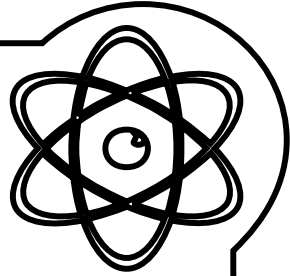
Parameeter  $\eta$  valemis (1) on samuti nagu Berry faas seotud süsteemi adiabaatilise evolutsiooniga. Võib öelda, et  $\eta$  limiteerib aja vajaliku Berry faasi muutuse kogumiseks ühe valgusperioodi vältel.

#### TÄNUAVALDUS

Antud tööd toetas ETF grant 7296.

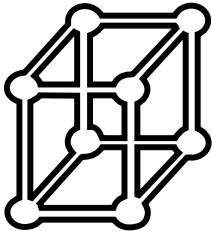
#### VIITED

- [1] N. Kristoffel and A. Pishchev, Optics Commun. 62, 108 (1987).
- [2] A. Pishchev and N. Kristoffel, Europhys. Lett. 92, 67009 (2010).



**EESTI FÜÜSIKA  
SELTS**

**2012**



## **EFS AUKIRJAD JA PREEMIAD**

### **EFS AASTAPREEMIA 2012**

#### DIPLOM

Eesti Füüsika Selts tunnistab oma aastapreemia vääriliseks

*Mario Kadastiku*

sisuka töö eest Higgsi bosoni ja tumeaine otsinguil.

Tartus, 23. märtsil 2012. a

EFS esimees

### **EFS AUKIRI 2012**

Eesti Füüsika Selts tunnustab aukirjaga

*telesarja Rakett 69 meeskonda*

väljapaistva südikuse eest teaduse populariseerimisel.

Tartus, 23. märtsil 2012. a

EFS esimees

### **EFS ÕPILASPREEMIA 2012**

#### DIPLOM

Eesti Füüsika Selts tunnistab oma õpilaspreamia vääriliseks

*Kees Vanamõlder*

uurimistöö „Rööbassoidukite dünaamika võrdlus erinevate rööpme-  
laiustega rööbasteedel“ eest.

Tartus, 23. märtsil 2012. a

EFS esimees

## TÄNUKIRI

Eesti Füüsika Selts tänab

*Mart Kuurmet*

EFS õpilaspreamia saanud töö „Rööbassoidukite dünaamika võrdlus erinevate rööpmelaiustega rööbasteedel“ autori Kees Vanamölderit juhendamise eest.

Tartus, 23. märtsil 2012. a

EFS esimees

## TÄNUKIRI

Eesti Füüsika Selts tänab

*Hans Rämmalit*

EFS õpilaspreamia saanud töö „Rööbassoidukite dünaamika võrdlus erinevate rööpmelaiustega rööbasteedel“ autori Kees Vanamölderit juhendamise eest.

Tartus, 23. märtsil 2012. a

EFS esimees

## **EFS TÄNUTÄHED**

Eesti Füüsika Selts annab tänutähed neile, kes on möödunud aastal korraldanud EFS tegevuseesmärke toetavaid silmapaistvaid tegusid:

|                                     |                           |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Piret Kuusk (Halliday, aastaraamat) | Anna Aret (aastaraamat)   |
| Nils Austa (Halliday, mehaanika)    | Karli Kütt (GLOBE)        |
| Atko Rimmel (Halliday)              | Alex Nõomaa (Teadusbuss)  |
| Aile Tamm (uudised)                 | Riina Murulaid (õpetajad) |
| Helle Kaasik (aastaraamat)          | Jaani Paaver (õpetaja)    |

Henn Voolaid (KFK)

Ketlin Piir (EFS)

Mariin Kärp (EFS)

Morten Piibelet (portaal)

Simon Vigonski (portaal)

Kaupo Kukli (uudised)

Stiina Kristal (Halliday, portaal,  
mehaanika)

Koit Timpmann (õpikojad, portaal)

Mikk Noorkõiv (portaal)

## **EESTI FÜÜSIKA SELTSI JUHATUSE 2012. AASTA TEGEVUSARUANNE**

Traditsioonilised Eesti füüsikapäevad toimusid 23.–24. märtsini Tartus Dorpati konverentsikeskuses. Füüsikapäevad organiseerisid Kaido Reivelt, Aile Tamm ja Riina Murulaid. Füüsikapäevade raames toimus 23. märtsil EFSi üldkogu, millel kinnitati seltsi juhatuse tegevus- ja majandusaruanne. Tööpäeva lõpetas traditsiooniline seltsiõhtu.

Füüsikapäevadel kuulutati välja EFSi aastapremia, mille sai Mario Kadastik (KBFI) sisuka töö eest Higgsi bosoni ja tumeaine otsinguil. EFSi aukirjad sai telesarja Rakett 69 meeskond väljapaistva südikuse eest teaduse populariseerimisel. EFSi õpilaspremia sai Kees Vanamölder (Tallinna Reaalkool) uurimistöö „Röobassoidukite dünaamika võrdlus erinevate rööpmelaiustega rööbasteedel“ eest, juhendajad õpetaja Mart Kuurme (Tallinna Reaalkool) ja dr Hans Rämmal (Tallinna Tehnikaülikool).

Ilmus EFSi aastaraamat 2011 ([www.fyysika.ee/fyysika/aastaraamat](http://www.fyysika.ee/fyysika/aastaraamat), toimetajad Anna Aret, Helle Kaasik ja Piret Kuusk). EFSi listi seltsid.efs@lists.ut.ee ja EFSi kodulehte ([www.fyysika.ee/efs](http://www.fyysika.ee/efs)) haldab Kaido Reivelt.

10.–11. märtsini toimunud Eesti koolinoorte 59. füüsikaolümpiaadil sai EFSi eriauhinna (ajakirja „Scientific American“ aastatellimuse) Jaan Toots (Tallinna Reaalkool).

Alex Nõomaa vedamisel jätkas oma tööd Teadusbuss Suur Vanker. Töötati välja neli uut etendust: akustikaetendus, atmosfäärietendus, energiaetendus ja talveetendus. Toimus 106 teadusbussi reisi 13 erineva kavaga. Iga reisi raames külastati 1–10 kooli või üritust. Aktiivselt käis teadusteatri tegemas 35 üliõpilast, külastati 107 kooli. Teadusbussi meeskonna eestvõttel toimus TÜ loodus- ja tehnoloogiateaduskonnas juba viiendat korda kursus „Teadus aimeloengutes“, millel osales ca 40 ja mille lõpetas 29 erinevate erialade üliõpilast ning mille raames nad said esmase kogemuse teadusteatri tegemisest ja teaduse populariseerimisest.

Kevadisel koolivaheajal korraldasime traditsioonilised perepäevad Tähe 4 õppehoones Tartus, detsembri keskel sai teoks ka lumerohke talvine perepäev.

Teadusbussi tegevuse raames valmistasime ette töötoad Tartu Hantspäevade Teaduslinna ürituse tarbeks. Töötoad viidi läbi 20.-21. juulini Tartus Toomemäel.

Märtsis ilmus teine osa eestikeelsest kõrgkoolide füüsikaõpikust - David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker „Füüsika põhikursus“ (*Fundamentals of Physics*). Õpiku väljaandmist toetasid riiklik programm „Eestikeelsete kõrgkooliõpikute koostamine ja väljaandmine 2008-2012“, Tartu Ülikool ja Eesti Teaduste Akadeemia. Täna on õpik kasutusel nii TÜs, TTÜs, EMÜs kui ka TLÜs.

Jätkus töö füüsika gümnaasiumi uue õppekava õpikute väljaandmisel. Kui 2011. a ilmus Indrek Peili „Mehaanika“, siis 2012. aasta alguseks olid elektrooniliselt kättesaadavad ka füüsikalise maailmapildi (autor Kalev Tarkpea) ja elektromagnetismi (autorid Kalev Tarkpea ja Henn Voolaid) õpiku käsikirjad. Kokkulepped on sõlmitud ka ülejäänud nelja uue õppekava gümnaasiumiõpiku väljaandmiseks. Õpiku väljaandmisel teeme jätkuvalt koostööd kirjastusega Maurus.

Ka EFSi e-õpiku projekt on hakanud jõudma reaalsete tulemusteni, Mindworks Industries OÜ teostuses on selle esimene nõ tööstuslik versioon nähtaval aadressil õpik.füüsika.ee. EFS loodab e-õpikute sisulisel ja vormistuslikul arendamisel teha tihedat koostööd TÜ koolifüüsika keskusega, samuti kõigi huvitatud pooltega Eesti füüsikahariduses.

Jätkus füüsika portaali ([www.fyysika.ee](http://www.fyysika.ee)) arendamine. Uudiste portaali ([www.fyysika.ee/uudised](http://www.fyysika.ee/uudised)) peatoimetaja Aile Tamme vedamisel moodustati tõlkijate-toimetajate meeskond (Stiina Kristal, Uku Pütsepp, Anu Mets), kes regulaarselt vahendab välisallikate teadusuudiseid. Lisaks sellele oleme tulemuslikult innustanud Eesti teadlaseid kirjutama oma teadustulemusi kajastavaid lühiaartikleid, mis on samuti ilmunud uudiste portaalis.

EFS osales Tartus ja Tallinnas toimunud Rahvusvahelise Füüsikaolümpiaadi (IPhO) korraldamises. Seltsi esindajana osales Kaido Reivelt IPhO juhtkomitee töös, meie vastutada oli Tartu maailma füüsikapealinnaks kuulutamise tseremoonia, samuti lõputseremoonial esitatud teadusteatri ettevalmistamine ja läbiviimine. Nende tegevuste raames sai EFS mitmeid huvitavaid kogemusi, kui meil oli võimalik teha koostööd professionaalsete näitlejatega professionaalse lavastaja toetu-

sel. Lisaks sellele osalesid väga paljud EFSi liikmed IPHO tegevuste ettevalmistamisel ja läbiviimisel.

EFS on koostöös TÜ teaduskooliga korraldanud TÜ teaduslaagreid ([www.teaduslaager.ee](http://www.teaduslaager.ee)). 2012. a teaduslaager toimus kahes vahetuses, 23.–29. juulini ja 30. juulist 5. augustini Kloogaranna noortelaagris. Esimeses vahetuses osales 111 5.–7. klassi õpilast, teises vahetuses osales 101 8.–9. klassi õpilast. Kummaski vahetuses olid õpilased jagatud viieks rühmaks, iga päeva sisustas üks teema. Teemadeks olid füüsika, keemia, materjaliteadus, bioloogia ja akustika. Juhendajateks olid Tartu Ülikooli üliõpilased ja magistrandid, laagri ettevalmistamisel osalesid ka doktorandid ja teadurid.

EFS koos TÜ loodus- ja tehnoloogiateaduskonna ning TÜ teaduskooliga jätkas füüsika, keemia ja bioloogia õpikodade programmi, kus 7.–12. klasside nutikatele ja motiveeritud õpilastele pakutakse loodusteaduste (füüsika, keemia, bioloogia) eksperimendil põhinevat eriõpet, mis aitaks kompenseerida koolide võimaluste erinevusi õpilastele loodusteadusliku hariduse andmisel. Töös on neli programmi (kaks füüsikas, üks bioloogias ja üks keemias), iga programm vastab  $8 \times 4 = 32$  tunnile. 2012. a toimus üle 400 õpikoja, töötas (kahe õppeaasta peale kokku) üle 100 rühma, kus osales ca 1500 õpilast.

Füüsikaõpetajate osakond korraldas eelmisel aastal EFSi kevadpäevade raames teaduskeskuses AHHA õpetajate sessiooni, kus osales ~70 õpetajat, aktiivsemat kaasamõtlemist tõid teemad uue ainekava füüsika I kursusest (ettekannet Saaremaa ÜG õpetajalt I. Peililt) ja kooli õpesuuna eksami ettevalmistustöödest (ettekannet Nõo G õpetajalt P.-M. Irdilt). Füüsikaõpetajate osakonna esinaiseks valiti tagasi Riina Murulaid, nõukogusse valiti Virgi Roop (GAG), Siim Oks (HTG) ning Enn Ööpik (Tartu M. Reiniku kool).

26.–28. juunini toimusid Lätis Ventspilsis X füüsikaõpetajate suvepäevad. Kuulati Ventspilsi kolledži lektorite loenguid, külastati Irbene raadioastronoomiakeskust ja tutvuti kohaliku hariduseluga. Töö toimus vene keeles. Osales 43 õpetajat.

Ka sel aastal käisid füüsikaõpetajad CERNis, seda kolmel korral: 3-nädalases suvekoolis (1 õpetaja) ja kahel nädalasel koolitusel oktoobris ja detsembris (kokku 18 õpetajat).

INNOVE rahastatud projekti raames toimus füüsikaosakonna poolt korraldatud kaheosaline koolitus gümnaasiumi ainekava teemadel. Esimeses osas, mis toimus 23.–24. augustini TÜ keemiahoones, oli



rõhuasetus I ja III kursusele ning teises osas, 14.–15. septembrini Tartu Poska Gümnaasiumis, tehti läbi kõik kohustuslikud praktilised tööd. Esimeses osas osales 85, teises osas 70 õpetajat.

Füüsikaõpetajate võrgustiku tööd kajastab veebileht [www.fyysika.ee/vorgustik](http://www.fyysika.ee/vorgustik), mida toimetab Jaan Paaver.

Eesti Füüsika Selts on läbi aasta organiseerinud GLOBE Eesti tegevust ([www.globe.ee](http://www.globe.ee)), kasutades selleks Euroopa Sotsiaalfondi ja Keskkonnainvesteeringute Keskuse projekti vahendeid. Läbi on viidud GLOBE uurimistööde konkurss, 13.–15. augustini toimus GLOBE suvelaager Mändjalas (osales 150 õpetajat ja õpilast) ning 21.–22. septembrini toimus õpilaskonverents Keila Koolis. Läbi aasta oleme läbi viinud Eesti õhusaaste mõõtmise kampaaniat ([www.fyysika.ee/ohusaaste](http://www.fyysika.ee/ohusaaste)), mille raames mõõtsid 25 kooli õpilased NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, O<sub>3</sub> ja tahma sisaldust enda kodukohas. GLOBE Eesti koordinaator Kaido Reivelt osales Hollandis toimunud GLOBE Euroopa ja Euraasia aastakonverentsil, kus otsustati järgmine rahvusvaheline konverents korraldada Eestis. GLOBE programmi põhilisteks eestvedajateks on olnud Ketlin Reis ja Karli Kütt. Tihedam koostöö on 2012. aastal olnud Muhu Põhikooli, Tartu Kivilinna Gümnaasiumi ja Keila Kooliga.

26.–28. juunini toimus Viljandimaal Kopra talus kaksiküritus, mis koosnes EFSi täppisteaduste suvekoolist ja TÜ energiaakadeemiast. 26.–28. oktoobrini toimus Voore Külalistemajas EFSi täppisteaduste sügiskool. Mõlemal üritusel osales üle 100 õpilase ja noorteadlase erinevatest Eestimaa nurkadest. Kuulati üle 20 tunni loenguid ja seminare teadusfilosoofiast, optikast, biofüüsikast, astrofüüsikast, majandusest, mittelineaarsetest protsessidest, küberkaitsest, ajuteadusest, teadusajakirjandusest ja seismoloogiast. Kokku sai ka Eesti Tudengisatelliidi rahvusvaheline meeskond. Organisaatoriteks olid Kaido Reivelt, Ketlin Piir, Agnes Vask ja Sandhra-Mirella Valdma.

TÜ füüsikatudengite eestvedamisel taaselustati 2012. aasta kevadel EFSi noorteosakond Eesti Füüsikaüliõpilaste Seltsi (FÜS) näol.

FÜSi juhtimisel korraldati sügisel koostöös TÜ LOTE dekanaadiga TÜ füüsika esmakursuslastele Mentoriprogramm, mis aitas neil ülikooli ellu kiiremini sisse elada. Esmakursuslased jagati 3–4 liikmelistesse rühmadesse, igal rühmal oli kaks vanemate kursuste füüsikut mentoriteks (töös osales 34 vanemate kursuste tudengit). Mentori-programmi põhitöö toimus mentorite ja vastavate esmakursuslaste omavaheliste kokkusaamiste käigus, kus arutati erinevaid teemasid

füüsikast, õppetööst, tudengielust ja paljust muust. Kokku toimus üle saja kokkusaamise.

Sügissemestril alustati FÜSi tudengiseminaride läbiviimist. Kokku toimus viis huviseminarit: „CERNi suvekool ja osakestefüüsika“ Joosep Pata, „Kuidas näha läbi paberi?“ Roland Matt, „Kvantmehaanika“ Hardi Veermäe, „Footon osakese ja laine superpositsioonis“ Andreas Valdmann ja „Laiakeelutsooniga materjalide füüsika – luminesentseksperimentid meil ja võõrsil“ Marco Kirm. Peale huviseminaride toimus ka kolm füüsika ülesannete lahendamismetoodikat õpetavat seminari, mida viisid läbi Kaarel Piip ja Taavi Pungas.

FÜSi algatusel korraldati ja taaselustati tudengite seminariruum füüsika õppehoone neljandal korrusel, mis on tudengite seas tuntud kui „KFV – Kodutute füüsikute varjupaik“. Rajati ka Eesti füüsikatudengeid koondavad info- ja suhtlusvõrgustikud (FÜSi koduleht [fys.fyysika.ee](http://fys.fyysika.ee)). 20. detsembril toimus korp! Ugaltas füüsika ja materjaliteaduse tudengite ühine jõulupidu, kus osales üle viiekümne tudengi ja teadlase.

2012. a astus EFSi 59 uut liiget. EFS kuulub jätkuvalt Euroopa Füüsikaühingusse.

EFS sõlmis koostöölepingu AS Eesti AGA-ga, mis võimaldab EFSil hankida soodushindadega erinevaid gaase ning vabastab meid ballooni rendi maksimisest.

EFSi ettevõtmisi toetasid aastal 2012 TÜ Füüsika Instituut, Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut, AS Eesti AGA, Eesti Teaduste Akadeemia, Haridus- ja Teadusministeerium, Tiigrihüppe SA, Keskonnainvesteeringute Keskus, Euroopa Sotsiaalfond, Tartu Ülikool, Tartu Observatoorium ja Eesti Keele Instituut. Täname kõiki toetajaid ja loodame koostöö jätkumist.

Eesti Füüsika Seltsi juhatuse liikmed:

Kaido Reivelt      Silver Lätt      Andi Hektor      Taavi Adamberg

Tartus 7. veebruaril 2013. a

## AASTA PILT 2012



Siin nad on, 378 füüsikatalenti 80 riigist - Rahvusvahelisest füüsikaolümpiaadist IPhO 2012 osavõtjad on kogunenud Tallinna Lauluväljakule.

## EFS LAIENDATUD JUHATUS 2012. AASTAL

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <b>Kaido Reivelt</b><br>esimees | Tartu Ülikool, Riia 142, 51014 Tartu<br>Tel/faks: +372 737 4623 / 738 3033<br>E-mail: kaidor@fi.tartu.ee           |
| <b>Andi Hektor</b>              | Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut,<br>Akadeemia tee 23, 12618 Tallinn<br>E-mail: andi@cern.ch            |
| <b>Silver Lätt</b>              | Tartu Ülikool, Riia 142, 51014 Tartu<br>E-mail: silver.latt@ut.ee  |
| <b>Taavi Adamberg</b>           | Tartu Ülikool, Riia 142, 51014 Tartu<br>Tel/faks: +372 5668 0032 / 738 3033<br>E-mail: taavi@fyysika.ee            |
| <b>Raavo Josepson</b>           | Tallinna Tehnikaülikool, Ehitajate tee 5, 19086,<br>Tallinn<br>Tel: +372 620 3008<br>E-mail: Raavo.Josepson@ttu.ee |
| <b>Helle Kaasik</b>             | Tartu Ülikool, Riia 142, 51014 Tartu<br>E-mail: helle.kaasik@ut.ee   |
| <b>Madis Kiisk</b>              | Tartu Ülikool, Riia 142, 51014 Tartu<br>E-mail: madis.kiisk@ut.ee  |
| <b>Katrin Laas</b>              | Tallinna Ülikool, Narva mnt 25, 10120 Tallinn<br>Tel/faks: +372 640 9408 / 640 9418<br>E-mail: klaas.82@hotmail.ee |
| <b>Anu Reinart</b>              | Tartu Observatoorium, Tõravere 61602, Tartumaa<br>E-mail: reinart@aai.ee   |
| <b>Aile Tamm</b>                | Tartu Ülikool, Riia 142, 51014 Tartu<br>E-mail: aile.tamm@ut.ee  |
| <b>Margus Saal</b>              | Tartu Ülikool, Riia 142, 51014 Tartu<br>E-mail: margus.saal@ut.ee  |
| <b>Riina Murulaid</b>           | Tartu Miina Härma Gümnaasium<br>E-mail: riina.murulaid@gmail.com   |

**EFS uued liikmed**

Ando Aasa  
 Ats Aasmaa  
 Helen Aitai  
 Juhani Almers  
 Raimo Armus  
 Jan Bogdanov  
 Sven Bogdanov  
 Hendrik Ehrpais  
 Kristjan Eimre  
 Marko Eltermann  
 Mart Ernits  
 Siim Heinsalu  
 Johannes Heinsoo  
 Martin Horn  
 Andres Jaanson  
 Joonas Jäme  
 Kristjan Kalam  
 Veiko Karindi  
 Karl Kristjan Kaup  
 Andres Kepler  
 Tanel Kiis  
 Mihkel Killo  
 Üllar Kivila  
 Sirje Kollom  
 Oleg Kosik  
 Vegard Kruusla  
 Kadi Külasalu  
 Kristian Kuppert  
 Jasper Kursk  
 Liis Kuusik

Margus Mägi  
 Joosep Michelis  
 Moorits Mihkel Muru  
 Madis Ollikainen  
 Mihkel Oselein  
 Jaan Paaver  
 Rauno Padari  
 Anne-Mai Pall  
 Morten Piibelet  
 Mihkel Põldemaa  
 Toivo Pungas  
 Taavi Pungas  
 Riho Raabe  
 Ants Remm  
 Karel Roots  
 Anna-Helena Saarso  
 Anu Saarva  
 Kadri Savi  
 Helina Seemen  
 Sander Suurpere  
 Maret Tamme  
 Andre Tättar  
 Olga Tihhonova  
 Aivo Toots  
 Eero Vaher  
 Agnes Vask  
 Jorma Veiderpass  
 Kristiina Verro  
 Umar Zarip

## TÄPPISTEADUSTE SUVEKOOL 2012

Eesti Füüsika Selts ja doktorikool „Funktsionaalsed materjalid ja tehnoloogiad“ korraldavad 26. – 28. juunini Kopra Talus EFSi täppisteaduste suvekooli ja TÜ energiaakadeemia.

### LOENGIKAVA

#### SUVEKOOL

#### ENERGIAAKADEEMIA

#### Teisipäev, 26. juuni

- 14:00 – Tervituskõned  
14:15
- 14:15 – Roomet Jakapi (TÜ). Hinge metafüüsikast varauusajal  
15:05
- 15:05 – Toni Laurila (MIKES). Advances in the Optical Analytics of Liquids and Gases  
16:55
- 17:25 – Alan Tkaczyk (TÜ). Tuumaenergeetikaga seonduvad keskkonnaaspektid  
18:00
- 18:00 – Mihkel Pajusalu (TÜ). Bioenergeetikast, sh bioloogilised ja orgaanilised energiaallikad  
18:45

#### Kolmapäev, 27. juuni

- 9:30 – Andres Arrak (EEK Mainor). Elu võimalikkusest Eestis 2050  
12:45
- 13:45 – Aleksei Turovski (Tallinna loomaaed). Pterostigmast  
15:25
- 15:25 – Kaupo Voormansik (TÜ), Aire Olesk (TÜ) ja Karlis Zalite (TO). Tehisavaradari rakendused maa all ja maa peal  
15:55
- 15:55 – Priit Pikk (EMÜ). Päikeseenergia võimalused jahutamiseks  
16:25
- 15:55 – Eesti Füüsika Seltsi tegevustest  
16:25

**Neljapäev, 28. juuni**

- 10:00 – Mihkel Kama (UvA). Tähtede sünd ja maavälise elu  
 11:00 otsingud.
- 11:00 – Jaan Aru (MPI). Ajuta ajuteadus  
 12:00
- 12:00 – Juhan Aru (University of Cambridge). Gaasimaskid,  
 13:00 magnetid, polümeerid ja natuke matemaatilist tsementi.

**TÄPPISTEADUSTE SÜGISKOOL 2012**

26.–28. oktoobril toimus Voore külalistemajas ([www.voorekylalistemaja.ee](http://www.voorekylalistemaja.ee)) igasugisene Eesti Füüsika Seltsi täppisteaduste sügiskool.

**LOENGIKAVA****Reede, 26. oktoober**

- 14:00 – 14:15 Tervituskõned
- 14:15 – 14:50 Jan Willemson. E-valimised: hääle kontrollimine  
 Eesti internetihääletusel
- 14:50 – 16:25 Andrus Salupere. Mittelineaarsetest lainetest, peamiselt solitonidest
- 16:55 – 17:45 Jörg Pieper. Protein and hydration water dynamics studied by neutron scattering
- 17:45 – 18:45 Peeter Tenjes. Galaktikate teke

**Laupäev, 27. oktoober**

- 9:30 – 10:30 Kalev Kaarna. Kuidas füüsikatudengid saavad muuta oma uurimistöö rahamasinaks?
- 10:30 – 11:30 Dan Bogdanov. Kuidas peita arvuti eest seda, mida arvutatakse?
- 11:30 – 12:30 Kristjan Korjus. Teie mõtted on loetavad!
- 13:30 – 16:30 Marge Täks. Edukas karjäär – kas kaasasündinud anne või õpitud oskused? (Mart Noorma sissejuhatus)

17:00 – 18:30 Tiit Kändler. Füüsika: koomiks või traagiks? Ääretin-  
gimuste ja tausta tähtsus teaduse populariseerimi-  
sel

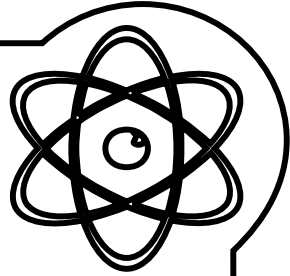
**Pühapäev, 28. oktoober**

10:00 – 11:00 Peeter Saari. Terve mõistus, instinktid ja tabud füü-  
siku harituses

11:00 – 11:50 Heidi Soosalu. Seismiliste signaalide analüüs

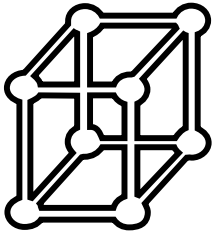
11:50 – 13:00 Arvi Tavast. Kuidas leppida mõttega, et tekstil pole  
tähtsust?





# **FÜÜSIKAKROONIKA**

**2012**



## I. TÖÖKORRALDUS

- 2012. aasta jaanuarist rakendus ametlikult Tartu Ülikooli uus kaasajastatud juhtimismudel, mis kaasab ülikooli tegevusse ka väliseid partnereid. TÜ kõrgeim otsustuskogu on 11-liikmeline ülikooli nõukogu, kes vastutab ülikooli majandustegevuse ja pikaajalise arengu eest, kinnitab nõukogu põhikirja ning võtab vastu ülikooli arengukava ja eelarve. Nõukogu koosseisu kuulub 11 liiget: TÜ nõukogu poolt esitatud Toomas Asser, Toivo Maimets, Peeter Saari, Jüri Sepp ja Paul Varul, Eesti Teaduste Akadeemia esitatud Kari Olavi Raivio ning haridus- ja teadusministeeriumi poolt esitatud Kaja Tael, Toomas Kiho, Kersti Kaljulaid, Vahur Kraft ja Aku Sorainen.
- 31. mail valiti Tartu Ülikooli uueks rektoriks rakendusgeoloogia professor Volli Kalm.
- 30. apr valiti Tartu Observatooriumi teadusnõukogu koosolekul juhtivateaduriks kosmoloogia erialal Enn Saar ja juhtivateaduriks astrofüüsika erialal Jaan Pelt. Vanemteaduriks galaktikate füüsika erialal valiti Urmas Haud, vanemteaduriks astrofüüsika erialal Laurits Leedjärv ning vanemteaduriks kaugeire erialal Joel Kuusk. Teaduriks galaktikate füüsika erialal valiti Antti Tamm ja teaduriks astrofüüsika erialal Tõnis Eenmäe.
- 1. maist asus TO teaduri ametikohal tööle Boris Zhivkov Deshev.
- 1. septembrist töötab TO juhtivateadurina Olaf Krüger.
- 24. septembrist töötab TO teadurina Philipp Grötsch.
- 1. okt alustasid tööd TO teaduritena Jukka Nevalainen ja Heidi Lietzen.
- 4. okt pandi nurgakivi TÜ Füüsika Instituudi uuele majale Tartus Maarjamõisa teaduslinnakus Viljandi mnt 42. Uus kaasaegne hoone peaks ära katma kogu TÜ füüsika-alase teadus- ja õppetööga seotud vajadused. Maja ehitab OÜ Astlanda Ehitus ja see peaks valmima 2014. a.
- 22. okt oli täielikult renoveeritud Tartu Observatooriumi peahoone ja uue kosmosetehnoloogia laborikompleksi pidulik avamine.
- 23. nov valiti TÜ Füüsika Instituudi teadusnõukogus instituudi uueks direktoriks korrastamata süsteemide professor Jaak Kikas.
- 26.-28. nov valiti TÜ Füüsika Instituudi uue teadusnõukogu 20 liiget lisaks ametikohajärgsetele liikmetele (direktsioon, korralised professorid, sihtteemade ja institutsionaalsete uurimistoetuste juhid) ning

direktori poolt nimetatud kahele liikmele. Kokku on TÜ FI uues nõukogus 40 liiget.

- 2012. aasta jooksul valiti TÜ Füüsika Instituudis aerosoolifüüsika vanemteaduriks Eduard Tamm, materjaliteaduse vanemteaduriks Dmitry Spassky, atmosfäärifüüsika numbrilise modelleerimise vanemteaduriks Arne Männik, biofüüsika vanemteaduriks Juha Matti Linnanto, õhusaaste vanemteaduriks Marko Kaasik, füüsikalise optika vanemteaduriks Heli Lukner, tahkisefüüsika vanemteaduriks Svetlana Zazubovitš, teoreetilise füüsika vanemteaduriks Hannes Liivat, tahkiseteooria vanemteaduriteks Vladimir Hižnjakov, Imbi Tehver ja Mati Haas, vanemteaduriteks Ahti Niilisk, Arnold Rosental, Ilmar Kink ja Kaido Reivelt, elektron-spektroskoopia teaduriks Rainer Pärna, meditsiinifüüsika ja biomeditsiinitehnika teaduriks Kalle Kepler, materjaliteaduse teaduriteks Martin Timusk, Leonid Dorogin ja Jevgeni Šulga, tahkisefüüsika teaduriks Kristjan Leiger, kiletehnoloogia teaduriks Aivar Tarre, teaduriks Alexander Vanetsev, optika ja spektroskoopia assistendiks Lennart Neiman, füüsika didaktika lektoriks Henn Voolaid, assistendiks Kristel Uiboupin, lektoriks Hele Siimon, teaduriteks järel doktorid Zhannur Azmaganbetova, Antonio Benedetto, Manuel Hohmann ja Luca Marzola, nooremteaduriks Peeter Piksarv.
- TO galaktikate füüsika töörühma vanemteadur Peeter Tenjes valiti Tartu Ülikooli professoriks.
- 2012. aastal oli TTÜ füüsikainstituudi koosseisus 22 töötajat. Ametikohad: professoreid 2, dotsente 6, lektoreid 6, assistente 3, vanemteadureid 1, teadureid 1, insenere 2, direktori abi 1, sekretär-juhiabi 1. Füüsikainstituudi direktor oli dotsent Pavel Suurvarik.
- 5. dets valiti Eesti Teaduste Akadeemia akadeemikuks täppisteaduste alal TÜ professor Ergo Nõmmiste.

## II. VÄITEKIRJADE KAITSMINE

### DOKTORITÖÖD

#### Tartu Ülikooli Füüsika Instituudi nõukogu

- 15. juunil kaitses **Martin Timusk** doktoritöö „Development and characterization of hybrid electro-optical materials“ (Hübriidsete elektrooptiliste materjalide väljatöötamine ja karakteriseerimine)

PhD kraadi saamiseks füüsikas. Juhendajad dr Kristjan Saal (TÜ FI) ja dr Rünno Lõhmus (TÜ FI). Oponendid dr Karine Mougine (Institut de Science des Matériaux de Mulhouse, University of Haute-Alsace, France) ja dr Mihkel Koel (TTÜ).

- 14. sept kaitses **Merle Lust** doktoritöö „Assessment of dose components to Estonian population“ (Elanikkonna kiirgusdoosi komponentide hindamine) PhD kraadi saamiseks füüsikas. Juhendajad dr Enn Realo (TÜ FI) ja dr Rünno Lõhmus (TÜ FI). Oponendid dr Raimo Mustonen (Radiation and Nuclear Safety Authority, Helsinki, Finland) ja DSc Tõnu Viik (TO).
- 12. dets kaitses **Karl Kruusamäe** doktoritöö „Deformation-dependent electrode impedance of ionic electromechanically active polymers“ (Ioonsete elektromehaaniliselt aktiivsete polümeeride deformatsioonist sõltuv elektroodi impedants) PhD kraadi saamiseks füüsikas. Juhendajad dr Andres Punning (TÜ TI) ja prof Alvo Aabloo (TÜ TI). Oponendid prof Mart Min (TTÜ) ja dr Jonathan Michael Rositer (University of Bristol, UK).
- 19. dets kaitses **Liis Rebane** doktoritöö „Measurement of the  $W \rightarrow \tau\nu$  cross section and a search for a doubly charged Higgs boson decaying to  $\tau$ -leptons with the CMS detector“ ( $W \rightarrow \tau\nu$  ristlõike mõõtmine ja  $\tau$ -leptoniteks laguneva topeltlaetud Higgsi bosoni otsimine CMSi eksperimendis) PhD kraadi saamiseks füüsikas. Juhendajad prof Alessandro Strumia (KBFI) ja prof Martti Raidal (TÜ FI). Oponendid dr Oxana Smirnova (Lundi Ülikool, Rootsi) ja prof Rein-Karl Loide (TTÜ).

### **Tartu Ülikooli materjaliteaduse doktorinõukogu**

- 27. jaan kaitses **Rainer Pärna** doktoritöö „Surface studies of some oxide films“ (Mõningate õhukeste kilede pinnauuringud) PhD kraadi saamiseks materjaliteaduses. Juhendajad dr Vambola Kisand (TÜ FI) ja prof Ergo Nõmmiste (TÜ FI). Oponent prof Nils Martensson (Department of Physics and Astronomy, Uppsala University, Sweden).
- 27. jaan kaitses **Jevgeni Šulga** doktoritöö „Self-assembly and interaction of nanostructures“ (Nanostruktuuride interaktsioon ja iseorganiseerumine) PhD kraadi saamiseks materjaliteaduses. Juhendaja dr Ilmar Kink (TÜ FI). Oponendid dr Albert Nasibulin (Department of Applied Physics, Aalto University School of Science, Finland) ja prof Renno Veinthal (TTÜ).

- 16. mail kaitses **Wojciech Kuznik** doktoritöö „Quantum-chemical computer simulations of the linear and non-linear optical properties of pyrazoloquinoline and dicyanopyrazine derivatives“ (Pyrazoloquinoline ja dicyanopyrazine derivaatide lineaarsete ja mittelineaarsete optiliste omaduste kvantkeemilised arvutisimulatsioonid) PhD kraadi saamiseks materjaliteaduses. Juhendaja prof Mikhail Brik (TÜ FI). Oponendid prof Bohdan Andriyevskyy (Department of Electronics and Computer Sciences, Koszalin University of Technology, Poland) ja dr Mihhail Klopov (TTÜ).
- 29. juunil kaitses **Leonid Dorogin** doktoritöö „Structural and tribological properties of zero- and one-dimensional nanocrystals“ (1- ja 0-dimensiooniliste nanokristallide struktuuralsed ja triboloogilised omadused) PhD kraadi saamiseks materjaliteaduses. Juhendajad prof Alexey Romanov (TÜ FI) ja dr Ilmar Kink (TÜ FI). Oponendid dr Arvo Mere (TTÜ) ja DSc Karim Mynbaev (Ioffe Physical-Technical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg).

### **Tartu Ülikooli keskkonnatehnoloogia õppekavade teaduskraadi andev ühishnõukogu**

- 14. juunil kaitses **Martin Liira** doktoritöö „Active filtration of phosphorus in Ca-rich hydrated oil shale ash: precipitation mechanisms and recovery“ (Fosfori aktiivfiltratsioon kaltsiumirikka hüdratiseeritud põlevkivituhasetega: sadestusmehhanismid ja taaskasutus) PhD kraadi saamiseks keskkonnatehnoloogias. Juhendajad prof Kalle Kirsimäe (TÜ ÖMI) ja prof Ülo Mander (TÜ ÖMI). Oponent dr Günter Langergraber (Viini Ülikool, Austria).
- 30. aug kaitses **Kristjan Karabelnik** doktoritöö „Advanced design and management of hybrid constructed wetlands: environmental and water purification effects“ (Täiustatud meetodid kombineeritud tehismärgalade rakendamisel: keskkonnamõjud ja puhastusefektiivsus) PhD kraadi saamiseks keskkonnatehnoloogias. Juhendaja prof Ülo Mander (TÜ ÖMI). Oponent prof Otto R. Stein (Montana Osariigi Ülikool, USA).
- 20. nov kaitses **Hiie Nõlvak** doktoritöö „Influence of qPCR workflow on target gene enumeration from environmental samples in the case of bioremediation potential estimation“ (Kvantitatiivse polümeraasi ahelreaktsiooni modifikatsioonide mõju märklaudgeeni kvantifitse-

rimisele keskkonnaproovidest bioremediatsiooni hindamisel) PhD kraadi saamiseks keskkonnatehnoloogias. Juhendajad prof Ain Heinaru (TÜ MRI) ja prof Jaak Truu (TÜ ÖMI). Oponent prof Olli Heikki Tuovinen (Ohio Osariigi Ülikool, USA).

- 21. dets kaitses **Riina Klais** doktoritöö „Phytoplankton trends in the Baltic Sea“ (Läänemere fütoplankton muutuste keerises) PhD kraadi saamiseks keskkonnatehnoloogias. Juhendaja dr Kalle Olli (TÜ ÖMI). Oponent prof Niels Jacob Carstensen (Aarhusi ülikool, Taani).

### Tartu Ülikooli Keemia Instituudi nõukogu

- 27. apr kaitses **Kalev Takkis** doktoritöö „Virtual screening of chemical databases for bioactive molecules“ (Sobiva omaduste profiiliga ühendite tuvastamine keemiliste struktuuride andmekogudest) PhD kraadi saamiseks molekulaartehnoloogias. Juhendaja dr Sulev Sild (TÜ KI). Oponent prof Marjana Novič (Riiklik Keemiainstituut, Sloveenia).

### Tartu Ülikooli Tehnoloogiainstituudi nõukogu

- 4. mail kaitses **Hannes Luidalepp** doktoritöö „Studies on the antibiotic susceptibility of Escherichia coli“ (Escherichia coli antibiootikumitundlikkust mõjutavad tegurid) PhD kraadi saamiseks biomeditsiini tehnoloogia erialal. Juhendaja prof Tanel Tenson (TÜ TI). Oponent prof Matthias Heinemann (Gröningeni Ülikool, Holland).
- 8. juunil kaitses **Vahur Zadin** doktoritöö „Modelling the 3D-microbattery“ (3D-mikroaku modelleerimine) PhD kraadi saamiseks füüsikalise infotehnoloogia erialal. Juhendajad prof Alvo Aabloo (TÜ TI) ja dr Heiki Kasemägi (TÜ TI). Oponent dr Mårten Behm (KTH, Stockholm, Rootsi).
- 16. aug kaitses **Janno Torop** doktoritöö „Carbide-derived carbon-based electromechanical actuators“ (Karbiidset päritolu süsinikmaterjalidel põhinevad elektromehaanilised täiturid) PhD kraadi saamiseks füüsikalise infotehnoloogia erialal. Juhendajad prof Alvo Aabloo (TÜ TI) ja dr Mati Arulepp (Skeleton Technologies OÜ). Oponent prof Edwin Willem Harm Jager (Linköpingi Ülikool, Rootsi).
- 21. aug kaitses **Viljar Palmre** doktoritöö „Fabrication and characterization of microporous carbon-based electroactive polymer actuators“ (Mikropoorset süsinikul põhinevate elektroaktiivsete polümeer-

sete aktuaatorite valmistamine ja karakteriseerimine) PhD kraadi saamiseks materjaliteaduse erialal. Juhendajad prof Alvo Aabloo (TÜ TI) ja prof Enn Lust (TÜ). Oponent prof Ari Ivaska (Åbo Akademi, Finland).

- 4. okt kaitses **Julia Suhorutšenko** doktoritöö „Cell-penetrating peptides: cytotoxicity, immunogenicity and application for tumor targeting“ (Rakku sisenevad peptiidid: tsütotoksilisus, immunogeensus ning rakendamise tumor-spetsiifilise transportvektorina) PhD kraadi saamiseks biomeditsiini tehnoloogia erialal. Juhendaja prof Ülo Langel (TÜ TI). Oponendid prof Steven F. Dowdy (California Ülikool, San Diego, USA) ja prof Ale Närvänen (Ida-Soome Ülikool, Kuopio, Soome).
- 2. nov kaitses **Viktoriya Shyp** doktoritöö „G nucleotide regulation of translational GTPases and the stringent response factor RelA“ (Translatsiooniliste GTPaaside ja poomisvastuse faktori RelA reguleerimine G-nukleotiidide poolt) PhD kraadi saamiseks biomeditsiini tehnoloogia erialal. Juhendajad dr Vasili Hauryliuk (TÜ TI) ja prof Tanel Tenson (TÜ TI). Oponent dr Michael Cashel (National Institute of Health, USA).

#### **Tallinna Tehnikaülikooli materjaliteaduse instituut**

- 15. nov kaitses **Katri Muska** doktoritöö „Study of Composition and Thermal Treatments of Quaternary Compounds for Monograin Layer Solar Cells“ (Päikeseptareides kasutatavate monoterapulbriliste nelikühendite koostise ja termotöötluste uurimine). Juhendaja vanemteadur Marit Kauk-Kuusik (TTÜ). Oponendid dr António Ferreira da Cunha (Aveiro Ülikool, Portugal) ja prof Enn Lust (TÜ).
- 27. nov kaitses **Kairi Otto** doktoritöö „Deposition of In2S3 Thin Films by Chemical Spray Pyrolysis“ (In2S3 õhukesed kiled keemilise pihustuspürolüüsi meetodil). Juhendaja juhtivteadur Malle Krunks (TTÜ). Oponendid vanemteadur Kaupo Kukli (TÜ) ja teadur Imre Miklós Szilágyi (Budapesti Tehnika- ja Majandusülikool, Ungari).

#### **Tallinna Tehnikaülikooli Küberneetika Instituut**

- 23. veebr kaitses **Ardo Illaste** doktoritöö „Analysis of Molecular Movements in Cardiac Myocytes“ (Molekulaarsete liikumiste analüüs südamelihaskudedes). Juhendaja vanemteadur Marko Vende-

lin (KüBI), oponendid prof Allen Kaasik (TÜ farmakoloogia instituut) ning dr Pasi Tavi (Ida-Soome Ülikooli Biotehnoloogia ja Molekulaarmeditsiini osakonna teadusdirektor).

- 12. apr kaitses **David W Schryer** doktoritöö „Metabolic Flux Analysis of Compartmentalized Systems using Dynamic Isotopologue Modeling“ (Isotopoloogilise modelleerimise rakendamine heterogeensete bioloogiliste süsteemide ainevahetusvoo analüüsis). Juhendajad vanemteadur Marko Vendelin (KüBI), professor Toomas Paalme (TTÜ), vanemteadur Pearu Peterson (KüBI), oponendid Katharina Nöh (Forschungszentrum Jülich GmbH) ning prof Tanel Tenson (TÜ).
- 25. mail kaitses **Andrei Errapart** doktoritöö „Photoelastic Tomography in Linear and Non-linear Approximation“ (Fotoelastsustomograafia lineaarses ja mittelineaarses lähenduses). Juhendaja juhtivteadur Hillar Aben (KüBI), oponendid prof Emmanuel Gdoutus (Traakia Demokritose Ülikool, Kreeka) ning dr Jonathan Williams (Pilkingtoni Tehnoloogiakeskus, Suurbritannia).
- 11. juunil kaitses **Juri Belikov** doktoritöö „Polynomial Methods for Nonlinear Control Systems“ (Polünoommeetodid mittelineaarses juhtimissüsteemides). Juhendaja dots Eduard Petlenkov (TTÜ), konsultant juhtivteadur Ülle Kotta (KüBI), oponendid prof Henk Nijmeijer (Eindhoveni Tehnikaülikool, Holland) ning prof Anna Maria Perdon (Marche Polütehniline Ülikool, Itaalia).
- 24. sept kaitses **Oxana Kurkina** doktoritöö „Nonlinear dynamics of internal gravity waves in shallow seas“ (Siselainete mittelineaarne dünaamika madala vee lähenduses). Juhendajad prof Tarmo Soomere (KüBI) ja prof Efim Pelinovsky (Nizny Novgorod), oponendid prof Christian Kharif (Mittetasakaaluliste Nähtuste Uurimisinstituut ja Kõrgem Insenerikool – École Centrale Marseille, Prantsusmaa) ning prof Henrik Kalisch (Bergeni Ülikool, Norra).

### **Tallinna Ülikooli loodusteaduste doktorinõukogu**

- 4. dets kaitses **Katrin Laas** doktoritöö „Stochastic Resonance in Harmonic and Fractional Oscillators“ (Stohhastiline resonants harmoonilises ja murrulise tuletisega ostsillaatoris) PhD kraadi saamiseks. Juhendaja prof Romi Mankin (TLÜ). Oponendid prof Michail D. Todorov (Sofia Tehnikaülikool, Bulgaaria) ja prof Teet Örd (TÜ).



## Vrije Universiteit Brussel

- 17. aug kaitses **Taavi Tuvikene** doktoritöö „CCD photometry of variable stellar sources: Data reduction workflow, assessment of accuracy, case studies“ (Muutlike täheliste allikate CCD-fotomeetria: andmetöötluse töövoog, täpsuse hindamine, juhtumiuuringud) PhD kraadi saamiseks. Juhendaja dr Christiaan Sterken (Vrije Universiteit Brussel). Kaitsmiskomisjoni esimees prof dr Catherine De Clercq (Vrije Universiteit Brussel).

## III. ÕPPETÖÖ

- Tartu Ülikoolis olid 2012. a avatud füüsikaga seotud õppekavad:
  - bakalaureuseõppes: arvutitehnika, füüsika, haridusteadus (loodusteaduslikud ained), infotehnoloogia, keskkonnatehnoloogia, materjaliteadus, ökoloogia ning elustiku kaitse;
  - magistriõppes: arvutitehnika, füüsika, gümnaasiumi loodusteaduste õpetaja, infotehnoloogia (kuni 2010./11. õ.-a), keskkonnatehnoloogia, kultuuriväärtuste säilitamine (kuni 2010./11. õ.-a), materjalid ja protsessid jätkusuutlikus energeetikas („Materials and Processes of Sustainable Energetics“, ühisõppekava TTÜ-ga), materjaliteadus, rakenduslik mõõteteadus, ökoloogia ning elustiku kaitse;
  - doktoriõppes: füüsika, keskkonnatehnoloogia, loodusteaduslik haridus, materjaliteadus, molekulaartehnoloogia, tehnika ja tehnoloogia.
- Tartu Ülikooli doktoriõppesse võeti:
  - füüsika erialal: Jakob Jõgi, Mihkel Heidelberg, Kaarel Piip, Liis Reisberg, Rasmus Talviste, Rain Kipper, Alexander Chaykin, Silver Leinberg;
  - materjaliteaduse erialal: Tõnis Arroval, Vladimir Churmanov, Tai-vo Jõgiaas, Arko Kesküla, Henri Mägi, Ivo Romet, Kaspar Roosalu, Kaido Siimon, Triinu Taaber;
  - keskkonnatehnoloogia erialal: Mihhail Fetissof, Kuno Kasak, Kertu Tiirik, Taavi Vaasma, Priit Vabamäe;
  - tehnika ja tehnoloogia erialal: Suzanne Helen Blake, Pirko Jalakas, Indrek Jõesaar, Hannah Elizabeth Laura Leonova, Toomas Mets, Inga Põldsalu, Kalle Pärn, Mart Toots, Katrin Zirk;
  - loodusteadusliku hariduse erialal: Kerti Ait, Alo Kivilo.

- TÜ magistriõppesse võeti:
  - füüsika erialal: Mikk Antsov, Kalev Erme, Marko Eltermann, Andrjus Frantskjavitšius, Siim Kanne, Erik Kulu, Meeri Lembinen, Ardi Loot, Erkki Luhamaa, Roman Malõšev, Martin Neerot, Sven Oras, Regina Pala, Joosep Pata, Taavi Pungas, Mattias Rennel, Taavi Repän, Taavi Tuvi, Mikk Vahtrus;
  - materjaliteaduse erialal: Madis Harjo, Kati Kongi, Kaur Leemets, Tõnis Lehto, Marek Mooste, Kristel Möldre, Rasmus Palm, Ingrid Rebane;
  - keskkonnatehnoloogia erialal 29 üliõpilast;
  - erialal „Materjalid ja protsessid jätkusuutlikus energeetikas“ 15 üliõpilast;
  - gümnaasiumi loodusteaduste õpetaja erialal 25 üliõpilast;
  - rakendusliku mõõteteaduse erialal 8 üliõpilast;
  - arvutitehnika erialal 16 üliõpilast;
  - ökoloogia ja elustiku kaitse erialal 15 üliõpilast.
- Tartu Ülikooli 3-a bakalaureuseõppe lõpetasid:
  - füüsika: Mikk Antsov, Marko Eltermann, Kalev Erme, Andrjus Frantskjavitšius, Johannes Heinsoo, Siim Kanne, Evelin Kuiv, Erik Kulu, Karli Kütt, Meeri Lembinen, Ardi Loot – *cum laude*, Roman Malõšev, Martin Neerot, Riinu Ots, Joosep Pata, Tanel Peet, Viljar Pihlapuu, Taavi Repän, Raol Tamberg, Olga Tihhonova, Taavi Tuvi;
  - arvutitehnika: Juri Babkin, Alex Nõomaa, Georgi Olentšenko, Madis Sepp, Karl Tiirik, Tõnis Uiboupin, Erki Viidalepp;
  - infotehnoloogia: Henri Kuuste, Indrek Ploom;
  - keskkonnatehnoloogia: Kai Allikas, Triin Anier, Birgit Arujõe, Evert Eero, Märten Haugas, Kaarel Kahu, Evelin Kangro, Kaidi Kattai, Birgit Kena, Tambet Krinal, Anna-Liisa Kuslap, Kristjan Leben, Rauno Mets, Marion Mitt, Maris Nikopensius, Maris Palo, Kairi Part, Kerli Prants, Kaisa Putk, Birgit Põdra, Kairi Raabe, Kadi Sau, Liina Sobak, Eerik Säre, Tanel Voormansik;
  - materjaliteadus: Kristi Kärner, Kaur Leemets, Kristel Möldre, Ingrid Rebane;
  - haridusteadus (loodusteaduslikud ained): Kadri Birk, Moonika Hüsson, Merilin Kalavus, Ivan Kisly, Triinu Lüüde, Marian Mitt, Hanna-Liisa Pakosta, Maarja Pappa, Krista Putrolainen, Kaire Roosimäe, Siret Soonsein, Janeli Säärits, Elen Süvalep, Irene Tillart, Epp Vaidre;

- ökoloogia ning elustiku kaitse: Anna Amelkina, Grete-Stina Haaristo, Elise Joonas, Madli Jõks, Ott Kangur, Liina Kinkar, Heli Kirik, Luize-Ingrid Klimova, Annely Koorits, Katrin Kurg, Maarja Kuuspu, Marja-Liisa Kämärä – *cum laude*, Teivi Laurimäe, Mariann Leps, Eva Lind, Kirsi Loide, Lagle Matetski, Maarja Matsoo, Liisi Müür, Helena Palmeos, Anni Zupping, Tauno Tilk, Kunter Tätte, Liina Veske.
- Tartu Ülikooli loodus- ja tehnoloogiateaduskonna magistriõppe (3+2) lõpetasid:
  - loodusteaduse magister:
    - \* füüsika: Mihkel Heidelberg – *cum laude*, Jakob Jõgi – *cum laude*, Rain Kipper, Teet Kuutma, Martin Lind, Kaarel Piip – *cum laude*, Priit Priimägi, Liis Reisberg, Magnus Truupõld, Rainer Vabamäe;
    - \* keskkonnatehnoloogia: Kätlin Juuram, Urmas Karu, Kuno Kasak, Marit Kivisild, Dmitri Koroljov, Erki Lember, Kertu Liebert, Maive Martinson, Kati Naelapea, Kati Pilter, Mirjam Potter, Triin Raja, Made Saadve, Airi Saarmäe – *cum laude*, Rain Saarmäe, Jana Suurthal – *cum laude*, Martin Sööt, Liis Zukker-Toots, Margrethe Thetloff, Diana Tiidema, Taavi Vaasma – *cum laude*, Priit Vabamäe, Elar Vulla;
    - \* ökoloogia ning elustiku kaitse: Marilyn Kalas, Mari Müür, Kateriina Rumvolt, Egle Soe, Valentina Zolotarjova, Marju Tamm, Johanna Vahtra, Maarja Vaikre, Margus Vilbas;
  - tehnikateaduse magister:
    - \* materjaliteadus: Tõnis Arroval – *cum laude*, Taivo Jõgiaas, Arko Kesküla, Robert Matias Mononen, Henri Mägi, Mailiis Pala, Inga Põldsalu, Keio Riikjärv, Pille Rinne, Kaspar Roosalu, Anton Ruzanov, Silver Sepp, Kaido Siimon – *cum laude*, Triinu Taaber;
    - \* materjalid ja protsessid jätkusuutlikus energeetikas (ühisõppekava ja ühisdiplom TTÜ-ga): Tufan Can – *cum laude*, Minjie Dong, Cristina Isabel Insignares Cuello, Mari-Liis Kell – *cum laude*, Kristina Kiivramees, Merike Kriisa – *cum laude*, Nino Maghradze – *cum laude*, Kaspar Pae, Aleksei Tretjakov, Ertunc Yildiz, Der-Liang Yung – *cum laude*, Can Rüstü Yörük, Rabin Kumar Dahal, Nikhil Pokharel;
    - \* rakenduslik mõõteteadus: Antonio Semakalu, Alda Andersone, Karlis Andersons, John Can Blackburn, Iuliia Demchuk, Hanno Evard – *cum laude*, Eyüp Zorla, Mykola Tverdokhlib.

- Tallinna Ülikooli füüsika doktorandid olid Anna-Liisa Ikart (juh Tõnu Laas), Neeme Lumi (juh Astrid Rekker), Tarmo Metsmägi (juh Andi Kivinukk), Jana Paju (juh Jaanis Priimets), Anna Saksa (juh Andi Kivinukk ja Maria Zeltser), Veronika Shirokova (juh Tõnu Laas) ja Berit Väli (juh Tõnu Laas).
- TLÜ magistrandid:
  - füüsika erialal: Helina Lipp (juh Tõnu Laas), Peeter Tamm (juh Tõnu Laas) ja Martin Vällik (juh Tõnu Laas);
  - füüsikaõpetaja erialal: Kalju Tamme (juh Tõnu Laas), Merit Masso (juh Erkki Soika ja Helin Puksand), Merike Martsepp (juh Kirsti Solvak ja Tõnu Laas) ja Virgi Roop (juh Kirsti Solvak).
- TLÜ bakalaureuseõppes lõpetasid füüsika erialal Reelika Arm, Helina Lipp, Sergei Ošotin, Sandra Sepp, Villem Säre, Kalju Tamme ja Siim Veskit.
- TLÜ füüsika eriala magistriõppe lõpetas Jana Paju.
- TLÜ füüsikaõpetaja eriala magistriõppe lõpetasid Alis Langemets ja Julia Tsõgankova (2013. a).
- TTÜ füüsikainstituudis õppisid 2011./2012. a:
  - tehnilise füüsika doktorantuuris: Erkki Kask (juh prof Jüri Krustok), Himani Kanduri (juh prof Jüri Krustok ja KBFI van.teadur Raivo Stern), Mario Mars (juh van.teadur Vladislav-Venjamin Pustõnski, kaasjuhendaja Voldemar Harvig), Marion Murumaa (juh KBFI van.teadur Martti Raidal, teadur Andi Hektor, dots Pavel Suurvarik), Tõnis Oja (juh prof Rein-Karl Loide), Reio Põder (juh KBFI van.teadur Juhan Subbi ja dots Pavel Suurvarik), Jaak Toomela (juh dots M. Klopov); 2012. a suvel astus doktorantuuri Aleksandr Graf (juh dots Aleksei Gavrilov ja materjaliteaduse instituudi vanemteadur Jaan Hiie);
  - tehnilise füüsika magistrantuuris (3+2 õppekaval): Aleksandr Graf, Irina Jelissejeva, Kaspar Kaarlep, Alan Kalda, Maria Kesa, Lauri Laanmets, Triin Leetmaa, Martin Lints, Merily Murd, Laur Peedu, Elli Pilk, Radu Prekup, Aet Põldma, Styna Randmaa, Joonas Rihma, Liisi Tamre, Hans Tiismus, Taaniel Uleksin, Eduard Vaselo.
- TTÜ magistriõppe (3+2) lõpetasid loodusteaduse magistri kraadiga tehnilise füüsika erialal Aleksandr Graf, Kaspar Kaarlep, Lauri Laanmets, Triin Leetmaa, Radu Prekup, Aet Põldma, Joonas Rihma, Taaniel Uleksin ja Eduard Vaselo.
- TTÜ tehnilise füüsika õppekava lõpetasid loodusteaduste bakalaureuse kraadiga tehnilise füüsika erialal Erki Aasamets, Allar Busch,

Voldemar Eskola, Asko Häusler, Joonatan Jõks, Mart Kukk, Alexander Leitmäe, Merily Murd, Mirko Mustonen, Maris Poroson, Pille Salu, Mart Sökk, Alari Varmann ja Rene Väli.

- Kaugseirealased magistritööd, mida juhendasid TO teadurid, kaitsevad Tallinna Tehnikaülikoolis Aleksei Vaštšenko ning Eesti Maaülikoolis Olav Looga ja Kadri Järve.
- Üliõpilaste teadustööde riiklikul konkursil, mille korraldajaks on alates 2012. a Eesti Teadusagentuur, premeeriti järgmisi autoreid loodusteaduste ja tehnika valdkonnas:
  - rakenduskõrgharidusõppe ja bakalaureuseõppe üliõpilaste astmes:
    - \* 1. preemia (960 eurot) Ardi Loot (TÜ) konkursitöö „Pinnaplasmonite ja kullakile karakteriseerimine Kretschmanni skeemiga“ eest, tänukirja said juhendajad Siim Pikker (TÜ) ja Leonid Dolgov (TÜ);
    - \* 1. preemia (960 eurot) Joosep Pata (TÜ) konkursitöö „Supersümmeetriline tumeaine“ eest, tänukirja said juhendajad Martti Raidal (KBFI), Alessandro Strumia (KBFI) ja Andres Tiko (KBFI);
    - \* 2. preemia (650 eurot) Tõnis Nurk (TÜ) konkursitöö „Markovi peitmodelitel põhineva häälemudeli loomine eestikeelse kõne-sünteesi jaoks“ eest;
    - \* 2. preemia (650 eurot) Siiri Saaver (TÜ) konkursitöö „Planaarkromatograafiline meetod proteiinkinaasi CK2 inhibiitorite isoleerimiseks“ eest;
    - \* 3. preemia (320 eurot) Reet Link (TÜ) konkursitöö „Uute sünteetiliste fluorestsentsligandide seostumise kineetiline iseloomustamine MC4 retseptorile“ eest;
    - \* 3. preemia (320 eurot) Siim Nõmme (Tallinna Tehnikakõrgkool) konkursitöö „Formula Student klassi vormelauto FEST12 roolisüsteemi projekteerimine“ eest;
    - \* Tänu kiri Johannes Heinsoo (TÜ) konkursitöö „Polarisatsiooni kaudu põimitud footonpaaride tekitamine“ eest;
    - \* Tänu kiri Jaak Kõusaar (TTÜ) konkursitöö „Boole'i täisdiferentsiaali rakendused digitaalskeemide diagnostikas“ eest;
    - \* Tänu kiri Siim Veskilt (TLÜ) konkursitöö „Polümeeride kasvu simulatsioonid kolmedimensionaalsetel võreidel“ eest;
  - magistriõppe üliõpilaste astmes:
    - \* 1. preemia (1600 eurot) Jakob Jõgi (TÜ) konkursitöö „Vedruplokk mudelil põhinev simulatsioon viskoosel alusel moodus-

- tunud metallide alkoksiidide geelkile pragunemisest“ eest, tänukirja said juhendajad Ants Lõhmus (TÜ) ja Jaan Kalda (TTÜ);
- \* 1. preemia (1600 eurot) Kristo Paisnik (TTÜ) konkursitöö „Suure võimsusega valgusdiodide modelleerimine“ eest, tänukirja said juhendajad András Poppe (Budapesti Tehnoloogia ja Majandusteaduste Ülikool) ja Toomas Rang (TTÜ);
  - \* 2. preemia (1300 eurot) Rain Männikus (TTÜ) konkursitöö „Tuule- ja laevalainete mõju vähendamise võimalustest Noblessneri sadama lainemurdjate rekonstrueerimisel“ eest;
  - \* 2. preemia (1300 eurot) Kadri Umbleja (TTÜ) konkursitöö „E-õppe kauglabor „Robolabor““ eest;
  - \* 3. preemia (700 eurot) Danel Ahman (Cambridge Ülikool) konkursitöö „Arvutuslikud efektid, algebralised teooriad ja normaliseerimine läbi väärtustamise“ eest;
  - \* 3. preemia (700 eurot) Arvo Kaldmäe (TLÜ) konkursitöö „Häiringu kompenseerimine mittelineaarsetes juhtimissüsteemides“ eest;
  - \* Tänukirja Toomas Krips (TÜ) konkursitöö „Lävisalastusskeemid üldistusega ringidele“ eest;
  - \* Tänukirja Johann Langemets (TÜ) konkursitöö „Diameeter 2 omadused“ eest;
  - \* Tänukirja Siim Sepp (TÜ) konkursitöö „Osmussaare lõunaranniku konglomeraatide tekkeviis ja päritolu“ eest;
- doktoriõppe üliõpilaste astmes:
- \* 1. preemia (1600 eurot) Heisi Kurig (TÜ) konkursitöö „Ioonsetel vedelikel baseeruvad elektrilise kaksikkihi kondensaatorid“ eest, tänukirja said juhendajad Enn Lust (TÜ) ja Alar Jänes (TÜ);
  - \* 1. preemia (1600 eurot) Tarmo Robal (TTÜ) konkursitöö „Veebikasutajate käitumise analüüs ja soovitused adaptiivse veebi loomiseks“ eest, tänukirja sai juhendaja Ahto Kalja (TTÜ);
  - \* 2. preemia (1300 eurot) Leonid Dorogin (TÜ) konkursitöö „1- ja 0 dimensionaalsete nanokristallide struktuuralsed ja triboloogilised omadused“ eest;
  - \* 2. preemia (1300 eurot) Liis Rebane (TÜ) konkursitöö „ $W \rightarrow \tau\nu$  ristlõike mõõtmine ja tau-leptoniteks laguneva topeltlaetud Higgsi bosoni otsimine CMSi eksperimendis“ eest;
  - \* 3. preemia (700 eurot) Erki Kärber (TTÜ) konkursitöö „Spreipürolüüsi meetodil valmistatud ZnO nanovarraste fotoluminesents“ eest;

- \* 3. preemia (700 eurot) Olga Velts (TTÜ) konkursitöö „Põlevki-  
vituhk kaltsiumkarbonaadi toormena: protsessi teostatavus,  
mehhanism ja modelleerimine“ eest;
  - \* Tänu kiri Juri Belikov (TTÜ) konkursitöö „Polünoommeetodid  
mittelineaarsetes juhtimissüsteemides“ eest;
  - \* Tänu kiri Taavi Liblik (TTÜ) konkursitöö „Termohaliinse struk-  
tuuri muutlikkus Soome lahes suvekuudel“ eest;
  - \* Tänu kiri Vahur Zadin (TÜ) konkursitöö „3D-mikroaku model-  
leerimine“ eest.
- Eesti Teaduste Akadeemia üliõpilastööde konkursi füüsikaga seotud  
töödest said auhinna 400.- eurot:
    - Tõnis Arroval (TÜ), magistritöö „Kasvutingimuste ja -aluste mõju  
TiO<sub>2</sub> aatomkihtsadestumisele“ (juh prof Jaan Aarik);
    - Ardi Loot (TÜ), bakalaureusetöö „Pinnaplasmonite ja kullakile  
karakteriseerimine Kretschmanni skeemiga“ (juh doktorant Siim  
Pikker ja dr Leonid Dolgov);
    - Rasmus Palm (TÜ), bakalaureusetöö „Solvendilisandi mõju  
1-etüül-3-metüülimidiasooliumtetrafluoroboraadi omadustele  
elektrilise kaksikkihi kondensaatori elektrolüüdina“ (juh dr Heisi  
Kurig ja dr Alar Jänes).
  - Tudengite teadusartiklite konkursil TalveAkadeemia 2012 auhinnati  
II astme tudengite (magistrantuuri lõpetanud üliõpilased ja dokto-  
randid) järgnevaid töid:
    - Jaan Niitsoo „Parasiitenergia kodu-majapidamises“ (ka publiku  
lemmiktöö);
    - Jane Peda „Bioplastist kilekottide lagunemine erineva keskkonna-  
režiimiga vermikkompostrites“;
    - Kaia-Liisa Habicht „Polüüpamiini mõju membraanimudelitele  
kapillaarelektrokromatograafias“;
    - parim poster: Tarmo Koppel „Säästupirn ja säästval arengul vähe  
ühist“.
  - 25. apr toimus TÜ Füüsika Instituudi tudengistipi konkurs. Bakalau-  
reuseastmes oli 15 esinejat, parimateks tunnistati Johannes Heinsoo  
ja Ardi Loot (kumbki 350 eurot) ning Roland Matt (300 eurot). Komis-  
jon pidas preemiate vääriliseks ka kõiki ülejäänud osavõtjaid. Magist-  
riastmes oli 10 esinejat, parimateks tunnistati Jakob Jõgi (500 eurot),  
Kaido Siimon (400 eurot) ja Andreas Valdmann (300 eurot). Siingi

hindas komisjon ka kõiki ülejäänud osavõtjaid preemiade vääriliseks. Parimatele korraldati detsembri algul sõit Stockholmi kuulama värs-kete Nobeli füüsika- ja keemiapreemia laureaatide avalikku loengut.

- 15. juunil asutati Eesti Füüsika Seltsi osakonnana Eesti Füüsikaüliõpi-laste Selts (FÜS), mis ühendab ja esindab Eesti Vabariigis füüsikat ja sellega seonduvaid erialasid õppivaid tudengeid. Seltsi eesmärkideks on füüsikaõppe parandamine, harivate ürituste korraldamine, füüsika ja loodusteadusliku õppe populariseerimine ning tudengite, õppejõu-dude ja teadlaskonna vahelise sidususe suurendamine. FÜSi esimeses juhatuses on füüsikatudengid Roland Matt, Morten Piibeleht, Sandhra-Mirella Valdma ja Madis Ollikainen. Sügiseks oli FÜSis 63 TÜ füüsi-katudengit. Seltsi koduleht on [fys.fyysika.ee](http://fys.fyysika.ee) ja seltsil on omanimeline leht ka Facebookis.
- Suvel käisid Šveitsis, CERNis suvepraktikal 5 Eesti tudengit: Marion Murumaa, Marek Sirendi, Jaan Vajakas, Joosep Pata ja Andres Tiko. Nad osalesid CERNi suvekooli õppetöös ja tegelesid lisaks indivi-duaalse uurimistööga.
- 30. sept lõppes Euroopa Sotsiaalfondi kaasrahastatav projekt „Tallin-na Tehnikaülikooli ja Tartu Ülikooli biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika magistri taseme ühisõppekava arendamine tööturuva-jadustest lähtuvalt“ ([vt yhisope.cb.ttu.ee](http://vt.yhisope.cb.ttu.ee)), mille käigus valmistati ette eelnimetatud ülikoolide ühisõppekava „Biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika“. Varem (alates 1990-ndate keskelt) on mõlemas üli-koolis viidud sarnases valdkonnas magistriõpet läbi eraldi. Loodud ühisõppekava kinnitati 16. okt TTÜ nõukogus ja 26. okt TÜ senatis. Õppekava koordineerivaks ülikooliks on TTÜ, käivitamine on kavan-datud sügissemestrisse 2013.
- 1. okt määras TO teadusnõukogu juba traditsioonilised E.J. Öpiku ja J. Rossi nimelised stipendiumid ning esmakordselt Ch. Villmanni ni-melise stipendiumi Tartu Ülikooli doktorantidele. E.J. Öpiku nimeli-se stipendiumi sai Rain Kipper, J. Rossi nimelise stipendiumi Evelin Kangro ja Ch. Villmanni nimelise stipendiumi Urmas Kvell.

## IV. TEADUSÜRITUSED EESTIS

- 2.-3. veebr toimus Tallinnas rahvusvaheline kosmoseteemaline kon-verents „Broadening the Base of European Space Community“, kus



osales Euroopa riikidest üle 135 inimese. Konverentsi fookuses oli Eesti, Läti, Leedu ja Poola võimekus panustada kosmosetööstusesse ning saada ettevõtetele kosmosetehnoloogia tellimusi. Konverents võttis kokku kahe aasta jooksul läbi viidud Euroopa Komisjoni seitsmenda raamprogrammi projekti NordicBaltSat.

- 15.–16. veebr toimus Pühajärvel Tartu Observatooriumi 2012. aasta strateegiaseminar, mille eesmärgiks oli arutada kõigi töötajatega läbi Tartu Observatooriumi arengukava täitmise hetkeolukord, seada konkreetsed sihid 2012. aasta lõpuks ning püstitada strateegilised eesmärgid kuni aastani 2020.
- 23.–24. märtsini toimusid Tartus Dorpati konverentsikeskuses ja Teaduskeskuses AHHA XLII Eesti füüsikapäevad ja XXXIV füüsikaõpetajate päevad. 23. märtsil toimus Eesti Füüsika Seltsi üldkogu. Traditsiooniliselt kuulusid füüsikapäevade programmi meie füüsikute viimase aja uurimistulemusi tutvustavad ettekanded ja arutlused füüsikateaduse ja -hariduse tulevikust. Füüsikaõpetajate osakond korraldas teaduskeskuses AHHA õpetajate sessiooni, kus osales ~70 õpetajat, aktiivsemat kaasamõtlemist töid teemad uue ainekava füüsika I kursusest (ettekannet Saaremaa ÜG õpetajalt I. Peililt) ja kooli õppesuuna eksami ettevalmistustöödest (ettekannet Nõo G õpetajalt P-M. Irtdilt). Füüsikaõpetajate osakonna esinaiseks valiti tagasi Riina Murulaid, nõukogusse valiti Virgi Roop (GAG), Siim Oks (HTG) ning Enn Ööpik (Tartu M. Reiniku kool). Füüsikapäevade korraldustoimkond: Ilmar Kink, Jaak Jõgi, Kaido Reivelt.
- 24. märtsist 1. aprillini toimus Tallinnas TTÜ Küberneetika Instituudi korraldatud rahvusvaheline tarkvarateemaline ühendkonverents ETAPS (*European Joint Conferences on Theory and Practice of Software*). Vt [www.etaps.org/2012/](http://www.etaps.org/2012/).
- 16.–20. apr toimus Tartus Dorpati konverentsikeskuses ESA radar-kaugseire kursus, mis hõlmas endas loenguid ning praktilisi sessioone. Lisaks ESA-le olid kursuse korraldajateks ka Saksa Kosmoseagentuur (DLR) ning Eesti poolt Tartu Ülikool ja Tartu Observatoorium.
- 9. mail toimus Tartus Soome–Eesti kaugseire seminar.
- 9.–10. maini toimusid Nelijärvel projekti HISPARES (*Spatial Planning in Archipelago Waters by High Spatial Resolution Remote Sensing*) infopäevad.
- 28.–29. maini toimus Tallinnas, Teaduste Akadeemia majas rahvusvaheline töötuba-konverents „Complexity and Crisis Management in

Society and Environment“. Selle tulemina asutati projekti FuturICT Balti regiooni keskus, mille juhiks valiti T. Soomere.

- 6.–9. juunini toimus Tallinnas TTÜ ja KüBI organiseerimisel rahvusvaheline matemaatilise modelleerimise teemaline konverents *17th International Conference on Mathematical Modelling and Analysis* (MMA2012). Vt [www.ioc.ee/mma2012/](http://www.ioc.ee/mma2012/).
- 21. juunil toimus Tallinnas teabepäev „Euroopa Lõunaobservatoorium“. Umbes 25 osaleja seas olid teadlased Tartu Observatooriumist, Tartu Ülikoolist ning Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudist, ettevõtjad ning Haridus- ja Teadusministeeriumi esindajad. Euroopa Lõunaobservatooriumiga liitumine oleks kasulik nii Eesti astronoomiale kui ka täppisteaduste ja tehnoloogia arengule laiemalt, kuid praegu takistab seda riigi keeruline majanduslik olukord.
- 26.–28. juunini toimus Viljandimaal Kopra talus EFS ja FMTDK täppisteaduste suvekool. Kavas olid ettekanded tuuma-, päikese- ja bioenergeetikast, astronoomiast, materjaliteadusest, ajuteadusest, majandusest jm. Samal ajal samas kohas toimus ka gümnaasiumiõpilastele ja loodusainete õpetajatele mõeldud TÜ Energiaakadeemia. Suvekooli korraldasid Kaido Reivelt (TÜ FI) ja Ketlin Reis (Globe).
- 10.–13. juulini toimus Tallinna Tehnikaülikoolis rahvusvaheline matemaatilise füüsika konverents „3Quantum: Algebra, Geometry, Information“, korraldajateks TTÜ, Põhjamaade-Baltimaade võrgustik AGMP (*Algebra, Geometry, Mathematical Physics*) ja Euroopa Teadusfondi (ESF) võrgustik ITGP (*Interactions of Low-dimensional Topology and Geometry with Mathematical Physics*), millest võttis osa sadakond teadlast 20 Euroopa riigist ning USAst, Mehhikost, Tšiilist, Kasahstanist ja Hong Kongist. Plenaaristungitel esinesid ettekannetega matemaatikud ning füüsikateoreetikud Ludwig Faddeev ja Petr Kulish Peterburist, Yuri I. Manin Saksamaalt, Bengt Nilsson Göteborgist jt. Korraldati 8 erialasessiooni. Neist üks, sessioon „Gravitation and cosmology“ (juhataja Piret Kuusk), oli pühendatud üldrelatiivsusteooria alaste uuringute algatajale Eestis, prof Harald Keresele (1912–2010) tähistamaks tema sajandat sünniaastapäeva. Sessioonil peeti 11 ettekannet, esitajateks Zbigniew Oziewicz Mehhikost, Dmitry Gal'tsov ja Alexander Burinskii Moskvast, Manuel Hohmann Saksamaalt ning Eesti teadlased TÜ ja TTÜ füüsikainstituutide teoreetilise alusfüüsika töörühmadest.
- 28. sept toimus Tallinnas Hotell Metropolis rahvusvahelise PlasTEP

projekti raames Eesti ettevõtetele suunatud töötuba „Plasma technology for environmental protection“.

- 26.–28. okt toimus Voore Puhkekeskuses EFS täppisteaduste sügis-kool. Ettekannete teemadeks olid mittelineaarsed lained, galaktikate teke, füüsikukarjäär ja füüsiku haritus, teaduse populariseerimine, mõtetelugemine, seismiliste signaalide analüüs, teksti tähendus jm. Korraldasid Kaido Reivelt ja Ketlin Piir. Täpsem info [www.fyysika.ee/fyysika/nofy/](http://www.fyysika.ee/fyysika/nofy/).
- 26.–28. okt toimus Voorel ESTCube XI rahvusvaheline tööseminar, millel pandi paika tähtajad ja ülesanded tudengisatelliidi valmimiseks 2012. aasta lõpuks. Seminarist võttis osa 32 inimest.
- 15. nov toimus Tallinnas ETA saalis astronoomia ja füüsika osakonna korraldusel mälestusseminar tähistamaks Eesti TA akadeemiku prof Harald Kerese sajandat sünniaastapäeva, saalis oli välja pandud ka näitus tema elust ja tööst. Ettekannetega esinesid akadeemikud Richard Villems, Jüri Engelbrecht ja Arved-Ervin Sapar. Harald Kerese elu ja tegemisi meenutasid Piret Kuusk ja Sirje Keevallik. Kalju Luts omaaegselt TRÜ klubist kõneles Harald Kerese rollist TRÜ sümfooniaorkestri (taas)asutamisel 1955. a. Akadeemik Jaak Aaviksoo teatas AFO otsusest asutada Harald Kerese nimeline medal tunnustamaks teadustööd füüsika, matemaatika ja astronoomia alal ning tutvustas medali statuuti. Järgmisel päeval, 16. nov, asetati küünlad Harald Kerese kalmule Tartus Raadi kalmistul ning õhtul toimus mälestusseminar Tartu tähetornis, kus esinesid tähetorni juhataja Viljar Valder ning füüsikud Arved-Ervin Sapar, Piret Kuusk ja Kalev Tarkpea. Muusikateadlane ja helilooja Alo Põldmäe kõneles Harald Kerese Bechsteini klaverist, mis on deponeeritud Eesti Rahvuslikku Klaverimuuseumi, kuid praegu kasutusel kontsertklaverina Tartus Saksa Kultuuri Instituudis. 30. nov avati TÜ raamatukogu saalis osana rahvusülilikooli 93. aastapäeva üritustest seni Tallinnas ETA saalis olnud näitus „Harald Keres 100“.
- 28.–30. nov toimus Tartus Euroopa tuumasünteesi programmi üle-Euroopalist tegevust koordineeriva katusorganisatsiooni *European Fusion Development Agreement* (EFDA) töögrupi „Plasma Wall Interaction“ (PWI) üheteistkümnes töökoosolek. Rahvusvahelisel töökoosolekul osales ligi 40 PWI valdkonna eksperti eri Euroopa riikide assotsiatsioonidest. Üritust korraldas Füüsika Instituudi tuumasünteesiuuringute töögrupp koostöös Soome tuumasünteesiuuringute assotsiatsiooni ja EFDA töögrupiga PWI.

- 30. nov toimus Tallinna Tehnikaülikoolis seminar „Valgusreostuse mõjudest ja hetkeseisust Eestis“. Valgusreostuse uuringuid Eestis toetab Keskkonnainvesteeringute Keskus, seminari eestvedaja oli Mario Mars. Seminaril esitleti valgusreostuse pilootuuringu olulisi tulemusi, käsitleti valgusreostusega seotud probleeme, selle piiramisest saadavat kasu ning püüti sõnastada konkreetseid ettepanekud olukorra parandamiseks. Demonstreeriti tänavavalgustit. 86 osaleja hulgas olid ministeeriumide, omavalitsuste ja terviseametite esindajad, valgusdisainerid, energeetikud ning ka abituriente ja üliõpilasi. Ettekanded:
  - Rein-Karl Loide, TTÜ Füüsikainstituudi professor – Tervituskõne
  - Tiit Kändler, teadusajakirjanik – Kui kaitsev on keskkonnakaitse? Valgust kartev valgusreostus.
  - Marek Vilipuu, TTÜ Füüsikainstituut – Valgusreostuse taustauuringud.
  - Vladislav-Veniamin Pustõnski, TTÜ Füüsikainstituut – Valgusreostuse mõõtmised ja tulemuste analüüs.
  - Marlit Veldi, Eesti Unemeditsiini Selts – Unefüsioloogia ja valguse mõju unele.
  - Tõnu Ploompuu, TLÜ – Kuidas valgus mõjutab taimi?
  - Meelis Münt, Keskkonnaministeerium – Keskkonnaseaduste täiendamine. 7 linna valgustusprojekt.
  - Aleksei Turovski, Tallinna Loomaaed – Valgusreostuse vormid ja mõju loomade kooslustes.
  - Mart Murdvee, psühholoog – Tehisvalguse mõju inimesele.
  - Mario Mars, TTÜ Füüsikainstituut – Kaasaegse välisvalgustuse põhimõtted.

## V. TEADUSTÖÖ

- Pikaajalise tulemusliku teadus- ja arendustöö eest antavad 40 000 euro suurused riigi teaduspreemiad said TÜ matemaatika instituudi emeriitprofessor akadeemik Ülo Lumiste ja Tartu Ülikooli arstiteaduskonna emeriitprofessor, juhtivateadur Heidi-Ingrid Maaros. Eelneva nelja aasta jooksul valminud ja avaldatud parimate teadustööde eest antava 20 000 euro suuruse riigi teaduspreemia täppisteaduste alal sai TTÜ matemaatikainstituudi direktor Jaan Janno uurimistöö „Pöördülesanded mittehomo-geensete materjalide ja keskkondade omaduste määramiseks“ eest.

- Akadeemik Jaan Einasto sai Armeenia Teaduste Akadeemia poolt välja antava akadeemik Viktor Ambartsumjani preemia. Auhind anti kätte 18. septembril Jerevanis, Armeenia Teaduste Akadeemia ruumides toimunud pidulikul üritusel.
- Tuorla Observatoorium autasustas Tartu Observatooriumi Yrjö Väisälä medaliga silmapaistva teedrajava töö eest tumeaine ja universumi suuremastaabilise struktuuri uurimisel ning viljaka koostöö eest Tuorla Observatooriumiga.
- Tegutses TÜ ja TTÜ doktorikool „Funktsionaalsed materjalid ja tehnoloogiad“ (FMTDK). Doktorikool on asutatud Eesti vastava ala juhtivate ülikoolide ning teadus-arendusasutuste poolt koostöös välismaiste partneritega eesmärgiga arendada ja tõhustada doktoriõpet materjalitehnoloogiate valdkonnas. Doktorikooli põhieesmärgiks on tagada doktoriõppe kvaliteet ja tõsta efektiivsust materjaliteaduse ning tehnoloogia ja nende aluseks olevate keemia ja füüsika valdkondades, suurendades märgatavalt doktoritöö kaitsnute arvu ja vastava õppe rahvusvahelistumist. Doktorikool koondab materjaliteaduse ja tehnoloogia alasesse doktoriõppesse TÜ loodus- ja tehnoloogiateaduskonna, TTÜ keemia- ja materjalitehnoloogia teaduskonna, matemaatika-loodusteaduskonna ja mehaanikateaduskonna vastavatel õppekavadel tegutsevate doktorantide paremiku. Doktorikooli kaasrahastab Euroopa Liit.
  - 17. jaan toimus Tartus Dorpati konverentsikeskuses tutvustusüritus: MAX-IV, ESS, CERN, Magnetlabor – rahvusvahelised objektid Eesti teaduse infrastruktuuri teekaardil;
  - 29. veebr 1. märtsini toimus Tartus Dorpati konverentsikeskuses FMTDK kolmas teaduskonverents;
  - 28.-30. aug toimus Pärnus FMTDK suvekool „Science at the leading European large scale facilities (CERN, ESS, MAX-IV Lab)“;
  - toimusid välisteadlaste loengud, seminarid ja koolitused.
 Doktorikooli veebileht on aadressil [www.fi.tartu.ee/doktorikool](http://www.fi.tartu.ee/doktorikool).
- Tallinna Ülikool osaleb programmi „IAEA Coordinated Research“ projektis „Investigations of Materials under High Repetition and Intense Fusion-Relevant Pulses“ alamprojektiga „Nonlinear Processes at Mesoscale Plasma-Materials Interactive Systems“. Projekti juht TLÜ-s on Tõnu Laas.
- Tartu Observatooriumis lõpetati 1,5-meetrise teleskoobi juhtimissüsteemi moderniseerimine ning rakendati töösse täisautomatiseeritud 12,5-tollise robotteleskoobi kuppel, CCD kaamera ja ilmajaam.

- Tartu Observatooriumis alustati seadmete soetamist uude kosmose-tehnoloogia laborisse.
- TÜ FI Tähe tn hoones toimusid teoreetilise füüsika, astrofüüsika, meditsiinifüüsika, gaaslahenduse, didaktilise füüsika ja keskkonnanfüüsika seminarid ning teadusbussi infotunnid.
- TÜ FI Riia 142 hoones jätkasid tööd spektroskoopia ja materjalifüüsika seminarid, nanotehnoloogia tudengiseminar, füüsika õpetamise arendamise seminar „Õppejõult õppejõule“, toimusid mesosüsteemide tippkeskuse konverentsid ja seminarid.
- Tartu Observatooriumis toimusid traditsioonilised astronoomia ja atmosfäärifüüsika seminarid ning observatooriumi ühisseminar.
- Septembris allkirjastati kolmepoolne teaduskoostöö kokkulepe kolme Põhjala teaduse tippkeskuse vahel, mida ühendab huvi astroosakestefüüsika vastu. Eestist on partneriks „Centre of Excellence: Dark Matter in (Astro)particle Physics and Cosmology“ (KBFI ja TO), Rootsist „Oskar Klein Centre“ (KTH ja Stockholmi Ülikool) ja Taanist „Centre for Cosmology and Particle Physics Phenomenology – CP3-Origins“ (Lõuna-Taani Ülikool, Odense).
- Sihtasutus Archimedes jagas 19-le materjalitehnoloogia projektile kokku üle 9 miljoni euro Euroopa Regionaalarengufondi toetusraha, et tõsta materjalitehnoloogia alast teadus- ja arendustegevuse võimekust.

## **TEADUS- JA ARENDUSASUTUSTE SIHTFINANTSEERITAVAID TEADUSTEEMASID 2012. AASTAL**

### **Tartu Ülikool**

- SF0180042s07 Infotehnoloogiliste ja nanoelektroniliste rakendustega tahkiskihstruktuurid  
Kukli, Kaupo 2007-2012, 80 310 eur.
- SF0180013s07 Kondenseeritud aine ja fundamentaalväljade teooria  
Hižnjakov, Vladimir, 2007-2012, 235 040 eur.
- SF0180058s07 Madaladimensionaalsed struktuurid ja nende rakendused  
Kikas, Jaak 2007-2012, 332 770 eur.
- SF0180055s07 Bioloogiliselt oluliste molekulide ja molekulaarkomplekside füüsikalised uuringud  
Freiberg, Arvi 2007-2012, 114 590 eur.
- SF0180037s07 Kiiritusnähtused laia keelutsooniga funktsionaalmaterjalides  
Luštšik, Aleksandr 2007-2012, 239 300 eur.
- SF0180073s07 Uute optika- ja spektroskoopiameetodite arendamine ja rakendamine materjali- ja plasmauuringutes  
Saari, Peeter 2007-2012, 128 990 eur.

- SF0180046s07 Pinnanähtused tahkisefüüsikas ja -tehnoloogias  
Sammelselg, Väino 2007-2012, 266 200 eur.
- SF0180043s08 Nanomeeterosakeste tekkimine ja aerosooliosakeste mõõtmespektri kujunemine nõrgalt ioniseeritud atmosfääri keskkonnas  
Hõrrak, Urmas 2008-2013, 90 480 eur.
- SF0180061s08 Molekulide ja molekulaarsüsteemide keemiliste ja füüsikaliste parameetrite mõõtemetodite arendus ja rakendused  
Leito, Ivo 2008-2013, 88 920 eur.
- SF0180081s08 Rakendusmatemaatika ja mehhaanika mudelid  
Lellep, Jaan 2008-2013, 82 800 eur.
- SF0180002s08 Protsessid modifitseeritud piirpindadel ja faasides ning nende rakendused uuetüübilistes energia allikates ning superkondensaatorites  
Lust, Enn 2008-2013, 283 660 eur.
- SF0180127s08 Maastike aineriinge muutuvates kliima- ja maakasutuse tingimustes ning selle ökotehnoloogiline reguleerimine  
Mander, Ülo 2008-2013, 207 160 eur.
- SF0180178As08 Relevantse loodusteadusliku hariduse osa teadmistepõhises ühiskonnas: multidimensionaalse loodusteadusliku kirjaoskuse kujundamise modelleerimine ja rahvusvaheline evalvatsioon  
Rannikmäe, Miia 2008-2012, 18 950 eur.
- SF0180038s08 Numbrilise ilmaennustuse arendamine õhukeskkonna prognooside suunas  
Rõõm, Rein 2008-2013, 78 800 eur.
- SF0180135s08 Protsessid makro- ja mikroheterogeensetes ning nanomõõtmistes süsteemides ning vastavad tehnoloogilised rakendused  
Tenno, Toomas 2008-2013, 116 790 eur.
- SF0180056s09 Kriitilised ja stohhastilised nähtused mittelineaarsetes füüsikalistes süsteemides  
Õrd, Teet 2009-2014, 77 650 eur.
- SF0180051s12 Protsessid plasma-tahkise piirkihis  
Laan, Matti 2012-2014, 88 820 eur.
- SF0180015s12 Stohhastika: teooria ja rakendused  
Lember, Jüri 2012-2014, 40 150 eur.
- SF0180004s12 Sensorsüsteemid signaaliülekanDES osalevate biomolekulide vaheliste interaktsioonide mõõtmiseks  
Rinken, Ago 2012-2014, 76 630 eur.
- SF0180025s12 Vee-, süsiniku- ja lämmastikuvoogude interaktsioonid eksperimentaalses ning looduslikes ökosüsteemides: kliimamuutuste mõju  
Sõber, Anu 2012-2014, 148 880 eur.
- SF0180008s12 Kaasaegsete teadusarvutuste meetodid, platvormid ja rakendused  
Vilo, Jaak 2012-2014, 102 290 eur.

#### **TÜ Tehnoloogiainstituut**

- SF0180008s08 Ioonsed elektroaktiivsed polümeersed materjalid, nende juhtimine ja rakendused  
Aabloo, Alvo 2008-2013, 103 580 eur.

#### **TÜ Eesti Mereinstituut**

- SF0180013s08 Keskkonna väikse- ja suuremastaabilise muutlikkuse interaktiivne mõju Läänemere ökosüsteemi protsessidele  
Kotta, Jonne 2008-2012, 146 880 eur.

## FÜÜSIKAKROONIKA

- SF0180104s08 Hüdrodünaamiliste protsesside ja nende mõju uurimine põhjelaestikule kõrgtiheda modelleerimise ning eksperimentaal mõõtmiste baasil  
Suursaar, Ülo 2008-2013, 100 190 eur.
- SF0180009As11 Optiliselt keerukate ranniku- ja sisevete kaugseire ja optika  
Kutser, Tiit 2011-2016, 100 190 eur.

### Tallinna Tehnikaülikool

- SF0140024s07 Energiareessursside säästlik kasutamine ja protsesside täiustamine põletusseadmetes  
Ots, Arvo 2007-2012, 198 720 eur.
- SF0140070s08 Kolmemõõtmelised mudelid aerosoolsete kanal-, gradient- ja keerisvooluste modelleerimiseks ning lahendused tehnoloogilistes protsessides  
Kartušinski, Aleksander 2008-2013, 128 370 eur.
- SF0140072s08 Vedeliku ja konstruktsiooni koostoime mehhaanika  
Koppel, Tiit 2008-2013, 95 500 eur.
- SF0140092s08 Ohukeskilelised ja nanostruktuursed materjalid keemilistel meetoditel  
Krunks, Malle 2008-2013, 104 470 eur.
- SF0140091s08 Kõvapinded ja pinnatehnika  
Kulu, Priit 2008-2013, 113 340 eur.
- SF0140062s08 Mitmefaasiliste tribomaterjalide arendamine ja tehnoloogia  
Kübarsepp, Jakob 2008-2013, 202 250 eur.
- SF0140099s08 Uued materjalid ja tehnoloogiad tuleviku päikeseenergeetikale  
Mellikov, Enn 2008-2013, 259 810 eur.
- SF0140090s08 Toidu süsteemibioloogia ja füüsika  
Paalme, Toomas 2008-2013, 111 690 eur.
- SF0140113Bs08 Mehhatroonika- ja tootmissüsteemide proaktiivsus ja käitumismudelid  
Tamre, Mart 2008-2013, 62 190 eur.
- SF0140041s08 Töökindlate sardsüsteemide disain  
Ubar, Raimund 2008-2013, 247 980 eur.
- SF0140028s09 Põlevkivi ja kütuste segude termokeemilise töötlemise uued tehnoloogiad  
Luik, Hans 2009-2014, 84 540 eur.
- SF0140011s09 Algebra ja analüüsi kaasaegsed rakendusmeetodid diferentsiaal- ja integraalvõrrandite teoorias, matemaatilises füüsikas ja statistikas  
Puusepp, Peeter 2009-2014, 43 680 eur.
- SF0140061s12 Energiasäästlikud elektroonikasüsteemid  
Min, Mart 2012-2014, 234 060 eur.
- SF0140033s12 Kaasaegsed funktsionaalsed materjalid ja seadised molekulaarselt jälgendatud polümeeride ja orgaaniliste/anorgaaniliste hübriidsete struktuuride baasil  
Õpik, Andres 2012-2014, 73 170 eur.

### TTÜ Küberneetika Instituut

- SF014007s08 Mittelineaarne dünaamika ja kompleksüsteemid  
Engelbrecht, Jüri 2008-2013, 299 850 eur.
- SF014083s08 Mittelineaarsed, puuduliku informatsiooni ja keeruka struktuuriga matemaatilised mudelid  
Kangro, Inga 2008-2013, 74 540 eur.
- SF0140018s08 Keerukate mittelineaarsete juhtimissüsteemide süntees  
Kotta, Ülle 2008-2013, 121 990 eur.
- SF0140007s11 Lainetuse dünaamika ja rannikutehnika
- Soomere, Tarmo 2011-2016, 62 950 eur.
- SF0322707s12 Usaldusväärsed tarkvara- ja inimkeele tehnoloogiad  
Uustalu, Tarmo 2012-2014, 150 540 eur.



**TTÜ Meresüsteemide Instituut**

- SF0140017s08 Läänemere vee- ja ainevahetusprotsessid muutuvate välismõjude tingimustes  
Elken, Jüri 2008-2013, 164 530 eur.

**Tallinna Ülikool**

- SF0180178Bs08 Erinevate interdistsiplinaarsuse dimensioonide mõju loodusteadusliku kirjaoskuse kujundamisel  
Reiska, Priit 2008-2012, 33 090 eur
- SF0130010s12 Stohhastilised protsessid nano- ja mesosüsteemides: teooria ja rakendused materjaliteaduses ja biokeemias  
Mankin, Romi 2012-2014, 69 710 eur.

**Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut**

- SF0690063s08 Mehhanismid ja interaktsioonid toksikoloogias ja toksinoloogias: in vitro mudelid  
Kahru, Anne 2008-2013, 180 330 eur.
- SF0180114Bs08 Integreeritud energeetilise metabolismi regulatsioonimehhanismid lihasrakkudes  
Saks, Valdur 2008-2013, 105 200 eur.
- SF0690034s09 Tuumamagnetresonantsi meetodi uued arendused ja rakendused  
Heinmaa, Ivo 2009-2014, 136 250 eur.
- SF0690001s09 Põlevkivi töötlemise tahkete jäätmete keskkonnasõbraliku kasutamise strateegia  
Kirso, Uuve 2009-2014, 68 540 eur.
- SF0690021s09 Keemiline energiatehnoloogia  
Lippmaa, Endel 2009-2013, 100 190 eur.
- SF0690030s09 Kõrgete energiatega ja teoreetiline füüsika  
Raidal, Martti 2009-2014, 142 450 eur.
- SF0690029s09 Funktsionaalsete materjalide spektroskoopia  
Rõõm, Toomas 2009-2014, 104 570 eur.

**Tartu Observatoorium**

- SF0060030s08 Evolutsiooni hilisfaasis tähtede ja nende ümbriste vaatluslik ja teoreetiline uurimine  
Kipper, Tõnu 2008-2013, 280 520 eur.
- SF0060067s08 Tumeenergia, tumeaine ja struktuuri teke Universumis  
Saar, Enn 2008-2013, 235 910 eur.
- SF0180009Bs11 Taimkatte kvantitatiivne kaugseire  
Kuusk, Andres 2011-2016, 80 150 eur.

## **EESTI TEADUSFONDI 2012. AASTAL ALANUD UURIMISTOETUSI**

Varasematel aastatel alanud ETF uurimistoetuste nimekirjad on eelmistes EFS aastaraamatutes. Teemad on liigitatud vastavalt ETISE klassifikatsioonile ([www.etis.ee](http://www.etis.ee)).

**4. Loodusteadused ja tehnika**

**4.2 Maateadused**

- Balti Basseini tektonotermaalne areng ja diagenetilis-hüdrotermaalsete fluidide evolutsioon (Kalle Kirsimäe, TÜ ÖMI) ETF9196 2015
- Eesti mandriala ja rannikumere tektoonika ning struktuuriline areng Proterosoikumis ja Fanerosoikumis (Ülo Sõstra, TTÜ) ETF8999 2015
- Hilis-Weichseli jääjärvede arengu ja veebilansi mudelid Skandinaavia liustiku maksimaalse leviku vööndi ja Läänemere nõo vahelisel alal (Tiit Hang, TÜ ÖMI) ETF9107 2015
- Kirde-Eesti kaevandusvaringud - tuvastamine, identifitseerimine ja põhjused (Heidi Soosalu, TTÜ) ETF9018 2015
- Lainetusest tingitud põhjasetete transport rannikumeres (Ants Erm, TTÜ) ETF9052 2015
- Läänemere idaranniku reaktsioon lainekliima muutustele (Tarmo Soomere, TTÜ Kübli) ETF9125 2015
- Läänemere tsirkulatsiooni aastakümnete skaalaga muutused ja nende deskriptorid (Jüri Elken, TTÜ) ETF9278 2014
- Sirgäikesetormi dünaamika numbriline modelleerimine Läänemere regioonis (Aarne Männik, TÜ) ETF9140 2015
- Soome lahe põhjakihis esinevate tugevate hoovussündmuste integreeritud uuring (Jaan Laanemets, TTÜ) ETF9382 2015
- Tuulehoovuse kiiruse vertikaalne struktuur stratifitseeritud mere ülakihis (Aleksander Toompuu, TÜ) ETF9381 2015
- Ujuvusliku ebastabiilsuse, atmosfääri murdlainete ja ülakihtide turbulentsi uurimine mittehüdrostaatilise ujulainevõrrandi abil rõhukoordinaatides (Rein Rõöm, TÜ) ETF9134 2015

**4.3 Kosmoseuuringud ja astronoomia**

- Galaktiliste ketaste ja sferoidide osakaal Universumis (Antti Tamm, TO) ETF9428 2015

**4.7 Info- ja kommunikatsioonitehnoloogia**

- Elektriliste kudede diagnostikameetodite arendamine veresoonkonna dünaamilisi mõjutusi arvestades (Rauno Gordon, TTÜ) ETF9394 2014

**4.8 Elektrotehnika ja elektroonika**

- EM modelleerimise rakendamine TMR-is (Ago Samoson, TTÜ) ETF9229 2015
- Isetestivad usaldatavad mesokroonsed kiipvõrgud (Jaan Raik, TTÜ) ETF9429 2015
- Kiibisised instrumendid elektroonikasüsteemide testimiseks (Sergei Devadze, TTÜ) ETF9423 2015
- Rekonfigureeritav protsessor kombinatoorse ülesannete lahendamiseks puulaadsete andmestruktuuride baasil (Aleksander Sudnitsõn, TTÜ) ETF9251 2015

**4.10 Füüsika**

- Absorberkihid keemilise pihustuspürolüüsi meetodil nanostruktuursetele päikesepatareidele (Malle Krunks, TTÜ) ETF9081 2015
- Alusuuringud grafeeni rakendusteks optoelektronikas ja optilises gaasisensorikas (Valter Kiisk, TÜ) ETF9283 2015
- Bakterite poomisvastuse uuringud kasutades biokeemia, fülogeneetilise analüüsi ja ühe molekuli mikroskoopia meetodeid (Vasili Hauryliuk, TÜ) ETF9012 2015

- Energiatasemetestruktuur ja valkude dünaamika looduslikes valgustkoguvates kompleksides (Jörg Pieper, TÜ) ETF9453 2015
- Kesteriitsete absorbermaterjalide optilised uuringud (Maarja Grossberg, TTÜ) ETF9369 2015
- Kondenseeritud aine, bioloogiliste ja komplekssete süsteemide ruumilis-ajaline dünaamika (Els Heinsalu, KBFI) ETF9462 2015
- Konstruktioonialementide optimeerimine<sup>1</sup> (Jaan Lellep, TÜ) ETF9110 2015
- Kvantitatiivne femtosekundiline kahe footoni neeldumise spektroskoopia orgaanilistes ja bioloogilistes kromofoorides (Aleksander Rebane, KBFI) ETF9477 2014
- Mitte-isostruktuursed epitaktsiaalsed kiled: kasvatamine ja struktuuri määramine (Hugo Mändar, TÜ) ETF9088 2015
- Nanotriboloogia ja nanomehaanika lõimumine: uued suunad nanotraadi/aluse staatilises ja kineetilises hõõrdemehhanismis (Rünno Lõhmus, TÜ) ETF9007 2015
- Plasmatekitatud hapnikühendite roll metall-oksiidide pindadel toimuvates katalüütilistes protsessides (Indrek Jõgi, TÜ) ETF9310 2015
- Redoks-reaktsioonide uurimine tahketes lahustes uute luminesentsmaterjalide loomiseks (Mihhail Danilkin, TÜ) ETF9222 2015
- Struktuursed ja elektroonsed korrastused ülijuhtivates kompleksühendites (Teet Örd, TÜ) ETF8991 2015
- Suure osakeste kontsentratsiooniga turbulentsete kahefaasiliste vooluste matemaatiline modelleerimine ja rakendused (Igor Krupenski, TTÜ) ETF9343 2014
- Tuumaenergeetika süsteemide dünaamiline analüüs optimaalseks tooraine kasutuseks ja radioloogilise mõju vähendamiseks<sup>2</sup> (Alan Henry Tkaczyk, TÜ) ETF9304 2015
- Ühismõõduta magnetilise korrastuse uurimine tugevate korrelatsioonidega kristallides (Aleksi Šerman, TÜ) ETF9371 2015
- Üldistatud Langevin`i võrrandiga kirjeldatavate süsteemide dünaamika multiplikatiivse müra korral (Romi Mankin, TLÜ) ETF9005 2015

#### 4.12 Protssitehnoloogia ja materjaliteadus

- 3D-mikroakude arendamine ja optimeerimine<sup>3</sup> (Heiki Kasemägi, TÜ) ETF9216 2015
- Absorberkihid keemilise pihustuspürolüüsi meetodil nanostruktuursetele päikesepatareidele (Malle Krunks, TTÜ) ETF9081 2015
- Development of CZTS monograin powders towards abundant and non-toxic materials for solar cells (Marit Kauk-Kuusik, TTÜ) ETF9346 2015
- Ioonvedelik/metallioksiid komposiit materjalid (Valter Reedo, TÜ) ETF9281 2015
- Kombineeritud sool-geel ja tahkis-vedelik faasialdusel põhinevad protsessid uudsete metalloksiidnanokeraamiliste materjalide valmistamiseks (Tanel Tätte, TÜ) ETF9292 2015
- Protsside ja mehhanismide uurimine, mis limiteerivad Cu<sub>2</sub>ZnSn(S,Se)<sub>4</sub> kui päikesepatarei absorbermaterjali saagist sünteesil sulade soolade keskkonnas (Kristi Timmo, TTÜ) ETF9425 2015
- Õhukesekilised päikesepatareid vesilahustest sadestatud kalkogeniidsete kiledel baasil (Jaan Hiie, TTÜ) ETF9142 2015

**4.17 Energeetikaalased uuringud**

- Elektersõidukite kiirloomiseks kasutatavate uudsete kahesuunaliste muunduritopoloogiatega ja juhtimisalgoritmide uurimine ja väljatöötamine (Tanel Jalakas, TTÜ) ETF9350 2015

- <sup>1</sup> osaliselt erialadel 4.4. Matemaatika ja 4.13 Mehhanotehnika, automaatika, tööstustehnoloogia
- <sup>2</sup> osaliselt erialal 1.9. Keskkonnaohtlike aineid käsitlevad uuringud ja erialal 4.17 Energeetikaalased uuringud
- <sup>3</sup> osaliselt erialal 4.17 Energeetikaalased uuringud

## VI. RAAMATUD JA KOGUMIKUD

- David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker. Füüsika põhikursus: õpik kõrgkoolile. 2. köide. // Tartu : Eesti Füüsika Selts, 2012.
- Pärtel, E. Füüsika 8. klassile. // Tallinn: Koolibri, 2012.
- Pärtel, E. Füüsika 8. klassile. // Tallinn: Koolibri, 2012 (vene keeles).
- Pärtel, E. Füüsika töövihik 8. klassile. I osa. // Tallinn: Koolibri, 2012.
- Ganina, S. Füüsika konspekt II. // Tartu, KVÜÖA 2012.

## VII. IN MEMORIAM

### Lembit Sossi

22. juuni 1943 – 3. veebruar 2012

Meie hulgast on lahkunud füüsikateoreetik Lembit Sossi. Teoreetiline füüsika sai tema põhitegevuseks 1971. aastal, kui ta alustas tööd TRÜ teoreetilise füüsika kateedris, alguses vanemlaborandi ja seejärel vanemõpetajana, hiljem lektori, teaduri ja dotsendi ametites.

1980. aastal kaitses Lembit Sossi professor Paul Kardi juhendamisel kandidaadiväitekirja optiliste interferentskatete teooria alal. Nende uuringute eest anti talle 1985. aastal koos Paul Kardi, Nikolai Kristoffeli ja Vladimir Fedossejeviga Eesti teaduspreemia.

Optiliste katete teooria jäi ka edaspidi tema teadushuvide ringi, kuid lisandusid veel mittelineaarse dünaamika probleemid, diferentsiaalvõrandite teooria mitmesugused aspektid, arvutusmeetodid jm.

Kokku oli Lembit Sossi seotud Tartu Ülikooli füüsikaosakonnaga ja

seejärel füüsika instituudiga 40 aastat. Laia silmaringi ja sügava eruditsiooniga isikupärase õppejõuna oli ta füüsikatudengite hulgas väga hinnatud. Lembit Sossi loetud kursuste arv on märkimisväärselt suur, siia kuulub ilmselt enamik teoreetilise füüsika põhikursusi, lisaks veel kitsamad erialased loengud.

Lembit Sossi on paljude õppevahendite autor ning juhendanud mitmeid teoreetilise füüsika diplomi-, bakalaureuse- ja magistritöid. 2011. aastal autasustati teda TÜ väikese medaliga.

Füüsikud jäävad Lembit Sossit mäletama kui erudeeritud akadeemilist õppejõudu ja teadlast ning sügavate kultuurihuvidega kolleegi.

### **Tiiu Sild**

17. juuli 1958 – 16. veebruar 2012

Pärast rasket haigust on meie hulgast lahkunud AHHAA teaduskeskuse juhataja Tiiu Sild.

Tiiu Sild sündis 17. juulil 1958. aastal. Ta on lõpetanud kunstikallakuga Tallinna 46. Keskkooli kuldmedaliga ja 1981. aastal Tartu Ülikooli *cum laude* orgaanilise keemia/keemiapedagoogi erialal. Pärast ülikooli lõpetamist töötas Tiiu Sild mõnda aega keemiainsenerina, siis sooritas magistrieksami molekulaarbioloogias ja kvalifitseerus molekulaardiagnostika erialale.

Alates 1997. aastast asus Tiiu Sild juhtima teaduskeskust AHHAA – esialgu Tartu Ülikooli teadus- ja arenduskeskuse projekti raames, alates 2004. aastast aga omaette sihtasutuse eesotsas.

Tiiu Silla tegevus on tõstnud teaduse populariseerimise Eestis uuele tasemele, mida on tunnustatud ka rahvusvaheliselt. Tiiu Sild oli aktiivselt tegev mitmes rahvusvahelises teadusorganisatsioonis ning oli teaduskeskuste võrgustiku ECSITE juhatuse liige.

2008. aastal autasustati Tiiu Silda Valgetähe V klassi teenetemärgiga. 2011. aastal pälvis ta Eesti teaduse populariseerimise elutöö auhinna. Tema juhtimise all valminud AHHAA keskuse maja Tartus sai tiitli Tartu tegu 2011. Tartu linnavolikogu erakorralisel istungil 16. veebr 2012 kuu- lutati Tiiu Sild postuumselt Tartu linna aukodanikuks.

### **Raivo Tamkivi**

21. märts 1953 – 22. november 2012

Raivo Tamkivi sündis 21. märtsil 1953 aastal Tallinnas. Ta lõpetas Tallinna 2. Keskkooli 1971. a ja Tartu Ülikooli füüsikaosakonna 1976. a. Seejärel töötas ta Eesti TA Füüsika Instituudis, kus kaitses kandidaadikraadi tahkisefüüsika erialal 25. okt 1982. a. Töö „Кинетика флуоресценции и перенос энергии возбуждения молекул хлорофилла в низкотемпературных матрицах“ juhendajaks oli Rein Avarmaa (1940–1987).

Aastast 1992 pühendas Raivo Tamkivi end teadusparkide loomisele ja arendamisele Eestis. Tema eestvedamisel rajati nüüd juba 20 aastat edukalt tegutsenud Tartu Teaduspark, mille juhiks ta oli aastail 1997–2001. Seejärel pani ta aluse Tallinna Teaduspargile Tehnopol. Ta juhtis selle tööd aastail 2004–2007, hiljem töötas samas juhtkonna nõunikuna. Teadusparkide tööst kõneles ta mitu korda füüsikapäevadel ja kirjutas neist EFS aastaraamatutes 1994 ja 1995. Viimastel füüsikapäevadel, 23. märtsil 2012 kõneldut ta artikliks kirjutada enam ei jõudnud...

Raivo Tamkivi korraldas Eesti teadusparkide osalemise Rahvusvahelises Teadusparkide Assotsiatsioonis (IASP). Ta ise oli aastail 2000–2008 selle direktorite nõukogu liige, asepresident ja president. Selle organisatsiooni 2012. a juunis Tallinnas peetud maailmakonverents kujunes tõeliseks suurürituseks.

Oma töös pidas Raivo Tamkivi kõige olulisemaks avatust ja koostööd. Tema sõnul saab väikeriik olla edukas vaid siis, kui liitutakse koheselt ja kiiresti rahvusvahelistesse võrgustikesse ning püsitakse neis nähtavana. See põhimõte peegeldus ka tema igapäevatöös ja tuhandetes kontaktides üle maailma.

Raivo Tamkivi oli aktiivne ka väljaspool erialast tööd, olles aastail 2000–2005 Tallinna Rotary Klubi juhatuse liige ja president. Oma kolleegide seas oli ta kõrgelt hinnatud koostööpartner ja hea sõber. Tema mälumängurile omased teadmised, laialdased kogemused ja üdini positiivne suhtumine aitasid lahendada ükskõik kui keerulised probleemid.

## **VIII. FÜÜSIKAHARIDUSLIK TEGEVUS**

- Haridus- ja Teadusministeerium koostöös partnerorganisatsioonidega kuulutas 2011./12. õppeaasta teadusaastaks. Teadusaasta jooksul

toimusid mitmed sündmused akadeemilistes asutustes, koolides, huvikoolides, ettevõtetes ja seltsides: konkursid, tehnoloogiaprojektid, konverentsid ning neid esile tõstev katuskampaania meedias. Teadusaasta veebileht asub aadressil [www.miks.ee](http://www.miks.ee).

- Jaanuaris oli Sänna Kultuurimõisas Võrumaal võimalik tutvuda astronoomiliste piltide näitusega.
- 17. veebr kuni 27. apr korraldati TÜ koolifüüsika keskuse poolt Tartus koostöös TÜ Avatud Ülikooli keskusega programmi Primus raamides kursus „Reaalteaduste didaktika“, mille lõpetajaid oli 15 – TÜ LoTe-st, TTÜ-st ja Tartu Observatooriumist.
- Tartu tähetorn koostöös Tartu Tähetorni Astronoomiaringi ning Teaduskeskusega AHHA korraldas kevadel huviõhtute sarja „Klassikalised planeedid“, kus iga õhtu oli pühendatud ühele planeedile, mida 2012. a kevadel palja silmaga näha võis: Merkuur, Jupiter, Marss, Veenus ja Saturn.
- 10. ja 11. märtsil toimus Tartu Ülikoolis Eesti koolinoorte 59. füüsikaolümpiaadi lõppvoor. Olümpiaadile olid kutsutud 116 parimat 8.–12. klasside õpilast piirkonnavoorede tulemuste alusel. Füüsikaolümpiaadi lõppvooru žürii otsus:
  - I Autasustada 1. järgu diplomiga
    - \* Gümnaasiumi arvestuses: Erik Tamre (12. kl, Tallinna Reaalkool), Jaan Toots (11. kl, Tallinna Reaalkool)
    - \* Põhikooli arvestuses: Eva-Maria Tõnson (8. kl, Tartu Veeriku Kool).
  - II Autasustada 2. järgu diplomiga
    - \* Gümnaasiumi arvestuses: Tanel Kiis (12. kl, C. R. Jakobsoni nim Gümni), Kristian Kongas (8. kl, Vanalinna Hariduskolleeegium), Kaur Aare Saar (11. kl, Tallinna Inglise Kolledž), Taivo Pungas (12. kl, Tallinna Reaalkool), Eva-Lotta Käsper (12. kl, Hugo Treffneri Gümni), Tõnis Laasfeld (11. kl, Gustav Adolfi Gümni)
    - \* Põhikooli arvestuses: Joonas Kalda (9. kl, Tallinna Reaalkool), Rasmus Kisel (9. kl, Gustav Adolfi Gümni), Taavet Kalda (7. kl, Gustav Adolfi Gümni), Oliver Nisumaa (8. kl, Tallinna Reaalkool), Simmo Saan (9. kl, Kivilinna Gümni), Pille-Riin Paavo (9. kl, Tallinna Reaalkool)
  - III Autasustada 3. järgu diplomiga
    - \* Gümnaasiumi arvestuses: Sergei Malõšev (12. kl, Narva Pähklimäe Gümni), Kristo Ment (11. kl, Pärnu Koidula Gümni), Andres Põldaru (11. kl, Tallinna 32. Keskkool), Sandra Schumann (11. kl, Tallinna Reaalkool), Andres Erbsen (11. kl, Tallinna Reaal-

- kool), Lauri Kongas (12. kl, Vanalinna Hariduskolleegium), Sergei Jakovlev (12. kl, Tartu Vene Lütseum), Janno Veeorg (11. kl, Tallinna Reaalkool), Deiwin Sarjas (12. kl, Nõo Reaalgümn)
- \* Põhikooli arvestuses: Hans Daniel Kaimre (9. kl, Kivilinna Gümn), Markus Laars (9. kl, Tallinna Reaalkool), Mikk Kull (9. kl, Nõo Põhikool), Erik Amor (9. kl, Pärnu Koidula Gümn), Tiit Hendrik Piibelet (9. kl, Gustav Adolfi Gümn), Edward Erelt (8. kl, Tallinna Reaalkool), Nils Holger Sova (9. kl, Suure-Jaani Gümn)
- IV Autasustada järguta diplomiga
- \* Gümnaasiumi arvestuses: Oliver-Matis Lill (10. kl, Tallinna Reaalkool), Uku Erik Tropp (11. kl, Tallinna Reaalkool), Jörgen Jõgiste (11. kl, Tallinna Reaalkool), Kaarel Kree (10. kl, Hugo Treffneri Gümn), Robert Aare (11. kl, Gustav Adolfi Gümn), Mihkel Killo (12. kl, Pärnu Koidula Gümn), Michael Florea (12. kl, Tallinna Reaalkool), Timothy H. C. Tamm (10. kl, Gustav Adolfi Gümn), Sille Habakukk (11. kl, C. R. Jakobsoni nim Gümn), Marti Lillemägi (12. kl, Nõo Reaalgümn), Uku-Kaspar Uustalu (10. kl, Tallinna Reaalkool), Raid Vellerind (10. kl, Tallinna Reaalkool), Anu Ainsaar (12. kl, Tallinna Reaalkool), Kaur Karus (12. kl, Hugo Treffneri Gümn)
  - \* Põhikooli arvestuses: Oskar Voldemar Lahesoo (8. kl, Tallinna Reaalkool), Gerda Raag (9. kl, Miina Härma Gümn), Liine Kasak (8. kl, Tallinna Reaalkool), Maria Maloverjan (9. kl, Tallinna Tõnismäe Reaalkool), Raul Rincken (9. kl, Kivilinna Gümn), Vadim Šved (9. kl, Tallinna Tõnismäe Reaalkool), Andi Ingalt (9. kl, Kär-la Põhikool), Vitas Rudaitis (9. kl, Kohtla-Järve Ahtme Gümn)
- V Eriauhinnad toetajatelt:
- \* TÜ Füüsika Instituudi eriauhind - Erik Tamre (12. kl, Tallinna Reaalkool)
  - \* Eesti Füüsika Seltsi eriauhind - Jaan Toots (11. kl, Tallinna Reaalkool)
  - \* Kirjastuse Avita stipendium - Jaan Toots (11. kl, Tallinna Reaalkool), Kristjan Kongas (8. kl, Vanalinna Hariduskolleegium), Eva-Maria Tõnson (8. kl, Tartu Veeriku Kool)
  - \* Swedbanki stipendium „Benoit Mandelbrot'i jälgedes“ - Tanel Kiis (12. kl, C. R. Jakobsoni nim Gümn), Kaur Aare Saar (11. kl, Tallinna Inglise Kolledž), Taivo Pungas (12. kl, Tallinna Reaalkool), Eva-Lotta Käsper (12. kl, Hugo Treffneri Gümn), Tõnis



- Laasfeld (11. kl, Gustav Adolfi Gümnn), Joonas Kalda (9. kl, Tallinna Reaalkool), Rasmus Kisel (9. kl, Gustav Adolfi Gümnn), Taa-  
vet Kalda 7. kl, Gustav Adolfi Gümnn), Oliver Nisumaa (8. kl, Tal-  
linna Reaalkool), Simmo Saan (9. kl, Kivilinna Gümnn)
- \* MTÜ Loodusajakiri eriauhind – Eva-Lotta Käsper (12. kl, Hugo Treffneri Gümnn), Eva-Maria Tõnson (8. kl, Tartu Veeriku Kool)
  - \* Ajakirja Imeline Teadus eriauhind – Erik Tamre (12. kl, Tallinna Reaalkool), Kristo Ment (11. kl, Pärnu Koidula Gümnn), Uku-Kaspar Uustalu (10. kl, Tallinna Reaalkool)
- VI Žürii avaldab tänu õpetajatele õpilaste hea ettevalmistamise eest.
  - VII Vastavalt olümpiaadi statuudile arvata Eesti võistkonna liikmeks rahvusvahelisel füüsikaolümpiaadil Erik Tamre (12. kl, Tallinna Reaalkool)
  - VIII Nimetada rahvusvahelise füüsikaolümpiaadi Eesti võistkonna kandidaatideks Deiwin Sarjas (12. kl, Nõo Reaalgümnn), Eva-Lotta Käsper (12. kl, Hugo Treffneri Gümnn), Lauri Kongas (12. kl, Vanalinna Hariduskolleegium), Sergei Jakovlev (12. kl, Tartu Vene Lütseum), Sergei Malõšev (12. kl, Narva Pähklikimäe Gümnn), Taivo Pungas (12. kl, Tallinna Reaalkool), Tanel Kiis (12. kl, C. R. Jakobsoni nim Gümnn), Andres Erbsen (11. kl, Tallinna Reaalkool), Andres Põldaru (11. kl, Tallinna 32. Keskkool), Jaan Toots (11. kl, Tallinna Reaalkool), Janno Veeorg (11. kl, Tallinna Reaalkool), Kaur Aare Saar (11. kl, Tallinna Inglise Kolledž), Kristo Ment (11. kl, Pärnu Koidula Gümnn), Sandra Schumann (11. kl, Tallinna Reaalkool), Tõnis Laasfeld (11. kl, Gustav Adolfi Gümnn), Kaarel Kree (10. kl, Hugo Treffneri Gümnn), Oliver-Matis Lill (10. kl, Tallinna Reaalkool), Raid Vellerind (10. kl, Tallinna Reaalkool), Timothy H. C. Tamm (10. kl, Gustav Adolfi Gümnn), Uku-Kaspar Uustalu (10. kl, Tallinna Reaalkool), Eva-Maria Tõnson (8. kl, Tartu Veeriku Kool), Kristjan Kongas (8. kl, Vanalinna Hariduskolleegium)

Jaak Kikas, füüsikaolümpiaadi žürii esimees  
Tartus, 11. märts 2012. a.

- 11. märtsil toimus TÜ Teaduskoolis VIII astronoomia lahtine võistlus, millest võttis osa 24 õpilast. Nooremas rühmas sai I koha Elo Maria Pauman (Tallinna Prantsuse Lütseum), II koha Fedor Stomakhin (Lii-

valaia Gümnn) ja III koha Taavet Kalda (Gustav Adolfi Gümnn). Vane-  
mas rühmas sai I koha Jaan Toots (Tallinna Reaalkool), II koha Uku  
Erik Tropp (Tallinna Reaalkool) ja III koha Kristo Ment (Pärnu Koi-  
dula Gümnn).

- 21.–23. märtsini toimus Tartu Tähetornis teaduslaager „Astronoo-  
miakool Tartu Tähetornis“, mille sihtgrupiks on 14–18 aastased noo-  
red. Sai kuulata loenguid, osa võtta töötubadest, vaatlustest ning pla-  
netaariumitundidest. Toimus ka väljasõit Tartu Observatooriumi.
- 22.–29. apr toimus Vilniuses 10. Euroopa Liidu loodusteaduste olümpia-  
aad (EUSO) kuni 16 aastatele õpilastele. Kokku osalesid 44 võistkon-  
da 22 riigist, igast riigist kaks kolmeliikmelist võistkonda. Tegemist  
on võistkondliku võistlusega, mis hõlmab eksperimente bioloogia,  
keemia ja füüsika valdkonnast. Eesti võistkond tuli absoluutseks võit-  
jaks, pälvis kuldmedali ning EUSO rändkarika. Võitnud võistkonnas  
esindasid Eestit Timothy Henry Charles Tamm (Gustav Adolfi Gümnn,  
10. kl), Mette-Triin Purde (Tallinna Prantsuse Lütseum, 11. kl) ja Uku-  
Kaspar Uustalu (Tallinna Reaalkool, 10. kl). Eesti teine võistkond  
(Maria Krajuškina (Tallinna Reaalkool, 10. kl), Magnus Kaldjärv (Saa-  
remaa Ühisgümnn, 9. kl), Eva-Maria Tõnson (Tartu Veeriku kool 8. kl)  
tõi hõbemedali. Eesti võistkonna juht oli Karin Hellat.
- 24.–26. apr toimus Tallinnas 10. Eesti–Soome maavõistlus füüsikas,  
kus osalesid 32 õpilast. Esikoha võitis Jaan Toots, teise ja kolmanda  
punktisumma said Tanel Kiis ja Kaur Aare Saar. Võistluse tulemused  
määrasid Eesti ja Soome võistkonna koosseisud rahvusvaheliseks  
füüsikaolümpiaadiks. Võistluse korraldamist juhtis Jaan Kalda.
- 27.–28. apr toimus Tartus Karlova Gümnaasiumis Õpilaste Teadus-  
liku Ühingu aastakonverents ([www2.archimedes.ee/teadpop/index.php?leht=324](http://www2.archimedes.ee/teadpop/index.php?leht=324)). Õpilased esitasid konverentsil oma teadustöid ja tut-  
vusid Tartu teadusasutustega. Konverentsil jagati ka õpilaste teadus-  
tööde riikliku konkursi preemiad ([www2.archimedes.ee/teadpop/index.php?leht=450](http://www2.archimedes.ee/teadpop/index.php?leht=450)). Konkursile laekus 123 tööd, neist 31 *humaniora*, 46  
*naturalia*, 12 *realia* ja 34 *socialia* valdkonnast. 95 tööd esitati güm-  
naasiumi ja 28 põhikooli astmes.
- 5. mail Tartu Tähetornis toimunud teemapäeval sai uurida Johann  
Heinrich Mädleri 175 aastat tagasi ilmunud Kuu atlase abil Maa kaas-  
lase uurimislugu ja pinnavorme, kuulda lugusid tähetornis töötanud  
Saksa päritolu astronoomidest ning imetleda Saksamaa meistritelt tel-  
litud astronoomilisi instrumente.

- 6. juuni varavalgel said huvilised Tallinna Linnahalli promenaadil ja Tartu Toomkiriku põhjatornis vaadelda harukordset sündmust – Veenuse üleminekut Päikesest.
- 12. juunil toimus füüsika riigieksam. Eksamil osales 609 õpilast. Eksamitööde keskmiseks tulemuseks kujunes 63,5 hindepalli ning 58 eksamitööd said üle 90 punkti 100st.
- 26.–28. juunini toimusid Lätis Ventspilsis füüsikaõpetajate 10. suvepäevad, osales 43 õpetajat. Kuulati Ventspilsi kolledži lektorite loenguid, külastati Irbene raadioastronoomiakeskust ([www.youtube.com/watch?v=17fYtA2NhvY](http://www.youtube.com/watch?v=17fYtA2NhvY)) ja tutvuti kohaliku hariduseluga.
- 27.–29. juunini toimus Põlvamaal Salamaa puhkebaasis projekti „Innovaatiline Ida-Virumaa“ Teaduskooli suvelaager.
- Juunis toimus esmakordselt Tartu Observatooriumi poolt koordineeritud Teadusmalev, mis pakkus õpilastele võimalust teenida taskuraha Eesti tudengisatelliidi programmi teadustöös osaledes. Teadusmaleva juhendaja oli TÜ õppejõud ja TO vanemteadur Mart Noorma.
- 15.–23. juulil toimus Tallinnas ja Tartus 43. rahvusvaheline füüsikaolümpiaad IPhO 2012 (vt [www.ipho2012.ee](http://www.ipho2012.ee)). Olümpiaadil panid oma füüsikaalased teadmised ja oskused proovile 378 kuni 20-aastastast õpilast 80-st maailma riigist, iga riiki esindas kuni 5-liikmeline võistkond. Teoreetilised ja eksperimentaalsed ülesanded koostas akadeemiline korralduskomitee, mille juhid olid Jaak Kikas (TÜ) ja Jaan Kalda (TTÜ). Ülesannetekomplekti hinnati eelnevate olümpiaadidega võrreldes üsna raskeks, kuid huvitavaks. Ülesannete lahendamine toimus Tartus; avatseremoonia, lahenduste hindamine, arutelud ja autasustamine Tallinnas. Suursündmuse korraldusliku poole eest hoolitses Eesti Infotehnoloogia Sihtasutus. Parimatele osavõtjatele jagati 45 kuldmedalit, 71 hõbemedalit, 92 pronksmedalit ja 63 aukirja. Olümpiaadi üldvõitjaks tuli Attila Szabó Ungarist, kes esitas ka parimad teooriaülesannete lahendused. Eksperimendivooru parim oli Kai-Chi Huang Taivanist. Eesti võistkonnast sai kuldmedali kevaldel Tallinna Reaalkooli 11. klassi lõpetanud Jaan Toots (õp Toomas Reimann). Hõbemedalitele tulid ülejäänud 4 Eesti võistkonna liiget: Viljandi C.R. Jakobsoni Gümnaasiumi lõpetanud Tanel Kiis (õp Vahur Pohlasalu), sügisel Tallinna Vanalinna Hariduskollegiumis 9. klassi minev Kristjan Kongas (juhendajaks Olav Kongas), Tallinna Inglise Kolledžis abituuriumi alustav Kaur Aare Saar (õp Guido Vegmann) ning Andres Erbsen Tallinna Reaalkoolist (õp Rain Vellerind, Toomas

Reimann, Eero Uustalu, Mart Kuurme). Olümpiaadi tähistamiseks kuulutati 20. juulil Tartu maailma füüsikapealinnaks. Toomel Tartu tähetorni ja TÜ ajaloo muuseumi juures oli avatud teaduslinn, toimus arvukalt õpitubasid ning oma teadmisi ja oskusi näitasid Tartu Ülikool, Teadusbuss, Tartu Ülikooli loodusmuuseum, Eesti Maaülikool ja paljud teised. Teaduslinna peakorraldaja oli Urmet Paloveer, olümpiaadlasi tervitas Tartu linnapea Urmas Kruuse. Õpilastele tutvustati kosmoseuuringuid, füüsika ajalugu, õppimisvõimalusi maailma tippülikoolides ja TÜ teadlaste avastusi. Loenguga esines IPhO osalejatele nobelist Sir Harold Kroto, kes pälvis 1996. aastal Nobeli keemiapreemia.

- 23. juulist 5.augustini toimus Kloogaranna noortelaagris TÜ ja EFS korraldusel 5.–9. klasside õpilastele kahevahetuseline teaduslaager. Tutvustati erinevaid loodusteaduste valdkondi – alates bioloogiast ja keemiast, lõpetades infotehnoloogia ja keskkonnakaitsega. Kavas olid töötoad füüsika, bioloogia, materjaliteaduse, keemia ja akustika aladelt. Laagri vanem oli Kaido Reivelt, laagri korraldamist toetas Euroopa Sotsiaalfond. Laagri korraldamisele aitasid kaasa Eesti Füüsika Selts, GLOBE Eesti ja Noore Õpetaja Huviklubi.
- 9.–13. aug korraldasid Tartu Observatooriumi noored astronoomid (Tiina Liimets, Taavi Tuvikene, Tõnis Eenmäe ja Kristiina Verro) Eesti Astronoomia Seltsi egiidi all traditsioonilise astronoomiahuviliste XVII üle-Eestilise kokkutuleku Võrumaal, Lüllemäel. Kavas olid taevavaatlused ja astronoomialoengud: Elmo Tempel ja Rain Kipper rääkisid galaktikatest, Tiit Sepp kosmoloogilistest simulatsioonidest, Mart Noorma Päikesesüsteemi koloniseerimise plaanidest ja Jasper Kursk marsikulgurist Curiosity. Toimusid Eesti Astronoomia Seltsi üldkoosolek ja diskussioon 2011. aasta Nobeli füüsikapreemia ja tuumenergia teemadel. Urmas Sisask esines loenguga „Astronoomilistest kogemustest muusikas“. Kokkutuleku programmi kuulus ka Sanna Kultuurimõisa külustus, kus toimus täherahva pidu Astrofest 2012. Kavas olid tutvumine Sanna Taevarajaga, Päikese vaatlused päikeseteleskoobiga, akad Jaan Einasto astronoomialoeng, Kuu-teemaliste fotode näituse avamine ning kontsertprogramm. Sai külastada AH-HAA keskuse mobiilset planetaariumi „Starlab“. Päeva jooksul toimusid ka tegevused-õpitoad lastele.
- 13.–15. aug korraldas Muhu Põhikool Saaremaal Mändjala Kämpingus 15. GLOBE suvelaagri, kuhu igast projektis osalevast koolist oli

kutsutud õpetaja ja kuni 3 õpilast. Toimused õppesessioonid, rollimängud, ekspeditsioon, satelliidimäng, tähevaatlused, viktoriin, ettekanded uurimistulemustest jm. Laagrit toetasid Euroopa Liidu Sotsiaalfond ja Tartu Ülikool.

- INNOVE rahastatud projekti raames toimus EFSi füüsikaosakonna poolt korraldatud kaheosaline koolitus gümnaasiumi ainekava teemadel. Esimeses osas, mis toimus 23.–24. aug TÕ keemiahoones, oli rõhuasetus I ja III kursusele. Teises osas, 14.–15. sept Tartu Poska Gümnaasiumis, tehti läbi kõik kohustuslikud praktilised tööd. Esimeses osas osales 85, teises osas 70 õpetajat.
- 21.–22. sept toimus Keila Koolis GLOBE keskkonnateemaline õpilaskonverents.
- 23.–30. sept leidis aset juba seitsmes Teadlaste Öö Festival (vt [www.ahhaa.ee/teadlaste-oo-festival-2012](http://www.ahhaa.ee/teadlaste-oo-festival-2012)), mille tipp-sündmuseks oli 28. sept toimunud üleeuroopaline Teadlaste Öö. Festivali raames toimus üle Eesti rohkem kui 300 teaduse populariseerimise tegevust. Toimused filmiõhtud, teaduskohvikud ja näitused, Tartus Raekoja platsil teadustelgis tegutsesid töötoad. Tegemist oli üleeuroopalise projekti *Researchers' Night 2012* alamprojektiga, mida rahastas Euroopa Komisjon. 25. sept esines Henn Voolaid teadusfestivali raamides monumentaalfüüsika loenguga Tartus, F. R. Faehlmanni kaju juures. 26. sept esines Kalev Tarkpea Tartus baaris Mõku (Rüütli tn 18) teaduskohviku loenguga aja ja ruumi olemusest, loengut kuulata soovijaid oli rohkem kui ruum mahutas. 26 sept filmiõhtul kommenteeris Heli Lukner ulmefilmi „Tähevärav“. 26. sept toimus retk AHHA Tartu Tähetorni Päikesesüsteemi radadel, kus 1 meetrile maapinnal vastab 1 miljon kilomeetrit maailmaruumis; 26. ja 28. sept sai Tartu tähetornis Toomemäel vaadata astronoomia-alaseid filme, toimusid mitmed töötoad, planetaariumietendused, astronoomialoeng ja vaatlused; 28. sept oli avatud Stellaarium Tõravere suures teleskoobitornis ja Tartu Observatooriumi peahoones sai kuulata akad Jaan Einasto astronoomialoengut; 28. sept Tallinna teletorni kinoruumis toimunud teaduskohvikus rääkisid Martti Raidal ja Andi Hektor teemal „Suurimad ja väikseimad asjad Universumis“. 29. ja 30. septembril toimus AHHA keskuses esmakordselt Eestis ka rahvusvaheline teadusteatri festival.
- 4. okt tähistati Tallinnas ja Tartus 55 aasta möödumist esimese Sputniku kosmoselennust. TTÜ ruumides toimus üritus „Sputniku päev

- 55 aastat esimese Maa tehiskaaslase kosmoselennust“. Tartu tähetornis esines TO vanemteadur Uno Veismann loenguga „Sputniku eelloost: Peenemündest Bajkongõrinini“. Kuulutati välja koolilaste joonistusvõistlus teemal „Eesti aastal 2057 – milline võiks Eesti välja näha sputniku 100. sünnipäeval“. Sputniku lennu tähistamine jätkus Tartu tähetornis 6. oktoobril toimunud perepäeval.
- 16.–24. okt toimus Gwangju’s (Lõuna-Korea) XVII rahvusvaheline astronoomiaolümpiaad, millest võttis osa 5-liikmeline Eesti võistkond: Kristo Ment (Pärnu Koidula Güm, 12. kl), Mirjam Tamm (Tallinna Reaalkool, 9. kl), Elo Maria Pauman (Tallinna Prantsuse Lütseum, 9. kl), Taavet Kalda (Gustav Adolfi Güm, 8. kl), Oliver Nisumaa (Tallinna Reaalkool, 9. kl). Võistkonda juhendasid EMÜ dotsent Jaak Jaaniste ja TO teadur Tõnis Eenmäe. Elo Maria Pauman võitis III järgu diplomi.
- Euroopa Komisjoni poolt korraldatud Galileo joonistustevõistluse Eesti vooru võitis Kohtla-Järve koolitüdruk Milena Kaznatšejeva ning seega saab üks Euroopa Liidu Galileo positsioneerimissüsteemi satelliitidest nimeks „Milena“. Noor kosmosekunstnik valmistas 2012. aasta suvel ette kosmoseteemalise kunstinäituse, mis avati pidulikult Tartu Observatooriumis 22. oktoobril.
- 16. nov toimus Tallinna Ülikoolis Eesti Rahvusringhäälingu ja Eesti Teadusagentuuri poolt TeaMe programmi raames korraldatav viies teadusmeedia konverents, seekord pealkirjaga „Teadushimuline meedia“. Päeva juhtis Indrek Treufeldt. Konverents keskendus headele teaduskajastustele ning teaduse populariseerimise õnnestunud näidetele. Diskussioonivoorudes võeti põhjalikumalt vaatluse alla uuriva ja innovatiivse teadusajakirjanduse olemus. Konverentsil anti üle ka auhindad 2012. aasta parimatele teaduse populariseerijatele. Auhindade hulgas oli ka füüsikaga seotuid (vt [www.etag.ee/teaduse-populariseerimine-2/eesti-teaduse-populariseerimise-auhind](http://www.etag.ee/teaduse-populariseerimine-2/eesti-teaduse-populariseerimise-auhind)):
  - Teaduse ja tehnoloogia populariseerimise eest audio-visuaalse ja elektroonilise meedia abil sai peapreemia saatesari „Rakett69“, mille tootja on Vesilind OÜ. Rakett69 on noortele ja teadushuvilistele suunatud võistlussaadete sari, mille eesmärk on populariseerida loodusteadusi ning tõsta noorte teadlikkust ja huvi edasi õppida füüsikat, keemiat, bioloogiat.
  - Parima tegevuse või tegevuste sarjana teaduse ja tehnoloogia populariseerimisel auhinnati TTÜ Virumaa Kolledži tegevust. Viimase viie aasta jooksul on kolledžist kujunenud teaduse ja tehnika

populariseerimise keskus kooliõpilaste ja muu elanikkonna hulgas Ida-Virumaal. Ellu on viidud erinevaid tehnikat ja teadust populariseerivaid projekte, töötavad huviklubid, koolivaheaegadel viiakse läbi ülipopulaarseid kevad- ja sügislaagreid 5.-9. klassi õpilastele.

- Parima teadust ja tehnoloogiat populariseeriva teadlase, ajakirjaniku või õpetaja auhinna sai Kaido Reivelt töö eest üldhariduskoolide õpilaste ja üliõpilaste seas. Kaido Reivelt on Tartu Ülikooli looduse ja tehnoloogiateaduskonna füüsika instituudi õppedirektor, kellel on olnud oluline osa arvukate projektide käivitamisel. Alates 2004. aastast on Reivelt juhtinud teadusbussi tegevusi, tema eestvedamisel on toimunud Eesti Füüsika Seltsi täppisteaduste suve- ja sügiskoolid, teaduslaagrid, Eesti füüsikapäevad ja füüsikaõpetajate päevad, Tähe perepäevad TÄPE.
- Parima uue algatuse peapreemia pälvis koolinoorte teaduspõhine suvemalev Teadusmalev, mille juhendaja on Mart Noorma. Teadusmalev on klassikalisel suvemaleva formaadil põhinev töölaager, kus andekad noored said suvevaheajal osaleda teaduslabori töös ning saada selle eest ka taskuraha. Esimene malevasuvi tõi kokku viis andekat õpilast, kes töötasid Eesti esimese satelliidi ESTCube-1 projektis koos selle tudengisatelliidi programmi üliõpilastega Tartu Observatooriumi teadlaste ja Tartu Ülikooli õppejõudude juhendamisel.
- Tänukirjaga autasustati Olle Arrakut, Kuressaare Gümnaasiumi füüsikaõpetajat ja ringijuhti, loodus- ja tehnikateaduste populariseerimise eest ning Oskar Noorkõivu loodusteaduste (füüsika ja astronoomia) populariseerimise eest.
- 23.-25. nov toimus Tallinna Tehnikaülikooli Spordihoones rahvusvaheline robotikavõistlus Robotex 2012. Kokku registreeriti Robotexi korraldatud robotivõistlustele 131 robotit. Lisaks osales MTÜ Robotika korraldatud First LEGO League võistlusel veel mitmeid roboteid. Robotid võistlesid jalgpallis, sumos ja joonejärgimises. Robotite võistlused jalgpallis võitis algajate osas TTÜ võistkond Mitupead robotiga Sahk 7, professionaalide osas TTÜ võistkond Mäger robotiga Darth Mäger. Joonejärgimises oli parim Riia Tehnikaülikooli võistkond robotiga Brigge Drifter. Lego Sumo võitis Saue Gümnaasiumi võistkond SGR robotiga Väle Rebane. Vt [www.robotex.ee](http://www.robotex.ee).
- 7. dets autasustati Tallinna Teletornis 2012. aasta õpilasleiutajate riikliku konkursi parimaid. Noored leiutajad saatsid konkursile 620 ideed,

mida hinnati kolmes vanusegrupis – 1.–4. kl, 5.–9. kl ja 10.–12. kl (Vt [www.etag.ee/teaduse-populariseerimine-2/opilasleiuatajate-konkurss](http://www.etag.ee/teaduse-populariseerimine-2/opilasleiuatajate-konkurss)).

- 28. dets 2012 kuni 3. jaan 2013 toimus Tangerangis, Indoneesias maailma füüsikaolümpiaadi (WoPhO – World Physics Olympiad) 2. finaaloistlus, kuhu oli kutsutud 72 õpilast 16 riigist. Eestit esindasid Jaan Toots, Tanel Kiis, Kristjan Kongas ja Kaur Aare Saar; Jaan Toots tõi võistluselt pronksmedali. Jaan Kalda (TTÜ KüBI) oli selle võistluse žürii liige.
- Detsembris ilmusid Tähetorni Kalender 2013 (89. aastakäik) ja Tähistäeva Kalender 2013.
- Euroopa Tuumauuringute Keskuses (CERN) Genfis Šveitsis toimusid teist hooaega Eesti füüsikaõpetajate täienduskoolitused. Toimus kaks ühenädalast koolitust, 14.–20. okt ja 9.–15. dets, kus osales kokku 17 Eesti õpetajat. Lisaks osales üks Eesti füüsikaõpetaja CERNi rahvusvahelises kolmenädalases suvekoolis. Täpsemat infot tulevaste ja juba toimunud koolituste kohta leiab veebilehelt [coe.kbfi.ee/pmwiki/pmwiki.php/OpetajadCERNis/Info](http://coe.kbfi.ee/pmwiki/pmwiki.php/OpetajadCERNis/Info). Täienduskoolitusi rahastab HTM ja CERN.
- Teaduskeskuses AHHA Tartu kesklinnas Sadama tn 1 töötas suur interaktiivne teadusnäitus ligi 500 eksponaadiga ja sfääriline planeetaarium, toimusid teemanäitused, teadusteatri etendused ja töötoad. Tartu Lõunakeskuses jätkas töötamist AHHA 4D elamusokino. Näitust korraldati ka AHHA keskuse Tallinna filiaalis (Vabaduse väljak 9). Vt [www.ahhaa.ee](http://www.ahhaa.ee).
- E-õppe programmi Best toel valmis TTÜ füüsikainstituudis õpiobjekt „Elektrilised seadmed ja mõõtevahendid füüsika II praktikumis“. Õpiobjekt on lisamaterjal füüsika II praktikumi sissejuhatava loengu ja raamatu „Füüsika II praktikumi tööjuhendid“ juurde. Õpiobjekti eesmärgiks on anda üliõpilastele täiendavat informatsiooni elektrimõõtmiste tõhusamaks läbiviimiseks füüsika II praktikumis. Õpiobjekti koostasid Marek Vilipuu, Raavo Josepson, Jaanika Niitsoo ja Veljo Sinivee.
- TTÜ viis läbi õppetööd Tallinna Tähetornis. Toimusid kursused gümnaasiumides (TNG, TTG, HG), TTÜ Avatud Ülikooli kursused (gümnaasiumi- ja põhikooli õpilastele), koolituspäevad õpetajatele, huviringid noortele ja täiskasvanutele ning eraisikute ja firmade tellitud kursused.
- ETV edastas noorte täppisteaduste huviliste telemängu Rakett69 teise hooaja ja alustas kolmandaga. Teadusvõistlussaate kummaski hooajas võistlevad 15 andekat noort täppis- ja loodusteaduslike ülesannete lahendamises.



- Vaatamata Tartu Observatooriumis jätkunud renoveerimistöödele võeti Tõraveres vastu 100 ekskursioonigruppi umbes 2400 huvilisega. Astronoomia populariseerimine jätkus ka veebipõhiselt saidi [www.astronoomia.ee](http://www.astronoomia.ee) kaudu, mida haldab Taavi Tuvikene.
- TO teadur Alar Puss viis Tartu Tähetornis läbi 152 planetaariumieten-dust.
- Tähetorni ringi koosolekud toimusid iga kuu (v.a suvekuud) esimesel, kolmandal ja viiendal teisipäeval kell 18.15 Toomemäel Tartu tähe-tornis.
- Sänna Kultuurimõisas jätkus 2011. a sügisel alanud astronoomiatee-maliste loengute ja vaatlusõhtute sari, tänavu esinesid loengutega TO astronoomid Jaan Einasto, Laurits Leedjärv ja Tõnu Viik.
- Uno Veismann jätkas kosmoseteemalise terminoloogia korrasta-mist, inglise-eeesti sõnastik on üldkättesaadav aadressil [www.aai.ee/eterkosm](http://www.aai.ee/eterkosm).
- Tartu Tähetornis ja Tartu Observatooriumis korraldati ligi 30 avalikku vaatlusõhtut. Avalikud vaatlusõhtud toimusid ka Tallinna Tähetornis, Tallinna Linnahalli promenaadil ja Sänna kultuurimõisas Võrumaal (vt [www.astronoomia.ee/sildid/vaatlusõhtud](http://www.astronoomia.ee/sildid/vaatlusõhtud)).
- Projekti „Teleskoop tuleb külla“ raames toimus aprillis-mais kümnes koolis astronoomiateemaline videoloeng ning seejärel teleskoobi-vaatlus. Vaadeldi Kuud, Veenust, Marssi, Saturni. Kokku sai projekti käigus loengust ja vaatlustest osas umbes 450 õpilast, õpetajat ja lap-sevanemat. Projekt viidi läbi Teaduse Populariseerimise Projektikon-kursi rahadega. Projekti viisid läbi Sven-Erik Enno (TÜ) ja Katri Hirv (Saverna Põhikool).
- Türi tegutses 2011. a septembrist kuni 2012. a maini Sven-Erik Enno juhtimisel Türi Astronoomiaring. Kokku oli 2012. a algul 6 kokkusaa-mist. Toimused loengud astronoomia teemal, lisaks ka üks Kuu ja Vee-nuse vaatlus ning üks Päikese vaatlus. Keskmiselt oli üritustel kohal kümmekond inimest.
- Energia avastuskeskuses Tallinnas toimusid interaktiivsed näitused ja teadusteatri etendused eri teemadel (nt ilmastikunähtused, magne-tid, elekter jt). 24. märtsil tähistati elektri-etendustega energiakeskuse majas tegutsenud elektri jaama 99. sünnipäeva. Alates 2013. a algusest on näitusemaja renoveerimisel ja näitused suletud, tellimisel korral-datakse teadusteatri etendusi koolides. Plaanide kohaselt peaks uue-nenud maja valmis olema 2014. a suvel. Vt [energiakeskus.ee](http://energiakeskus.ee).

- Narva Kolledži Lasteülikooli loengud toimusid Narvas nädalavahe-  
tustel kogu õppeaasta jooksul, Tartus kevadisel koolivaheajal ja Tal-  
linnas sügisesel koolivaheajal, lektoriteks rektorid, akadeemikud,  
professorid, tuntud inimesed erinevatest eluvaldkondadest. Narva  
Lasteülikooli sihtrühmaks on lapsed vanuses 8 kuni 12 aastat, loen-  
gud toimuvad paralleelselt eesti ja vene keeles.
- Jätkas tööd Kosmoseklubi Estronautid, mille sihtrühmaks on põ-  
hikooli õpilased. Huvitegevust juhendasid Eesti Tudengisatelliidi  
meeskonna liikmed.

Kroonika koostasid Helle Kaasik (TÜ FI), Anna Aret (TO) ja Piret Kuusk (TÜ FI). Andmeid andsid Ivika Vilt (TTÜ), Tõnu Laas (TLÜ), Kersti Roosi-  
mäe (TÜ õppeosakond) ja Henn Voolaid (TÜ koolifüüsika keskus). Kroo-  
nikat täiendasid Sven-Erik Enno, Andi Hektor, Indrek Jõgi, Kalle Kepler,  
Madis Kiisk, Mati Kutser, Katrin Laas, Ants Lõhmus, Roland Matt, Riina  
Murulaid, Alex Nõomaa ja Sandhra-Mirella Valdma. Andmed ETF uuri-  
mistoetuste kohta pärinevad ETISest ([www.etis.ee](http://www.etis.ee)). Andmed sihtfinant-  
seeritavate teadusteemade kohta pärinevad ETISest ning veebilehtedelt  
[www.etag.ee](http://www.etag.ee) ja [www.hm.ee](http://www.hm.ee). Kasutatud on ka veebilehti [www.ahhaa.ee](http://www.ahhaa.ee),  
[www.akadeemia.ee](http://www.akadeemia.ee), [www.archimedes.ee](http://www.archimedes.ee), [www.astronoomia.ee](http://www.astronoomia.ee), [energia-  
keskus.ee](http://energia-<br/>keskus.ee), [www.fi.ut.ee](http://www.fi.ut.ee), [fys.fyysika.ee](http://fys.fyysika.ee), [www.fyysika.ee](http://www.fyysika.ee), [www.robotex.ee](http://www.robotex.ee),  
[www.ttkool.ut.ee](http://www.ttkool.ut.ee), [www.ut.ee](http://www.ut.ee) jt.

## RAAMATUS KASUTATUD LÜHENDID

|            |   |
|------------|---|
| CERN       | Euroopa tuumauuringute keskus ( <i>Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire</i> ) |
| EEK Mainor | Eesti Ettevõtluskõrgkool Mainor   |
| EMÜ        | Eesti Maaülikool  |
| ESA        | Euroopa Kosmoseagentuur (European Space Agency)                                       |
| ETA        | Eesti Teaduste Akadeemia  |
| ETF        | Eesti Teadusfond  |
| ETIS       | Eesti Teadusinfosüsteem   |
| EÕL        | Eesti Õpilasliit  |
| FMTDK      | TÜ ja TTÜ doktorikool „Funktsionaalsed materjalid ja tehnoloogiad“                    |
| FÜS        | Eesti Füüsikaüliõpilaste Selts  |
| GAG        | Gustav Adolfi Gümnaasium  |
| HG         | Haapsalu Gümnaasium   |
| HTG        | Hugo Treffneri Gümnaasium   |
| HTM        | Haridus- ja Teadusministeerium  |
| IAEA       | Rahvusvaheline Aatomienergiaagentuur ( <i>International Atomic Energy Agency</i> )    |
| KBFI       | Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut   |
| KFK        | TÜ LOTE koolifüüsika keskus   |
| KTH        | Rootsi Kuninglik Tehnoloogiainstituut   |
| MIKES      | Soome Mõõtetehnika Keskus   |
| MPI        | Max Plancki Instituut   |
| TA         | Teaduste Akadeemia  |
| TLÜ        | Tallinna Ülikool  |
| TNG        | Tallinna Nõmme Gümnaasium   |
| TO         | Tartu Observatoorium  |
| TRÜ        | Tartu Riiklik Ülikool (1940–1941 ning 1944–1989)                                      |
| TTG        | Tallinna Täiskasvanute Gümnaasium   |
| TTÜ        | Tallinna Tehnikaülikool   |
| TTÜ Kübi   | TTÜ Küberneetika Instituut  |
| TÜ         | Tartu Ülikool   |
| TÜ FI      | TÜ Füüsika Instituut  |
| TÜ KI      | TÜ keemia instituut   |
| TÜ LOTE    | TÜ loodus- ja tehnoloogiateaduskond   |
| TÜ MRI     | TÜ molekulaar- ja rakubioloogia instituut   |
| TÜ TI      | TÜ tehnoloogiateaduste instituut  |
| TÜ ÖMI     | TÜ ökoloogia ja maateaduste instituut   |
| UvA        | Amsterdami Ülikool  |
| ÜG         | Ühisgümnaasium  |

