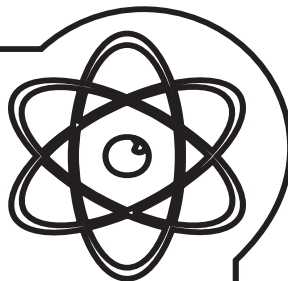
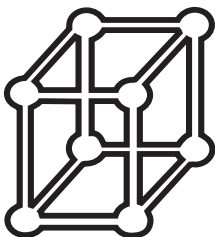


EESTI FÜÜSIKA SELTS



**EESTI
FÜÜSIKA SELTSI
AASTARAAMAT
2005**

XVI
aastakäik



TARTU 2006

Toimetajad: Anna Aret, Helle Kaasik ja Piret Kuusk
Tehniline toimetaja: Ira Saar[†]
Kaanekujundus: Uku Lõhmus

© Eesti Füüsika Selts 2006

ISSN — 1406–0574

See raamat on kujundatud küljendusprogrammiga \TeX .
 \TeX on Ameerika Matemaatikaseltsi kaubamärk.

1905. aasta suvel oli Leipzigris Johann Ambrosius Barthi kirjastuses Paul Drude poolt toimetatud ajakirja „Annalen der Physik“ 1900. aastal ilmuma hakanud IV seeria jõudnud 17. köiteni (aastas ilmus 15 vihikut, mis koondati kolmeks köiteks). Selles köites avaldati kolm Albert Einsteini artiklit: VI vihikus (lk 132-148) „Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt“, VII vihikus (lk 549-560) „Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen“ ja X vihikus (lk 891-921) „Zur Elektrodynamik bewegter Körper“. Praegu me teame, et need kolm artiklit panid aluse kolmele praegu väga olulisele füüsikateooriale: valguse kvantteooria, molekulaarkineetiline teooria ja erirelatiivsusteooria. Tähistamaks sajandi möödumist tollest imepärasest ajast ja selleks, et füüsikalised teadused tuua laiemale avalikkuse tähelepanu alla, nimetas ÜRO Euroopa Füüsika Seltsi ettepanekul 2005. aasta ülemaailmseks füüsika-aastaks.

Ka Eesti avalikkusele pakuti sel aastal väga palju füüsikalist. Osalemine Euroopa Komisjoni 6. raamprogrammi projektis „World Year of Physics 2005“ andis siinjuures nii moraalset kui materiaalist tuge.

Eesti Füüsika Seltsi 16. aastaraamatu avaartiklis kirjeldab Kaido Reivelt värvikalt füüsika-aasta sündmuste korraldamist Eestis. Seejärel on avaldatud kaks ettekannet, mis esitati 22. ja 23. märtsil 2005 toimunud Eesti XXXV füüsikapäevadel, ning 21. ja 22. märtsil 2006 toimuvate Eesti XXXVI füüsikapäevade kava koos ettekannete tutvustusega. Aastaraamatu lõpetavad Eesti Füüsika Seltsi rubriik ja 2005. a füüsikakroonika, mille viimane osa annab lühiülevaate ülemaailmse füüsika-aasta üritustest Eestis.

Piret Kuusk, toimetaja

SISUKORD

Kaido Reivelt	
Füüsika-aasta 2005 Eestis	5
FÜÜSIKAPÄEVAD 2005	31
Kava	33
Jaan Aarik	
Aatomkihtsadestamine: alusuuringutest rakendusteni	37
Matti Selg	
Kvantmehaanika pöördülesanne – mis see on ja kuidas seda lahendada	57
FÜÜSIKAPÄEVAD 2006	71
Kava	72
Ettekannete sisukokkuvõtted	75
EESTI FÜÜSIKA SELTS 2005	99
EFS preemiad	101
EFS auliikme tunnistus	101
EFS aukirjad	102
EFS üliõpilaste stendipreemia	102
EFS õpilaspreemia	103
EFS tänukiri	103
Eesti Teaduste Akadeemia ja EFS assotsiatsioonileping	104
EFS juhatuse aruanne	106
EFS laiendatud juhatuse 2005	109
EFS uued liikmed	110
EFS noorfüüsikute suve- ja sügiskoolid	111
EFS II füüsikaõpetajate suvekool	114
FÜÜSIKAKROONIKA 2005	115
Töökorraldus	116
Väitekirjade kaitsmine	118
Õppetöö	124
Teadusüritused Eestis	128
Teadustöö	132
Raamatud ja kogumikud	142
Füüsikahariduslik tegevus	142
Ülemaailmne füüsika-aasta 2005	148
In memoriam. Ira Saar	151
Summary	152

FÜÜSIKA-AASTA 2005 EESTIS

Kaido Reivelt

Tartu Ülikooli Füüsika Instituut

1 Sissejuhatus

On üsna raske paari lausega edasi anda kogu seda kirevat elamuste virr-varri, mis seostub Suure Vankri ja selle reisidega, telekaamerate ees eksperimenteerimisega, füüsika-aastaga üldiselt. Sest justkui oleks miskit väga olulist liikuma läinud, olulist sel määral, et ühtäkki ei tundugi Eesti füüsika tulevikuperspektiivid nii trööstitud kui mõnel eriti sombusel sügispäeval kaks või kolm aastat tagasi. Aga kas füüsikatudengite aktiivne tegutsemine enese teadvustamisel ja neis tärkav ametiuhkus on pelgalt füüsika-aasta teene või hakkab lihtsalt ümber saama üks mõõnaperiood ning sellele järgnev tõus on paratamatu, mine sa võta kinni. Alljärgnev pole enam kui killud füüsika-aasta mosaiigist neile Eesti Füüsika Seltsi liikmetele, kes asjast eemal olid.

Aga alustaks päris algusest. . .

2 Projekt „Füüsika Aasta 2005 (reaalhariduse populariseerimine Eestis)“

Algus oli varsti pärast EFSi üldkogu 13. veebruaril 2004, kus füüsika-aasta tähistamine ja kajastamine Ülle Kikase ja Andi Hektorri sõnavõttudes teemaks tuli. Sõnastatud projekt oli määratud „propageerima füüsikat, üldse reaalteadusi ning koondama reaalteaduste populariseerimisega tegelevaid inimesi ning vastavalt muutma kogu sellesuunalist tegevust efektiivsemaks ja mõjuvamaks“. Olgu siin nimetatud esialgses projektis sisaldunud ideed.

1. Reaalteaduste portaali käivitamine internetis.
2. Sisuline ning finantsiline toetus Teaduskeskusele AHHA füüsikanäituse korraldamisel.
3. „Teadusteatri“ etenduste loomine ning avalikud etendused TÜ füüsikaosakonnas ja väljasõitudel Eesti koolides.
4. Avalike meistriloengute korraldamine ning levitamine erinevates meediumides.

5. Vähemalt üks reaalteaduste teemaline raadio- ja telesaadete sarj, kas originaalne või sisseostetud/tõlgitud/kommenteeritud.
6. Suvelaager „Füüsika Aasta 2005“ noortele.

Projekti koostajateks ja algatusrühmaks olid Kaido Reivelt, Ülle Kikas, Raivo Jaaniso, Arvo Kikas, Andi Hektor.

Oli olemas suhteliselt selge nägemus sellest, mida võiks enesest kujutada füüsikaportaal. AHHA näitusele toetust lubades eeldasime, et AHHA teeb füüsika-aasta tähistamiseks erinäituse. Teadusteatri oli tehtud Teaduskeskuse AHHA üritustel, sellist tegevust oli plaanis laiendada. Avalike loengute all pidasime silmas Eesti prominentsete teadlaste esinemisi, mis salvestatakse ning hiljem esitatakse erinevates meediumides. Kõik olid nõus, et tele- ja raadioeeter on kõige mõjusamad kanalid asja tutvustamiseks, sestap pidasime vajalikuks saadete tootmist. Suvelaager võinuks olla otsene jätk EFSi suve- ja sügiskoolide korraldamise traditsioonile.

Sellel projektil oli ka potentsiaalne rahaline kate: liitusime Euroopa Komisjoni 6. raamprogrammi kuuluva ja Euroopa Füüsika Seltsi poolt toimetatava projektiga „World Year of Physics 2005“ ning järgneva paari kuu jooksul kirjutasime EFSi „europrojekti“, s.o hakkasime üheks partneriks selles üleeuroopalises projektis.

Registreerisime domeeni www.fyysika.ee, hakates ühtlasi füüsikaportaalile kirjeldust koostama. Arendasime omapoolset nägemust koostööst ETV-ga, selle käigus võtsime üsna varsti telesaadete sarja tegemise mõtte päevakorrast maha, kuna arvasime, et meil ei ole šansse toota sedavõrd lõõvaid saateid, et nendest ka reaalset ja märgatavat tulu võiks tõusta. Edaspidi üritasime pigem käivitada videoklippide tootmist, mis võinuksid olla palju lõõvamad ja laiema publiku poolt nähtavad, ning lootsime tuua ETV eetrisse välismaiseid populaarteaduslikke telesarju ja filme. Otsisime ja leidsime ka esmase otsekontakti ETV-ga... ja umbes selles kohas tabas projekti suur suvi.

Järgmine etapp füüsika-aasta 2005 (fa2005) ettevalmistamisel algas neljapäeval, 4. novembril 2004. a kell 16.30 Tähe 4 aud 170, kui kutsusime läbi füüsikute listi kohale kõiki, kes on vähegi populariseerivatest tegevustest huvitatud. Kohale tuli paarkümmend praegust ja tulevast kolleegi. Algatusrühma risti-rästi aruteludest ja ideede sõelumisest oli nüüd välja koorunud selline nimekiri.

1. Füüsikaportaal.
2. Konverents teadusmahuka tootmise võimalikkusest Eestis.
3. Füüsika Hommiku TV-s.
4. Teadusbuss.
5. Füüsikanäitus.
6. Perepäev FO-s.
7. Füüsika Raekoja platsil (avalikud loengud).
8. Füüsikanädal ETV-s.

Ja seda on muidugi oluliselt rohkem, kui esimeses plaanis kirjas oli, ... ning oluliselt rohkem, kui lõpuks sisuliselt realiseeritud sai. Aga realiseeritud sai samas oluliselt rohkem, kui tol hetkel loota võis – füüsika-aasta alguseni oli jäänud kaks kuud ja selleks hetkeks oli tehtud vaid hulk suuri sõnu. Kes ja kuidas täpselt neid plaane ellu viima hakkaks? Mis muud kui astu ette ning räägi veenvalt ja enesekindlalt...

Aga siis nõksatas. Nii et kui aasta lõpuks infovoldiku vormistasime, oli julgust kõik need tegevused sinna sisse panna.

Füüsika-aasta mastaabist on raske adekvaatset pilti anda, näiteks ehk selline „möödik“: füüsika-aastaga seoses on allakirjutanu saanud enam-vähem 3336 e-maili, kusjuures enamusele neist on ühel või teisel viisil vastatud või reageeritud.

3 Füüsika Terevisioonis

08.09.2004. Ajendatuna Henn Voolaiu TV-teemalisest kirjast viskab allakirjutanu õhku mõtte panna eksperimendid ETV Terevisiooni põhjendusega, et pikemate saadete tegemine on ehk liiga suur tükk alla neelata.

20.10.2004. Kiri ETV Tartu Stuudio juhile Tiina Rebasele, kus pakume end Terevisiooni eksperimente tegema. Vastus tuli järgmisel päeval, see oli positiivne.

03.12.2005. Lähme Heli Valtnaga ETV Tartu stuudiosse asja arutama, kutsume kaasvõitlejaid üles end proovile panema.

10.12.2005. Koguneme 17.00 Tähe tänavale otsustamaks, keda pakume Terevisiooni esinema.

13.12.2005. ETV Tartu stuudios said kokku need, keda ise sobilikuks arvasime. Tehti kaameraproovid. Sõelale jäid Alar Ainla ja Andi Hektor.

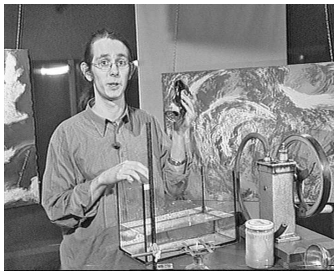
14.01.2005. Oleme eetris.

Kogu meie telelooming on vaatamiseks füüsikaportaalis, nii et kel huvi, see uurigu järele. Ise hindame, et iga sellise viieminutilise saatelõigu tegemiseks kulub mitte vähem kui neli, aga tihti ka kaheksa või kaksteist tundi tööd. Töökorraldus on selle aasta jooksul oluliselt muutusi läbi teinud, aga alati oleme neljapäeva õhtuti käinud studios oma järgmise hommiku asja ette näitamas. Hommikul ärkame viiest-poole kuuest... aga minul, kui kõrvalt kiibitsejal on olnud isemoodi muhe istuda mugavas toolis, juua kohvi ja vaadata ümber askeldavaid inimesi ning omadele kaasa elada.

Me võime ka rääkida lugusid sellest, kuidas füüsikalised protsessid otse-eetris ikka kuidagi teisiti kulgema kipuvad, või lihtsalt erinevaid seiku. Mõned, mis kohe meelde tulevad:



21.01.2005 – Banaan või haamer? Siin oli tegelikult plaanis näidata klaasi purustamist heli abil (resonants). Selleks otstarbeks sai otsitud võimendi, heligeneraator, spetsiaalne kõlar, käidud mööda poode ning valitud purunevaid klaase... aga tänapäevased klaasid on justkui kummist tehtud – resonants on, aga katki ei lähe, ainult vanad keemikute mõõteanumad käitusid ootuste kohaselt. Need said otsa. Otsin siis kristallpokaalid. Ja oh seda rõõmu, esimene läks katki kah. Seepeale tassisin kõik selle kraami neljapäevasele läbimängule. Sätime end üles, Alar loeb oma teksti, paneme ruupori karjuma... ei midagi. Piinlik. Pärast tegime külmutatud banaanipurustamist haamriga, see vähemalt töötas. Saate käigus saime ka teada, et lämmastikuga allajahutatud portselananum ikkagi ei riku stuudio lauda, olin nimelt unustanud sinna raamatu alla panna.



04.02.2005 – Õhurõhk, aga kui tugev? Katse õhurõhuga purkide kokkupressimisest. Kust leida alkoholivaba joo- gi purke? Kuidas teha nii, et see katse kohe ka välja tuleks? Sest teist võimalust ei tule, aeg saab otsa enne, kui vesi küünlaleegist uuesti keema läheb. Reede hommikul, kui Alariga eksperimenti enne eetriaega teha proovisime,

läksime haledasti alt. Siis tegime otsuse, et „tuli pannakse alla“ kohe klipi alguses. Läks õnneks.



11.02.2005 – Sõbrapäevaline. Kaks-kümmend sekundit enne eetrit võis näha, kuidas seltskond üritab tulutult doominokive lauale üles seada ja kuidas nad ikka ja jälle maha kukuvad. Ja pikali nad jäidki. Alar keerutas välja.



18.02.2005 – Laserid. Me ei saanud hommikul veenduda, kas see laser ikka käivitub (kunagi ei või teada), lihtsalt pärast iga käivitust ei võimaldanud mingi automaatika mingi arv minuteid laserit uuesti sisse lülitada. Pärast instituudis imestati, et saite vaske augu sisse? Selle laseriga?



25.02.2005 – Pilvevatimees. Olime käinud selle eksperimendiga Intellektikal. Seal tuli ta alati välja. Ainult üks voolik kippus pidevalt lahti tulema. Neljapäeval tuli ka. Võtsin siis reede hommikuks kaasa klambrid, et asi lõpuks parandada, ning avastasin siis, et keegi hea inimene oli seda juba minu eest teinud. Saatejuht Toomas nägi tol hommikul hirmsat vaeva selle va pumba väntamisega –

ülalmainitud hea inimene oli vooliku valesse otsa kinnitanud ja seade toimis hoopis vaakumpumbana... umbes poole pumpamise pealt hakkas režiipuldil kostuma itsitamist, siis naerupahvakaid... pärast ei oldudki väga kurvad.



04.03.2005 – Kuidas keedetud muna pudelisse saada. Selle eksperimendi harjutamiseks ostsin ja keetsin ühtekokku kakskümmend muna. Sest osad justkui ei läinud pudelisse, teised jälle läksid, aga ei tahtnud siis enam välja tulla...



08.04.2005 – Kuidas rongid lendavad. Näitasime TTÜ tudengi Ando Uusi ehitatud masinat. Sellega oli nii, et ta töötas vaid siis, kui vasksilindrite võllid olid korralikult õlised, kusjuures õli kippus sealt töö käigus lenduma. Hommikul proovisime – töötas. Kui Alar otse-eeetris nuppu vajutas, oli kohe kuulda, et õliga ei ole asjad hästi, tuurid ei tulnud päris üles, olid sellised koledad hetked kaadri taga, kus tekkis soov kuidagi sekkuda. Siiski jäid magnetid mingi ime läbi hõljuma. Pärast jäin vaatama/mõtlemale – kui oleksin võllid veel kord õlitanud, oleks see värske õli kindlasti täis pritsinud kaamera hirmkalli objektiivi (see pisteti hirmus lähedale)...

ri taga, kus tekkis soov kuidagi sekkuda. Siiski jäid magnetid mingi ime läbi hõljuma. Pärast jäin vaatama/mõtlemale – kui oleksin võllid veel kord õlitanud, oleks see värske õli kindlasti täis pritsinud kaamera hirmkalli objektiivi (see pisteti hirmus lähedale)...



22.04.2005 – Laulvad torud. Nende torude ehitamisel näitas Heli Valtna esimest korda oma võimekust ise asju valmis teha, ta otsis välja materjali, saagis ja kopsis tükid paika ning sai kätte käivitamise reeglid. Minu lugupidamine.



06.05.2005 – Güroskoobid nii ja teisiti. Neljapäeval võis jälgida, kuidas haigus Helist tasapisi jagu saab, nii et kell viis oli seis üsna lootusetu. Aigar Vaigu sai oma võimaluse.

20.05.2005 – Miks karjumine halb on. Teistkordne üritus klaaside punnemise eksperiment ära teha. Leidsin Koit Timpmani valdustest seitse õige suuruse ja kujuga laboriklaasi. Kindluse mõttes otsustasin viis neist katsetamiseks puruks lasta, et siis kahe ülejäänuga saadet teha. Neli läksid puruks Tähe 4-s, üks neljapäeva õhtul stuudios. Ja kaks ülejäänut ei kõssanudki. Ebaõnn. Sattusime „Ärapanijasse“.



...
Tegelikult saaks iga saatelõigu kohta neist neljakümnest pisikese loo rääkida. Aga las ta olla. Meie töö selle projekti kallal käib endise hooga edasi, alates 2005. a. sügisest on siin pealikuks Heli Valtna. Loo-dame mitte väsida ja taset hoida.

4 Teadusbuss Suur Vanker

4.1 Eellugu

Alljärgnev on kronoloogia daatumitest, mis lõppkokkuvõttes viisid teadusbussi projekti eduka stardini.

04.11.2004. Räägime tudengitele ja huvilistele füüsika-aasta plaanidest. Viimasel hetkel lisatud slaidile saab kirja uitmõte nimega teadusbuss. Sellest hetkest hakkavad mitmed tudengid ja kolleegid aktiivselt kaasa mõtlema – Heli Valtna, Rünno Lõhmus.

09.11.2004. Teine kokkusaamine juba kitsamas ringis, kus otsime **fa2005** alamprojektidele projektijuhte. Teadusbussi real figureerib Rünno Lõhmus. Arvame, et saame hakkama 95000 krooniga.

12.11.2004. Teadusbussi-spetsiifiline arutelu FIs, mida juhivad Rünno ja Heli. Tulemusena tekib memo, kus juba üsna adekvaatselt kirjeldatakse teadusbussi töökorralduse põhimõtteid.

14.11.2004. Rünno joonistab esimese bussi „sisekujunduse“ plaani – enamus istmeid võetakse välja ning ehitatakse asemeleapid.

17.11.2004. Füüsika-aasta ürituste esitlus Tallinnas, TTÜs. Teel olles räägime Rünnoaga bussiprojektist. Tekib mõte, et olgu liinibuss, et võiks olla odav. Miks mitte Tarbus? Saame bussijuhilt tehnikadirektor Sulev Nõmmiste telefoninumbri, lepime kokku kohtumise.

18.11.2004. Projekt „Teadusbuss“ sõnastatakse paberil.

19.11.2004. Oleme AS Tarbuses, räägime oma mõtetest.

19.11.2004. Kohtumine Kristjan Otsmaniga Ettevõtluse Arendamise Sihtasutusest (EAS) Tartus. Idee pakutakse välja, saame teada, et selline projekt võiks põhimõtteliselt sobida rahastamiseks. Algab lootsrikas vaatamine EASi poole.

21.11.2004. Projekt „Teadusbuss“ läheb EASi poole tee.

23.11.2004. AS Tarbusesse läheb kiri, kus me tunneme huvi bussi ostmise tingimuste vastu, tagamõttega, et äkitsi saaks odava raha eest või päris muidu kätte.

29.11.2004. Tekib küsimus, kas minna tuttavamatesse firmadesse raha otsima, kuid otsustame, et ootame ära Haridus- ja Teadusministeeriumi (HTM) ja EASi arvamuse.

10.12.2004. HTM-is füüsika-aasta plaane tutvustamas. Mainitakse SA Archimedest ja meedet 1.1, soovitatakse projekt sinna saata.

15.12.2004. SA Archimedes ei saa aidata, meede 1.1 samuti mitte. EAS justkui endiselt lubab, teadusbuss läheb füüsika-aasta infovoldikusse sisse.

17.12.2005. Voldiku tekst valmis ja saadetakse kujundajale.

27.12.2005. Voldik valmis. Pannakse ümbrikutesse, saadetakse laiali. Teame nüüd, et Eestis on ca 500 kooli.

04.01.2005. Teine bussi sisekujunduse *draft* Rünnoilt. Hiljem räägime läbi materjalid, värvid, täpsed mõõdud, lukud...

07.01.2005. Füüsikaõpetajad on EFSi kutsel Tartus, räägime füüsika-aastast ja kuulutame teadusbussi välja.

10.01.2005. Tutvustame Andi Hektoriga **fa2005** projekte ülikooli rektorile Jaak Aaviksoole. Rektor tunnistab ideed heaks, palub saata projekti.

11.01.2005. Andi kohtub Tallinnas Ene Ergmaga, vist suhteliselt juhuslikult. Sel kohtumisel lepiti kokku järgmine kohtumine, juba suuremale ringile, kus osaleks ka ETV juhatus (paralleelne teema „Teadusnädal ETV ekraanil“).

13.01.2005. Kohtumine Peeter Saariga, teemaks **fa2005** ja Eesti Teaduste Akadeemia.

18.01.2005. Et läheks õige Intellektikale?

19.01.2005. Andi Hektor, kes oli kuni selle hetkeni väga aktiivselt tegutsemas, nikastab oma selja ja suhtleb järgnevatel nädalatel vaid interneti ja telefoni kaudu.

21.01.2005. Saadame Jaak Aaviksoole projekti.

21.01.2005. Kristjan Otsman (EAS) ühtäkki helistab, et tahaks Tartus kokku saada ja (teadusbussi) asja arutada, meile see ei sobi (oleme Tallinnas Õ-Fraktsiooniga videoklippide asjus kohtumas).

28.01.2005. Kohtumine Ene Ergmaga. Oskasime vist piisavalt veenvalt rääkida, sest kohtumise lõpus lubab ta rääkida Indrek Neiveltiga Hansapangast.

02.02.2005. Heli eestvõtmisel kirjutatakse ainekavad, mille alusel saavad tudengid mõtestatud populariseeriva tegevuse eest ainepunktide.

08.02.2005. EAS kuulutab välja oma Innovatsiooniteadlikkuse programmi – räägitud oli sellest juba vähemalt aasta, nüüd siis lõpuks.

09.02.2005. Saabub e-mail: EAS ei saa teadusbussi projekti toetada. Soovitatakse küsida raha EMTlt, sest vihjamisi olevat sealtpoolt huvi üles näidatud.

09.02.2005. Alates sellest neljapäevast hakkavad toimuma iganädalased tudengite kokkusaamised teadusteatri temadel. Sihik: aprilli kolmas nädal.

16.02.2005. Käime AS Tarbuses vaatamas bussi, millest hiljem saab teadusbuss.

16.02.2005. Heli Valtna eestvedamisel pannakse kokku esimene komplekt demovahendeid, Intellektika jaoks.

17.02.2005. Rektori reservist eraldatakse **fa2005**-le 95 000 EEK. See on meie esimene töövõit, satume justkui veidi kindlamale pinnasele. . .

novembrikuisest kõnekoosolekust on möödunud neli kuud, esimese reisini on jäänud kaks kuud.

18.02.2005. Oleme Intellektikal kohal ja esineme kahel päeval eksperimentidega. Täitsa hästi esinesime. Mis eriti oluline, suhteliselt abstraktsest kavast „teha teadusbussis eksperimente“ saab Intellektikal midagi reaalselt.



Foto 1. Haridusmessil Intellektika. Esiplaanil Argo Lukner ja üks noorsand, kes oli meie külaliseks mitu tundi.

21.02.2005. Saabub esimene tellimus, Jõgeva Ühisgümnaasiumist.

25.02.2005. Teade Ene Ergmalt: AS Hansapank on meie projektist huvitatud ning lubas kaaluda selle toetamist, saatku me projekt...

25.02.2005. Heli hakkab hirmsa energiaga teadusbussi demovahendite hankimisega tegelema, allakirjutanu rakendub järjest tihedamalt AHHA tegevusnäituse ettevalmistamisel.

28.02.2005. Taotlus AS Hansapanka saadetakse välja.

01.03.2005. AS Hansapank: koostame lepingu teksti nädala jooksul!

04.03.2005. AS Hansapanga leping saabub...

04.03.2005. Leping AS Tarbuselt bussi ostu-müügi kohta, läbivaatamiseks.

08.03.2005. Tuleb hinnapakkumine demovahenditele Total Eesti OÜ-st. Heli kommentaar: „Ma ei saa hästi aru, kas hinnad on jeenides või nad lihtsalt ei tunne numbreid. Mõni ime, et Eesti koolides

demovahendeid ei ole. Selle variandi asjade hankimiseks võime ilmselt maha tõmmata.“

09.03.2005. Teadusbuss saab enesele nime Suur Vanker.

14.03.2005. Saadame välja artikli Õpetajate Lehte, kus tutvustame end paari lausega ja palume meid lahkesti külla kutsuda.

16.03.2005. Teadusbuss läheb värvimisse.

18.03.2005. Robinal hakkab tulema tellimusi koolidest, ju on siis Õpetajate Lehe artikkel oma töö teinud.

22.03.2005. TÜ avatud uste päeval räägivad Alar Ainla ja allakirjutanu, esitluse sisu sündis ühistöö tulemusena.

26.03.2005. Esimese makse tähtaeg AS Tarbusele, helistan ja vabandan, kinnitan, et raha on tulemas.

28.03.2005. Saadame välja esildise AS Hansapangale raha maksmiseks AHHA-le.

28.03.2005. Tasutakse bussi esimene osamakse.

31.03.2005. Jõulise silmavaatamise meetodil pannakse paika esimeste reise meeskonnad... ega ilma vette minemata ujuma ei õpi ja kui vetteminemine silmapiiril, küll siis hakatakse sellesse tõsisemalt suhtuma...

01.04.2005. Bussi kujundus läheb töösse, 21 päeva esimese reisini.

01.04.2005. Kokkulepe firmaga Triip, kavandite trükkimise ja kleepimise tähtaeg 18.04.2005

05.04.2005. Pakume võimalust bussiga sõita ka vanematele kolleegidele füüsikaosakonnas.

06.04.2005. TÜ Füüsika Instituudi toel tellime teadusbussile vaakumpumba.

06.04.2005. Heli ülevaatest selgub, et oleme ära kulutanud 47 500 kr ehk siis ligikaudu poole TÜ eraldatud rahast. Küsimus: kui palju oleme planeerinud bussi käiguhoidmise kuludeks?

07.04.2005. Saabub põhiline hulk asju Ameerikast. Järgnevate nädalate jooksul töötatakse Heli eestvõtmisel välja ja realiseeritakse süsteem vahendite paigutamiseks ja transportimiseks.

08.04.2005. Heli paneb kokku teadusbussi esimese reisi kava.

11.04.2005. Bussi kujunduse esimene *draft*.

13.04.2005. Bussi kujunduse eelviimane *draft* on käes.

13.04.2005. Prooviesinemised esinejatele ... jätab mõnedele veel pisut kaootilise mulje.

14.04.2005. Failid Triipu, trükkimisse.



Foto 2. Van de Graaf ja noorfüüsikud. Siin nad nüüd siis istuvad, tulevased teadusteatri tegijad, ja ei tea vist veel isegi, milleks nad õigupoolest võimelised on.

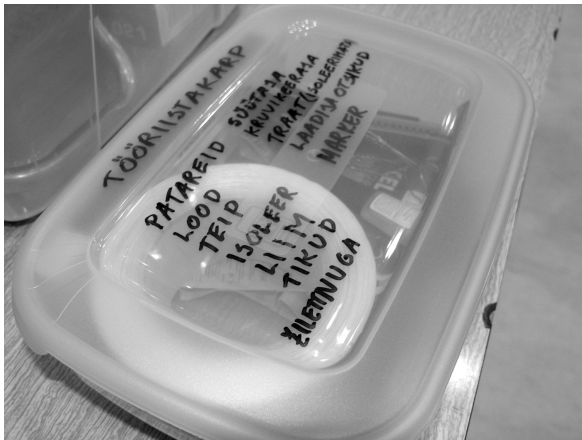


Foto 3. Sellised plastikkarbid hangiti Novaluxist ja nad osutusid äärmiselt praktilisteks, kohe on aru saada, mis kusagil on.

15.04.2005. ETVs lepime kokku, et tuleb AK „nupp“, filmimine toimub kolmapäeval.

18.04.2005. Triip lubab kleepida kolmapäeval, ülehomme.

20.04.2005. Triip kleebib, aga hilinemisega. ETV aega lükatakse kaks korda edasi. Lõpuks läheb kõik hästi.

21.04.2005. Teadusbuss Suur Vanker sõidab oma esimesele reisile.



Foto 4. Värskelt pestud ja kammitud, Tähe tänaval, kõik teed ees lahti.



Foto 5. Ja füüsikutest saavad bussijuhid. Kes oleks võinud arvata, et oma kolmandal sõidutunnil sedavõrd suure bussi roolis satun ma Tallinna südamesse, Viru hotelli ümber tiirutama.

4.2 Mis see on?

Tavaliselt teeb Suur Vanker ühe kahepäevase reisi nädalas, kusjuures väljasõidu planeerime pahatihti väga varasele hommikule. Nii et

eriti varajased ärkajad võivad juba kell neli või viis näha Tartu Ülikooli Füüsika Instituudi angaari juures askeldamas teadusbussi füüsikust bussijuhti – buss tuleb käivitada ja angaarist välja ajada. Eelmisel õhtul on seda tangitud ja pestud ning katseseadmed üle vaadatud ja korras-tatud. Linnast korjatakse peale teised unised „vangerdajad“ ning reisi pealiku juhiste järgi sõidetakse linnast välja. Külalastatava kooli juurde jõudnud, tassitakse väikeste ja suuremate abimeeste toel sisse kastid ja karbid, otsitakse lauad, seatakse kõik vajalik neile üles ning kui kell heliseb, hakatakse etendusega pihta. Kas teate, mis aasta praegu on? Nüüd oleks meil vaja üht vabatahtlikku! Mis te arvate, kui suure pinge me siia tekitasime? Mis te arvate, mis siis juhtub, kui ma siia nupule vajutan? Kas te teate, millest sai alguse universum? Selle koha peal läheb allakirjutanu tavaliselt kooli peale jalutama, sest ta natuke pelgab pauku. Niisiis, teadusbussis tehakse eksperimente, neid kõige lõbusamaid ja kaasakiskuvamaid, mis me iganes suudame välja pakkuda, õpilastele näidatakse omalaadset mosaiiki erinevatest füüsika valdkondadest.



Foto 6. Üks tüüpiline pilt ühelt järjekordselt etenduselt: on õpilased, on kooli võimla, on lauad, demovahendid ja tudengid nende ümber.

Pärast etendust on meie laud tavaliselt ümbritsetud huviliste parvega. Siis tuleb pakkimine, laadimine, koolilõuna, kui selleks mahti on, ning sõidetakse edasi, järgmisesse kooli. Ja selliselt kuni kolm kooli ja kuus etendust päevas.



Foto 7. See ongi füüsika teadusbussi interpretatsioon.



Foto 8. On katseliselt kindlaks tehtud, et õhurõhk on olemas igas Eestimaa nurgas.

Igasuguseid asju on juhtunud. Eriti just bussiga seoses: selle parkimine imekitsastele tänavatele ja hoovidesse, kahekilomeetrine tagurdamine välja suvilarajoonist Eismal, see õhk, mis ühel hetkel otsustas



Foto 9. Teadusbuss, see on palju mõtlikke noori inimesi.



Foto 10. Ja füüsika ei ole sugugi ainult meeste mängumaa, eriti kehtib see teadusbussi kohta.

välja jooksmata hakata, sõit täiesti klaassiledal jääl Saaremaale, kütuse lõppemine otse keset Anne silda Tartus, kaks upakile sõidetud posti, jah, isegi seda. Ja kõik need kotermannid eksperimentide sees.

Palju ilusaid mõisa-koole, tolm, mis kusagilt topeltlagede vahelt ühtäkki alla sadama hakkas, ja see vahva muutus, mis on pannud klassi kõige suuremaid kraadesid etenduse lõpuks meile kaasa elama... füüsika on üks kärts värk!

4.3 Statistika

Seisuga jaanuar 2006 on teadusbuss külastanud 101 kooli. Lisaks etendustele koolides on osaletud ka enam kui 15 üritusel, sh teadusfestivalil Leedus, Eesti Skautide ühingu suurlaagris Tagametsas „Rännumaal“, Õpilaste Teadusliku Ühingu suvelaagris, noorfüüsikute suve- ja sügiskoolis, koolide ja noortekeskuste laagrites, 1. septembril Riigikogus, massiüritustel nagu Intellektika, Postimehe päev, Mulgi mess, noorte infomess Kuressaare kultuurikeskuses. Külastatud on Tallinna, Murru ja Pärnu vanglaid, aga ka Põhjamaade noorfüüsikute festivali „FysikerFest’05“ Helsingis. Oleme teinud koostööd TÜ regionaalitalitusega ning osalenud kuuel korral TÜ infopäevadel üle Eesti.

2006. a. jätkame.

5 Teadusnädal ja perepäevad Täpe 2005

Kõigepealt oli mälestus FO-s korraldatud perepäevadest Täpe’99, kus käis palju rahvast ja mis asjaosaliste sõnul hästi korda läksid. Selle mälestuse ajal sattus see üritus **fa2005** eelprojektidesse, arvatakse, et Ülle Kikase mõjutusel. Oli udune visioon, kuidas Raekoja platsil saaks pimedal ajal videot ning kõike suurt ja vägevat näidata. Sinna lisandus idee pakkuda ETV-le välja temaatiline nädal füüsikast ning asjaolu, et Euroopas räägitakse teadusnädalast. Siis avanes põhimõtteline võimalus kutsuda ITER-i näitus Eestisse ning siis millalgi tuli idee panna kõik see kokku vanasse heasse Tähe õppehoonesse. Hea õnne toel kuupäevad klappisid.

Madis Kiisk võttis enda kanda ITER-i näitusega seonduva. Andi Hektor hakkas töötama ETV suunal (vt allpool). Muus osas oli vaja leida ja realiseerida need tegevused, mida üks perekond võiks Tähes ette võtta ja katsetada, et kõigil oleks huvitav.

Omaette tegemine oli kõik, mis puudutas Tartu Raekoja platsil püstitatud videoinstallatsiooni.

Ettevalmistused võtsid pealiskaudse rehkenduse järgi ühe kuu, see on aeg, mil asjaga otseselt ja aktiivselt tegelesime. Tegelikult algas kaudne ettevalmistus muidugi kevadel, kui teadusbussiga sõitma hakkasime. Mis me lõpuks ära tegime:

- Termotuumaprogrammi ITER tutvustav näitus fuajees. Kui Madis Kiisk avaldas valmisolekut selle organiseerimisega tegeleda, arvasin, et ta võtab enda kanda kirjavahetuse, võib-olla

läbirääkimised füüsikaosakonna inimestega. Aga tema tegi asja ära otsast lõpuni, kuni giidide koolituse ja nende töögraafikute koostamiseni. Eritanud Kadri Isakarile, kes võttis enda kanda koolide registreerimise.



Foto 11. ITER-i näitusel olid eestikeelsed stendid, giidid, maketid ... kõik said aru, kes aru saada proovisid.

- Teadusnädala multimeedia Raekoja platsil. Pealik Madis Kauts. Teadmiseks nendele, kes ei sattunud nägema: õhtuti oli võimalik vaadata Ando Aasa kokkupandud füüsikateemalist videomontaaži, töötab lasershow (Jevgeni Berik ja Estla Ltd) ning parabooliga suunasime heli Raekoja platsi keskmesse. Selline „kolmnurk“ koorus lõpuks välja kõigist neist kõrgeleennulistest ja tihti abstraktsetest plaanidest teemal „füüsika avalikes kohtades“. Ka selle suhteliselt minimalistliku, samas tervikliku installatsiooni ehitamine oli päris suur töö: filmi montaaž (Ando Aasa), kooskõlastused kõikvõimalike asutustega, projektori hankimine, suure paraboolantenni hankimine ja paikapanemine, ekraanide hankimine, valmistamine ja paikapanemine töstukitega, lasershow installeerimine... Siin oli üks neist paljudest kordadest füüsika-aastal, kus hämmastaval kombel kõik lõpuks hästi läks, kuigi kuu või kaks enne perepäevasid vaevlesime alles ideede nappuses, et mida me õigupoolest teha tahame ja suudame.
- Teadusteater aud 160. Kuna olime selleks hetkeks juba suurte kogemustega teadusteatri tegijad, siis pidigi siin lodusalt minema.

Organiseerimise võttis enda kanda Aigar Vaigu, tema valis esinejad ja tõi kohale vajalikud seadmed.



Foto 12. Ekraan lasershowle ja meie reklaamplagu. Kõik see oli üks parajalt tõsine ettevõtmine.



Foto 13. Teadusteatri teeb Mihkel Kree.

- Teaduskino. Siin oli meil palju kõhklusi, eelkõige autoriõiguste osas – selle tööloõigu pealik Ando Aasa üritas visalt leida Eestis inimesi, kes annaksid välja neid õigusi vanematele välismaistele filmidele, aga ei leidnud. Ainult Tallinnfilm saatis lahkesti arve välja. Sellest lähtuvalt tegime ka filmide valiku. Jagus vaatajaid ka siia.

- Infolett perepäevadel. Mis täpselt siin toimuma hakkab, oli lah-tine veel päev enne ürituse algust. Lõpuks istusin siin ise ja rek-laamisin seda, teist ja kolmandat üritust. Sekka esines kellade koor Pärnust ja Tartu Lastemuusikakooli tunniansambel. Läks kah. Kiitust tahaks avaldada Kalev Tarkpeale, kes võttis välisukse juures initsiatiivi ja tahvli ning seisis hea selle eest, et info kõigi huvilisteni jõuaks.



Foto 14. Sundseis: poleks eales arvanud, et minust kunagi raadiodiskor saada võiks.

- Kuidas see töötab? Pealik Tiit Sepp. Mõte lihtne: korjata kokku vanad arvutid, printerid, telefonid jms igapäevased masinad ning võtta nad lahti eesmärgiga teada saada „Mis seal sees on?“ ja „Kuidas see töötab?“. Tõime asju kokku Füüsika Instituudist, füüsikaosakonnast, Estikost, Sangarist... Hiljem, kui huvilised oma töö lõpetasid, oli see kõik hoopis peenemates osades ning selle puru kokku korjamine ja utiliseerimine valmistas päris pa-rajat peavalu.
- Laskumine Marsile. Selle töötoa tegemist pakkusin Silver Lätile, kes minu suureks rõõmuks pakkumise ka vastu võttis, meeskon-na moodustas ning asja suurepäraselt läbi viis. Idee: ehita ole-masolevatest materjalidest laskumisseade, mis võimaldaks too-rel munal tervena, aga minimaalse ajaga neljandalt korruselt esi-mesele jõuda ning seal maanduda.



Foto 15. Arvutid, laserid, printerid, paljundusmasinad, telefonid...



Foto 16. Kui kõik õrnad asjad nii leidlikult pakendatud saaksid...

- Lastenurk. Pealik Heli Kuuseorg. Kui perepäevad, siis järelikut peaks ka kõige noorematel seal miskit toimetada olema. Niisiis,

joonistasime, kleepisime, ronisime ja ehitasime ühe paberist linna. Siin tekkis ka perepäevade ainukene külalisteraamat. Ja selle külalisteraamatu seest leidsime perepäevade kõige julgustavama tagasiside.



Foto 17. Mudilaste nurk. Hüppamine ja jooksmine, alati toredad tegevused.

- Planetaarium IV korruse trepikojas. Pealik Mihkel Kama. Siin pakkusime kahte programmi: Mihkel Kama esines miniloenguga tänapäeva astronoomia arengutest ning Alar Puss Tõravere Observatooriumist rääkis digitaalse planetaariumi abil tähtedest ja tähistaevast.
- Oli mõte näidata tähti, Marssi ja ilmajaama. Aga ilm juhtus sobune olema, sestap oli vaadata vaid ilmajaam ja Tartu linn. Huvitav oli seegi. Ekskursioone tegi Andres Juur.
- Ekskursioonid õppehoones ja optika laboris. Pealik Indrek Jõgi. Pidasime pikalt aru, et kas on mõtet kutsuda inimesi ekskursioonile Tähe õppehoone remontimata koridoridesse ja laboritesse. Lõpuks ikka kutsusime. Aga selle „formaadiga“ oleks vaja järgmisel korral veidi vaeva näha, inimesed justkui pelgavad.
- Robotika klubi toetas üritust selle läbi, et hoidis mõlemal perepäeval digilabori ukсед valla ja näitas, kus ja kuidas need robotid ehitatakse. Erilised tänud kuuluvad siin Rainer Paadile, kes kogu üritust vedas.

- Miks helkur on helkur. Pealik Mihkel Rähn. Seletasime, kuidas töötab helkur, ning mõõtsime helkurite „headust“ Füüsika Instituudis selleks tööks kasutatavate seadmetega.
- Eesti Roheline Liikumine hakkas rõõmsalt panti ning tuli ja rääkis kahel päeval ökoloogilisest jalajäljest ja selle mõõtmisest. Huvilisi oli kohal kaugelt rohkem, kui töötoa korraldajad lootisid.
- Ehitaks õige hõljuki? Töötoa pealik oli Taavi Adamberg ning siin ehitati CD plaatidest ja õhupallidest hõljukeid.
- Kas maakera on ümmargune? Taavi Vaikjärv rääkis Foucault' pendli juures, kuidas on võimalik teha kindlaks, et maakera tõepoolest pöörleb.
- Tehnoloogia- ja materjalikorrus. Korraldas Jaan Pruulmann. Idee: näidata kõiksugu tehnovidinaid jms, millega füüsikud-insenerid Eestis tegelevad, ja siis külalistele kodumaist HiTech tootmist tutvustada. Kohale suutsime meelitada füüsikutega (TÜ Füüsika Instituut ja Tehnoloogiainstituut) seotud Eesti firmad, aga ilmselt jäi siin ettevalmistusperiood napiks ning järgnevatel kordadel tuleks asi tõsisemalt ette võtta.



Foto 18. Tehnoloogia, täpsemalt materjalid, Urmo Viski esitluses.

- Kliimanäitus. Valmis Briti Nõukogu ja Teaduskeskuse AHHA koostöös. Tähe tänavale sattusid nad suuresti sellepärast, et

Tartus on väga raske leida häid näitusepindu. Pakkusin variandi välja ja pika kõhkluse järel sai koostöö teoks.

- Tudengikohvik „Lunaata“. Sellega läks nii, et alguses mõtlesime, et milleks, hiljem kuulsime lugusid, kuidas vanadel aegadel rahvas hoone täiesti ummistas, siis võtsime ühendust ja küsisime... nad keeldusid. Siis Risto Tammelo võttis asja ette nii, et ukсед olid lahti nii laupäeval kui ka pühapäeval. Aga... ega seal rahvast eriti käinud, ehkki üritasime valjuhäälditega rahvast ka sinapoole juhtida.
- ETV-ga koostöös valmis ETV teadusnädal 8.–14. novembril 2005. ETV teadusnädala raames toodi füüsikateemat sisse mitmesse ETV sarisaatesse (Välisilm, Tähelaev, dokfilmid) ja ETV kujunduselementidesse (identgraafika elemendid jms). Lisaks hangiti EFSi nõustamisel ETV-le aimefilme ja -sarju ning aidati neid tõlkida: *Elegant Universe*, *MythBusters*, lühimaterjale CERN-ist, rahvusvahelisest fusioonienergia projektist ITER jms. ETV meeskonnaga on kokkulepe jätkata koostööd teadusteemaliste hangete nõustamisel ka tulevikus. ETV teadusnädalat koordineeris EFSi poolel Andi Hektor, tegevuses osalesid ka Mait Müntel ja Kaido Reivelt. ETV poolel osalesid Aivo Spitsonok (produtsent) ja Marju Jurtshenko (meedia-materjalide hankimine).

6 Füüsikaportaal

Portaal – see on ehk kõige vanem teema seoses füüsika propageerimisega. Selge on see, et seda on vaja, samuti, et see peaks olema hea, et hea portaali tegemine on väga töömahukas ning et igal juhul oleks see paljude jaoks oluline. Füüsika-aasta plaanides oli füüsikaportaali loomine iseenesestmõista sees kõigi nende võimalustega, mis uuemates veebikeskkondades olla võiks: populaarsed tekstid, teaduse areng, foorumid, rubriik „küsi teadlaselt“, huvitav ja lihtne füüsika, Eesti füüsika ja tehnoloogia kaardistamine. 2005. a. ei õnnestunud neid eesmärke täita. Kuidas ja miks? Tagantjärele tarkusega võib välja tuua järgnevaid põhjuseid:

1. Kogu protsessi juhtis ja vedas allakirjutanu, oleks olnud väga vajalik kaasata rohkem inimesi nii tudengite ja kui ka vanemate kolleegide hulgast. Aga meeskonna moodustamine ei olnud kerge – kui sügisel kuulutasime välja konkursi stipendiumidele

portaali materjalide kirjutamiseks, ei saanud ma ühtki sellist tagasisidet, et hei, ma löön kampa ja teeme koos. Aga tõenäoliselt oleks see võimalik olnud.

2. Esialgne projekt oli maksimalistlik, kusjuures sinna ei olnud sisse kodeeritud etapiviisilise arenduse võimalust ja skeemi ning suur tükk ajas suu lõhki.
3. Otsustasime mitte kasutada olemasolevaid veebimootoreid, vaid ehitada päris oma, ning see tõi kaasa lisaraskusi, kuigi seda ei loeks ma kindlasti tingimusteta miinuseks, pikemas perspektiivis võib asi end ära tasuda.

Füüsika-aastal oli füüsikaportaalis olemas info toimuvate ürituste kohta, info teadusbussi sõitmiste kohta ning võimalus Terevisiooni klippe vaadata. See viimane funktsioon oli ilmselt kõige olulisem – siit ja sealt oli kuulda, kuidas koolides on õpetajad seda võimalust õppetöös kasutanud. Täna on päevaks on projekt surnud punktist lahti saanud ning 2006. a. jooksul on lootust see keskkond arvestatavaks infoallikaks arendada. Et „milleks meile füüsika?“ ja „kes need füüsikud õigupoolest on?“ Esimese etapina on käivitatud info kogumine Eesti tehnoloogiamahuka tööstuse kohta – see on info, mis on kogu projektile eluliselt tähtis ning mida on endiselt raske sobilikul kujul hankida. Samuti hakkab tekkima realistlik struktuur portaali sisule. Hetke tulemust on võimalik vaadata www.fyysika.ee.

Igasugune koostöö on väga oodatud.

7 Mis veel toimus

2005. a sügisel ja 2006. a kevadel nõustab EFS-i meeskond ER teadussaadet „Labor“ saateteemade valimisel ja abistab materjalide ettevalmistamisel. EFS-i poolt on tegevad Andi Hektor ja Kadri Kaldma, ER poolt Mart Ummelas ja Priit Ennet. EFS-i meeskond abistas mitmete sarisaadete meeskondi: ETV Pealtnägija CERNi külustus, ETV saade noortest teadlastest, teadusuudised jms. EFS-i meeskond avaldas mitmeid materjale kirjutavas meedias: füüsikauudised Horisondis, teaduskommentaariid Eesti Ekspressis ja tehnoloogiateemalised artiklid Äripäevas.

Andsime ca 12 raadiointervjuud, kolm teleintervjuud, meist kirjutasiid kõik Eesti suuremad päevalehed ning väga mitmed maakonna-lehed.

Omaette vahva ettevõtmine oli teadusbussi käik TV3 saatesse „Rooside sõda“, kus võtsime mõõtu kinobussi võistkonnaga. Ja võitsime, kusjuures meie show oli nende omast nii kõvasti üle, et neist hakkas vahepeal päris kahju... Saates käisid Aigar Vaigu (eestvedaja ja pealik), Rünno Lõhmus, Mihkel Kree ja Taavi Adamberg.

Horisoni toimetaja Rein Veskimäe algatusel ilmusid igas füüsika-aasta ajakirjanumbris artiklid, mis tutvustasid Eesti füüsikute tegemisi ja nende rahvusvahelist koostööd.

Kirjanike Liidu ajakirja Akadeemia juulikuine number oli tervenisti pühendatud füüsika-aasta ühele ajendile – A. Einsteini artiklile erirelatiivsusteooriast, mille mõju ulatub ju kaugele üle füüsika piiride. Erinumbri esitlus toimus 1. juulil TÜ raamatukogu saalis kultuuriajakirjanduse konverentsi „Borders–Piirid–Übergänge“ raames.

8 Toetajad

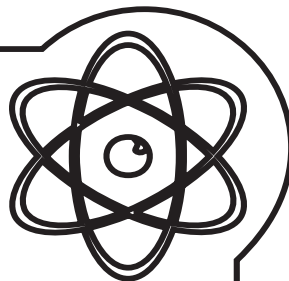
Põhiline osa füüsika-aasta vahenditest tuli Euroopa Komisjoni 6. raamprogrammist. Toetasid veel Tartu Ülikool ja Tartu Ülikooli Füüsika Instituut, AS Hansapank, Haridus- ja Teadusministeerium, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinna linn ja Eesti Ettevõtluse Arendamise Sihtasutus projekti TEADUSBUSS raames.

EFS-i meediasuunaline tegevus oli toetatud Eesti Ettevõtluse Arendamise Sihtasutuse poolt projekti INNOTV raames. Lisaks toetas antud tegevusi Euroopa Komisjoni 6. raamprogramm läbi Euroopa Füüsika Seltsi ja SA Archimedes. Füüsika-aasta käigus toodetud meediamaterjalid on võimaluste piires esitatud ka EFSi füüsikaportaalis <http://www.fyysika.ee/>.

9 Vangerdajad

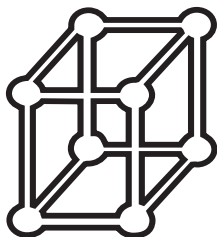
Kes me oleme (suvalises järjekorras):

Ando Aasa, Artur Mõlter, Taavi Adamberg, Alar Ainla, Andi Hektor, Grete Belõi, Kadri Isakar, Andres Juur, Indrek Jõgi, Mihkel Kama, Mihkel Kree, Kaupo Komsaare, Heli Kuuseorg, Argo Lukner, Silver Lätt, Siim Pikker, Jaan Pruulmann, Martti Pärs, Mihkel Rähn, Tiit Sepp, Endel Soolo, Andrei Tsernov, Aigar Vaigu, Taavi Vaikjärv, Astrid Valdmann, Heli Valtna, Sergei Vlassov, Ahto Kuusk, Rünno Lõhmus, Kaido Reivelt, Tanel Ainla, Imre Treufeld, Ardi Mäesalu, Urmas Mihelsoo, Aare Floren, Irina Kärkkänen, Kuno Kooser, Raavo Josepson, Siim Hödemann, Sven Lange, Veera Krasnenko, Endel Soolo.



XXXV
EESTI
FÜÜSIKA-
PÄEVAD

22. ja 23. märts, 2005
Tartus



22.–23. märts 2005. a.
Tartu Ülikooli füüsikahoone suur auditoorium
Tähe 4, Tartu
Teisipäev, 22. märts

Peeter Saari (TÜ)	
Avasõna	10.00
EFS preemiade kätteandmine	10.10
Jaan Aarik (TÜ FI)	
EFS aastapremia laureaadi ettekanne. Aatomkiht- sadestamine: alusuuringutest rakendusteni	10.25
Leif Jönsson (Lundi Ülikool, Rootsi)	
Quantum Chromodynamics, asymptotic freedom and beyond	10.55
Andi Hektor, Mario Kadastik, Mait Müntel, Kristjan Kannike, Martti Raidal (KBFI)	
Topeltlaetud Higgsi bosoni signaali otsingud CERN CMS eksperimendi juures	11.30
Enn Lust (TÜ)	
Kütuseelementide ja vesinikuenergeetika hetkeseis	12.30
Koit Muring (TÜ FI)	
Entroopia ja entalpia konkurents proteiinides	13.05
Matti Selg (TÜ FI)	
Kvantmehaanika pöördülesanne – mis see on ja kui- das seda lahendada	13.35
Kaupo Kukli (TÜ) jt	
Struktuuri korrastamatus ja keelutsoonisestest elektronlõksude tihedus kõrge dielektrilise läbita- vusega tahkiskihtides	14.05
StendiettekanDED	14.30
Eesti Füüsika Seltsi Üldkogu	15.30
Seltsiõhtu	18.30

Kolmapäev, 23. märts

Ahti Niilisk^a, Jaan Aarik^a, Sergey N. Tkachev^b, Murli H. Manghnani^b (^a TÜ FI, ^b Hawaii Ülikool)	
Õhukeste oksiidikilede Ramani ja Brillouini hajumine	09.00

Toomas Rõõm, Urmas Nagel, Dan Hüvonen (KBFI)	
Madalamõõduline magnetism uurituna infrapuna-	
se spektroskoopia meetoditega	09.30
Jaak Jõgi (Lähte Ühisgümnaasium)	
Füüsikaõpetajad ja ühiskondlikud organisatsioonid	09.55
Enn Pärtel (TÜ)	
Uus füüsika ainekava	10.20
Arvo Mere (TTÜ)	
Füüsika riigieksam 2004	11.10
Mart Kuurme^a, Koit Timpmann^b, Enn Pärtel^b, Henn	
Voolaid^b (^a Tallinna Reaalkool, ^b TÜ)	
Uued füüsika ja loodusõpetuse õppevahendid	11.35
Heija Pärtel, Kalev Tarkpea (TÜ)	
Aine „Füüsikaline maailmapilt“ e-õppe keskkonnas	
WebCT	12.05
Jaak Kikas (TÜ)	
Retrorrefleksiivne kuvamine	12.25
Ott Krikmann (TÜ)	
Eesti õpilaste väärarusaamad kiirusest ja kiirendusest	13.30
Arved Vain, Jüri Vedru (TÜ)	
Mehaanilise pinge transmissiooninähtusest	
skeletilihases	14.00
Hubert Kahn^a, Arved Vain^b, Thea Toomla^b (^a Tervise	
Arengu Instituut, ^b TÜ)	
Müomeetria meetodi võimalustest hüpertoonia	
ennetamisel	14.20
Irina Filippova^a, Antti Servomaa^b, Kalle Kepler^c	
(^a Tervisekaitseinspeksioon, ^b Oulu Ülikool, ^c TÜ)	
Patsiendidoosi optimeerimine röntgenuuringutel	
Eesti haiglates	14.40
Rein Rõõm, Aarne Männik, Marko Kaasik, Andres	
Luhamaa (TÜ)	
Atmosfääridünaamika ja numbrilise ilmaennustuse	
aktuaalseid probleeme Eestis	15.00
Andres Kuusk, Markko Paas (Tartu Observatoorium)	
Poolsfääriliste radiomeetiline korrektsioon	15.45

Marika Uustare, Hanno Ohvril, Erko Jakobson (TÜ)	
Atmosfääri veeaurusisalduse analüüs Tõraveres 2002–2004	16.00
Oivo Manninen (KBFI)	
Multikvantfiltrite kasutamine keemilise nihke an- isotroopia mõõtmiseks	16.20
Allan Puusepp, Ago Samoson, Radu Prekup (KBFI)	
Selektiivne adiabaatiline topeltkvantfilter dünaami- lise rotatsiooni tingimustes: rakendustega kvantarvutuses	16.35
Jaak Talts (TÜ)	
Uued perspektiivid diferentsiaalses servo-ostsillomeetrias	16.50

Stendiettekanded

Martin Vilbaste (TÜ)	
Õhuniiskuse tugietaloni realiseerimine TÜ Katsekojas	
Joel Kuusk¹, Matti Pehk² (¹ TÜ, ² Tartu Observatoorium)	
Välispektromeetri juhtimine ja andmehõive	
Sergey Shchemelyov, Victor Peet (TÜ FI)	
Sum-frequency generation and multiphoton ionization in spatially incoherent conical laser beams	
Aleksandr Lissovski, Aleksei Treštšalov (TÜ FI)	
Saturation of Ar ₂ ⁺ VUV emission output with increase of the pumping power in Ar high-pressure pulsed discharge	
Lauri Aarik, Madis Kiisk (TÜ FI)	
Samblike kasutamine bioindikaatoritena keskkonnadosimeetrias	
A. Stolovits¹, Y. Usuki², S. Zazubovich¹, A. Krasnikov¹, M. Nikl³ (¹ TÜ FI, ² Furukawa Co., Japan, ³ Institute of Physics, Czech Republic)	
Luminescence of the PbWO ₄ :5% Cd crystal	
Indrek Jõgi, Matti Laan, Kaupo Kukli, Jaan Aarik (TÜ FI)	
Lähteainete mõju aatomkiht-sadestatud TiO ₂ kilede juhtivusele	
Veera Krasnenko, Koit Muring, Jaak Kikas (TÜ FI)	
Keskmete ja suurte molekulide võnkeülesannete lahendamine klo- riini ja proteiini näitel	
Janek Uin, Eduard Tamm, Aadu Mirme (TÜ)	
Kalibratsiooniaerosoolide genereerimise süsteem ja selle juhtimine	

Annika Kriisa, Raivo Stern, Ivo Heinmaa (KBFI)

Kahedimensionaalse magnetilise ühendi $\text{Na}_5\text{RbCu}_4(\text{AsO}_4)_4\text{Cl}_2$ uurimine TMR spektroskoopiaga

Taavi Hein (Borthwick Pignon Solutions)

CCD sensorite juhtimine, erinevad võimalused

E. Heinsalu, T. Örd, R. Tammelo (TÜ)

Browni liikumise iseärasused kahe maksimumiga perioodi kohta kallutatud potentsiaalidel

Vello Reeben (Eesti Loodusuurijate Selts)

Neljanda dimensiooni füüsilisest olemusest

Tiiu Lember

Füüsika aine, tund ja õpetaja õpilase pilguga

Raamatus kasutatud asutuste nimetuste lühendid

EMA	Eesti Mereakadeemia
EMHI	Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut
HTM	Haridus- ja Teadusministeerium
KBFI	Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut
REKK	Riiklik Eksami- ja Kvalifikatsioonikeskus
TLÜ	Tallinna Ülikool
TO	Tartu Observatoorium
TTÜ	Tallinna Tehnikaülikool
TTÜ Kübi	TTÜ Küberneetika Instituut
TÜ	Tartu Ülikool
TÜ FI	TÜ Füüsika Instituut
TÜ FK	TÜ füüsika-keemiateaduskond
TÜ FO	TÜ füüsikaosakond
TÜ ARTH	TÜ tervishoiu instituut
TÜ BMTK	TÜ biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika teadus- ja koolituskeskus
TÜ FKEF	TÜ eksperimentaalfüüsika ja tehnoloogia instituut
TÜ FKFE	TÜ füüsikalise keemia instituut
TÜ FKKF	TÜ keskkonnafüüsika instituut
TÜ FKMF	TÜ materjaliteaduse instituut
TÜ FKTF	TÜ teoreetilise füüsika instituut
TÜ MTAT	TÜ arvutiteaduse instituut
WMO	World Meteorological Organization

AATOMKIHTSADESTAMINE: ALUSUURINGUTEST RAKENDUSTENI

*Jaan Aarik*¹

Tartu Ülikooli Füüsika Instituut

Tagasivaade ajalukku

Viimastel aastatel on mitmed tuntud elektroonikafirmad, näiteks Sharp [1], Philips [2], Samsung [3], IBM [4] jt, ilmutanud tõsist huvi tahkisekilede sünteese meetodi vastu, mida nimetatakse aatomkihtsadestamiseks. Suure tähelepanu on meetod pälvinud eelkõige sellega, et lubab kontrollida tahkisekilede sünteese üksiku aatomkihi tasemel. Mitmetel põhjustel on aga just selline tehnoloogiliste protsesside täpsus vajalik järgmise põlvkonna integraalskeemide ehk kiipide väljatöötamiseks. Seepärast, vaatamata asjaolule, et aatomkihtsadestamise põhimõtet tuntakse umbes 40 aastat, on paljud uurimisrühmad hakanud selle meetodi edasiarendamisega intensiivselt tegelema just viimase 5–6 aasta jooksul.

Esimesi süstemaatilisi uuringuid, mis viisid aatomkihtsadestamise meetodi aluste väljatöötamiseni alustati Leningradi Lensoveti nim. Tehnoloogia Instituudis akadeemik Valentin Borisovitš Aleskovski juhitud 1960-ndate aastate teisel poolel. Nende uuringute põhisuunitluseks oli adsorptsiooniprotsesside uurimine suure eripinnaga tahkistel [5] ja selliste tahkiste pindade adsorptsioonivõime ja katalüütiliste omaduste modifitseerimine. Uuringute käigus selgitati välja mitmete kloriidide ja veeauru adsorptsioonimehhanismid silikageeli pinnal. Saadud tulemused näitasid, et küllastuvate adsorptsiooniprotsesside abil saab pindade funktsionaalseid omadusi muuta. Samuti näidati, et pärast räni pinna töötlemist esmalt mingi metalli kloriidi ja seejärel veeauruga võib saada pinna, mis on oma adsorptsioonivõimelt kloriidi suhtes sarnane esialgse pinnaga [6]. Samas kinnitasid katseandmed, et kahe järjestikuse reaktsiooni käigus moodustub pinnale täiendav oksiidikiht. Loogiline järeldus oli, et kui

¹Eesti Füüsika Seltsi aastapreemia 2005 laureaadi ettekanne.

niisugust kahest järjestikusest pinnareaktsioonist koosnevat tsükli korrata, võib sünteesida soovitud paksusega tahkisekile. Selline tahkisekilede valmistamise meetod ka realiseeriti ja publitseeriti [7,8]. Meetodit nimetati nii keemiliseks koosteks (v.k. химическая сборка) kui ka molekulaarladekastamiseks (v.k. молекулярное наслаивание) [7,8]. Paraku oli kile kasv sellistes tehnoloogilistes protsessides väga aeglane ja ilmselt seetõttu ei leidu teateid nende praktilistest rakendustest 1960-ndatel aastatel ja 1970-ndate aastate esimesel poolel. Siiski viidi sellel perioodil läbi mahukas uurimistöö. Ammendava loetelu selle töö tulemusena avaldatud publikatsioonidest võib leida ühest hiljuti ilmunud ülevaateartiklist [9].

1970-ndate aastate keskel patenteerisid Soome teadlased Tuomo Suntola ja Jorma Antson meetodi [10], mis samuti põhines gaasiliste ainete küllastuval adsorptsioonil tahkisepindadele. Meetodit nimetati aatomkihtepitaksiaks (i.k. *atomic layer epitaxy*). Selle meetodi erinevus akadeemik Aleskovski tööühma poolt arendatud meetodist seisnes selles, et kaht keemilist elementi sisaldavate ühendite valmistamiseks kasutati elementaarseid lähteaineid. Nii näiteks valmistati elektroluminestsentsseadistele vajalikku tsinksulfiidi (ZnS) tsingi ja vääveli aurudest [10]. Fotovastuvõtjate ja päikesepatareide jaoks sobivat kaadmiumtelluriidi (CdTe) saadi aga alusmaterjali järjestikusel töötlemisel kaadmiumi ja telluuri aurudega [11]. Viimasel juhul realiseeriti ka sünteesitava CdTe kile epitaksiaalne (so aluse kristallstruktuuri poolt määratud struktuuri ja kristallograafilise orientatsiooniga) kasv samast materjalist alusele. Suntola ja Antsoni teeneks oli ka uudsete aparatuursete lahenduste väljapakumine. Tänu nendele õnnestus mõistliku kiirusega sadestada toleaegeteks tehnilisteks rakendusteks vajalikke suhteliselt pakse tahkisekilesid.

Paraku on looduses suhteliselt vähe selliseid elementaarseid aineid, mille adsorptsioon tahkisepindadele on küllastuv ja mis samal ajal moodustavad stabiilseid praktilist huvi pakkuvaid ühendeid. See asjaolu sundis Soome uurijaid edasistele otsingutele, mille tulemusena Suntola koos oma kaastöötajatega [12] patenteeris aparatuuri, milles tahkisekilede valmistamiseks kasutati elementaarsete lähteainete asemel keemilisi ühendeid. Seejuures oli patendis kirjeldatud näidetes üheks lähteaineks metalli kloriid ja teiseks lähteaineks hüdriid, konkreetsetes näidetes kas veeaur oksiidide valmistamisel või väävelvesinik (H_2S) sulfiidide sünteesil. Oksiidide saamiseks väljatöötatud

meetod oli seega väga sarnane akadeemik Aleskovski tööühma poolt tunduvalt varem kirjeldatud [7,8]. Siiski sai Suntola jt leiutis patendi ka Nõukogude Liidus [13]. Huvitav on veel seegi, et kuigi enamuse akadeemik Aleskovski tööühma töödest olid tõlgitud inglise keelde, nagu näha ka Puuruneni [9] hiljutisest ülevaatest, ei olnud Soome teadlased Aleskovski ja tema kaastöötajate töödest teadlikud [9].

Mõnevõrra ootamatu on asjaolu, et USA ja Jaapani uurijad liitusid selle, tehnoloogia arengu seisukohalt paljutöötava uurimisvaldkonnaga alles 1980-ndate aastate keskel [14,15]. Olgu märgitud, et Jaapani autorid võtsid meetodi nimetusena tarvitusele mõiste molekulaarkih-tepitaksia (i.k. *molecular layer epitaxy*) [15,16]. Võrdluseks võib öelda, et esimene Eesti autorite töö selles valdkonnas avaldati rahvusvahelise levikuga väljaandes 1990. aastal [17]. Termin aatomkihtsades-tamine (i.k. *atomic layer deposition*) ilmus publikatsioonidesse 1990-ndate aastate keskel [18–20], kuid praeguseks on see muutunud valdavaks üldnimetuseks, hõlmates nii epitaksiaalseid kui ka mitteepitaksiaalseid tahkiste sünteesimeetodeid, mis põhinevad järjestikus-tel küllastuvatel pinnareaktsioonidel. See termin võiks põhimõtteliselt hõlmata ka protsesse, milles järjestikustel pinnareaktsioonidel põhi-nev tahkisekile süntees toimub vedeliku keskkonnas. Käesolevas kir-jutises võetakse lähema vaatluse alla siiski vaid aatomkihtsades-tamise protsessid, mis viiakse läbi (hörendatud) gaasikeskkonnas, kuna nen-del näib olevat suuremaid rakendusperspektiive. Seejuures on tähele-panu koondatud eelkõige Eestis saadud huvitavamate tulemustele.

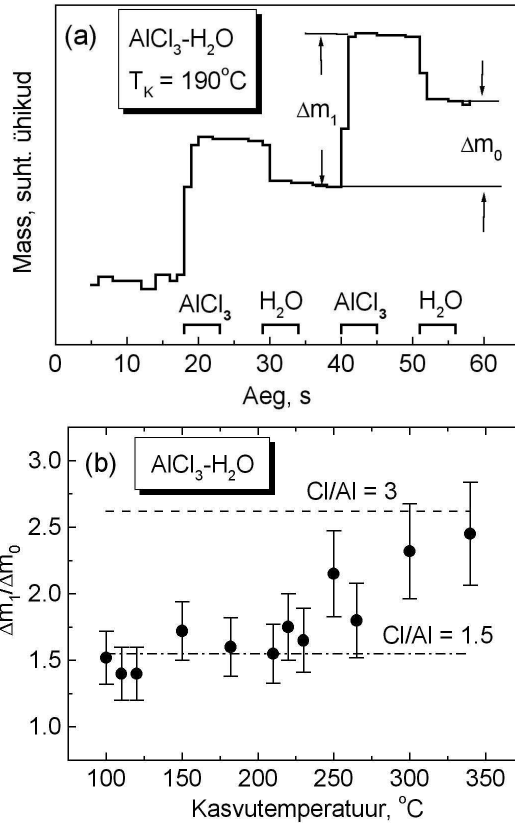
Alus- ja rakendusuuringutest aatomkihtsades-tamise alal

Aatomkihtsades-tamise tehnoloogia iseärasuseks on küllalt ran-ged ja mõneti ka üksteisega sobimatud nõuded lähteainetele oma-dustele. Näiteks juhul, kui protsess viiakse läbi gaasikeskkonnas, peavad lähteained olema kergesti aurustuvad ja keemiliselt aktiiv-sed, kuid samas peavad nad olema termiliselt stabiilsed ja võime-lised moodustama nii kasvava kile kui ka aluse pinnaga kindlalt seotud vaheprodukte. Seepärast on tänapäevani aktuaalne täienda-va info hankimine potentsiaalsete lähteainete ja kasvava kile pin-na osavõtul toimuvate pinnareaktsioonide ning adsorptsiooni- ja desorptsiooniprotsesside kohta. Sellist teavet pakkuvate alusuuring-ute edukuse tagatiseks on olnud reaalaajaliste seiremeetodite ka-sutamine kasvuprotsesside jälgimisel. Üheks selliseks meetodiks,

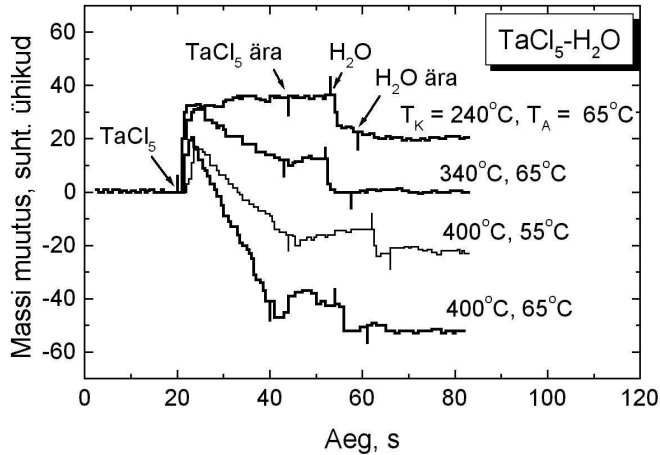
mida aatomkihtsadestamise protsesside uurimiseks suhteliselt palju kasutatakse, on kvartsresonantskaalumine [17,21,22]. Kasvuprotsesside uurimiseks sellel meetodil sadestatakse tahkisekile elektroodidega varustatud kvartskristallile. Kvartskristall omakorda on lülitatud kõrgsagedusgeneraatori tagasiside ahelasse, nii et kvartskristalli mehhaaniline omavõnkesagedus määrab genereeritava elektrilise signaali sageduse. Kuna kvartskristalli omavõnkesagedus sõltub mitte ainult kristalli mehhaanilistest omadustest, vaid ka kristallile kantud elektrootadest ja sinna aatomkihtsadestamise protsessi käigus kasvatatud kile massist, siis mõõtes kristalli võnkesagedust, registreeritakse kasvuprotsessi käigus toimuvad kile massi muutused (joon. 1a). Tartu Ülikoolis läbi viidud katsed on näidanud, et kasvutemperatuuridel, mis ei ületa 300–350°C, ulatub kvartsresonantskaalumise meetodi reaalne tundlikkus kile materjalist sõltuvalt 0,01–0,1 aatomkihini.

Aatomkihtsadestamise protsessi käigus registreeritava kile massi käitumine (joon. 1a) näitab, kas ja kuivõrd pind küllastatakse adsorbeerunud reaktsiooniproduktidega, milline on pinnareaktsioonide iseloom ja kas moodustunud pinnaühendid on stabiilsed lähteainepulsside vahelisel perioodil. Massi juurdekasv Δm_0 (joon. 1a), mis saadakse ühes reaktsioonide tsüklis, iseloomustab kile kasvu kiirust. Võrreldes aga massimuutusi Δm_0 ja Δm_1 (joon. 1b), saame teavet pinnareaktsioonide mehhanismi kohta. Kui on näiteks teada kasvanud tahkisekile koostis ja seega ka kilet moodustava ühendi molekulmass, võime Δm_0 ja Δm_1 suhte kaudu määrata ka esimesel pinnareaktsioonietapil adsorbeerunud ühendi molekulmassi. Leitud molekulmassid omakorda lubavad hinnata, millised olid kõige tõenäolisemad pinnareaktsioonid. Sellist lähenemist kasutades on saadud väärtuslikku infot mitmetes aatomkihtsadestuse protsessides toimuvate pinnareaktsioonide ja nende temperatuurisõltuvuste kohta [17,21–34]. Saadud teave on olulisel kohal sobivaimate lähteainete ja protsessi parameetrite valikul konkreetseteks tehnoloogilisteks rakendusteks.

Üheks huvitavaks nähtuseks, mida tänu reaalaajalisele massiseirele on õnnestunud jälgida, on kasvava kile söövitamine lähteaine poolt, näiteks tantaaloksiidi (Ta_2O_5) aatomkihtsadestamisel [23]. Erinevalt ootuspärasest aatomkihtsadestamise protsessist, kus lähteainete doosi suurendamine viib pinna küllastamiseni adsorbeeritud lähteaine poolt, toimub tantaaloksiidi ühe lähteaine, tantaalkloriidi (TaCl_5), doosi suurendamisel esmalt küll teatud materjalikoguse lisandumine,



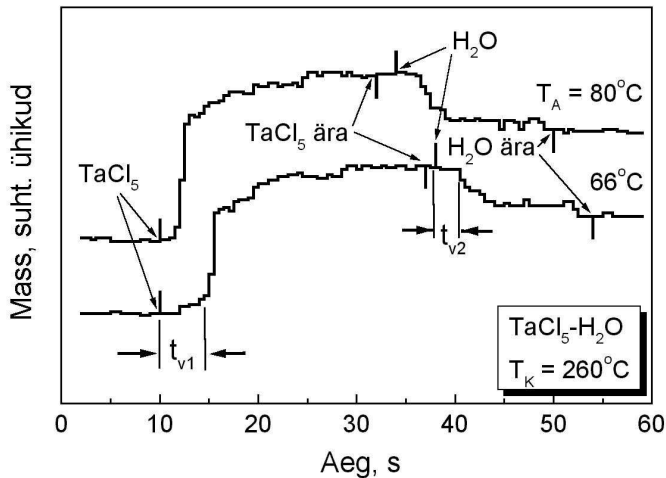
Joonis 1: (a) Näide kile massi muutustest, mis leiavad aset alumiiniumoksiidi (Al_2O_3) aatomkihtsadestamisel alumiiniumkloriidist (AlCl_3) ja veeaurust (H_2O). AlCl_3 pulsi ajal toimub kemisorptsioon, mille käigus kile mass kasvab ja pind küllastub vaheproduktiga. Massi konstantsus AlCl_3 ja H_2O pulsi vaheaegadel näitab vaheprodukti stabiilsust ja tugevat seotust pinnaga kasvutemperatuuril T_K . H_2O pulsi ajal mass kahaneb, kuna pinnal olevad kloori aatomid asendatakse nendest kergemate hapniku aatomitega ja/või hüdroksüülrühmadega. (b) Massimuutude Δm_1 ja Δm_0 suhte temperatuurisõltuvus. Suhe $\Delta m_1/\Delta m_0$ sõltub Cl ja Al vahekorrast AlCl_3 pulsi jooksul tekkinud adsorptsioonikihis ja on seotud H_2O pulsi ajal Al_2O_3 pinnale jäänud hüdroksüülrühmade kontsentratsiooniga, st mida rohkem hüdroksüülrühmi, seda intensiivsem vahetusreaktsioon AlCl_3 adsorbeerumisel ja seda väiksem Cl/Al suhe adsorptsioonikihis [17].



Joonis 2: Tantaaloksiidkile aatomkihtsadestamise käigus toimuvad massimuutused. Kõrgematel kasvutemperatuuridel ja pikematel TaCl_5 ekspositsiooniaegadel asendub kile kasv söövitamisega [23]. Söövitamise kiirust suurendab TaCl_5 aurusti temperatuuri T_A tõus, millega kaasneb TaCl_5 aururõhu suurenemine reaktsioonitsoonis.

kuid sellele järgneb kile massi märgatav kahanemine (joon. 2). Seejuures väheneb kile mass seda kiiremini, mida kõrgem on kile temperatuur ja mida suurem on tantaalkloriidi osarõhk. Selle nähtuse lähem analüüs [23,24] näitas, et söövitamise tõenäoliseks põhjuseks on suure kloorisisaldusega oksükloriidi (TaOCl_3) desorptsioon kasvava kile pinnalt. Reaalajaliste mõõtmiste tulemustest võib järeldada [24], et väikeste tantaalkloriidi dooside juures tekib adsorptsioonikihis väikese kloorisisaldusega oksükloriid (TaO_2Cl), mis jääb pinnaga seotuks. Tantaalkloriidi doosi suurendamisel moodustub aga TaOCl_3 , mis desorbeerub ja kannab sellega pinnalt ära sinna varem sadestunud kile materjali.

Täiendavaks võimaluseks aatomkihtsadestamise pinnareaktsioonide uurimisel on lähteaine fronti leviku kiiruse mõõtmine gaasivoolureaktoris [34,35], kus lähteaineid kantakse edasi transportgaasi voos. Juhul kui lähteainet adsorbeeritakse gaasivoolukanali seintele, milleks võivad olla näiteks kilekasvatusalused, liigub lähteaine front



Joonis 3: Aatomkihtsadestamise käigus registreeritud massimuutused, mis näitavad viiviseid lähteainepulsi alguse ja massianduri koste vahel. Viivised ei ole seletatavad ainult kandegaasi liikumise kiirusega [35]. Viivis t_{v1} sõltub lähteaine (TaCl_5) aurusti temperatuurist, st lähteaine aururõhust kandegaasi voos.

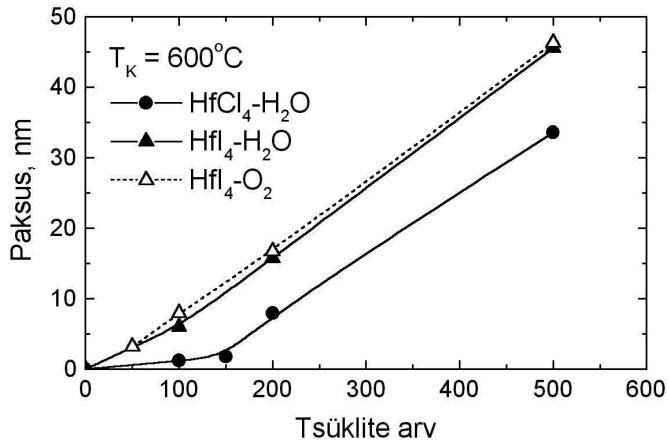
aeglasemalt kui kandegaas. Määrates lähteaine frondi ja kandegaasi liikumiskiiruste erinevuse, saame hinnata gaasivoolukanalit ümbritsevate pindade adsorptsioonivõimet [35,36]. Lähteaine frondi liikumiskiiruse mõõtmiseks võib kasutada kvartsresonatskaalumist, kui paigutada kvartskristall reaktori väljundisse ja registreerida lähteainepulsi alguse ja sellele järgneva massimuutuse vaheline viivis (joon. 3). Tartu Ülikoolis läbi viidud katsete [35–38] ja mudelarvutustega [36–39] õnnestus näidata, et mõõtes ära viivise ning järgneva massi juurdekasvu kiiruse saame hinnata nii pinnale adsorbeerunud osakeste kontsentratsiooni kui ka lähteainemolekulide adsorptsiooni tõenäosust. Olgu lisatud, et nende uuringute käigus väljatöötatud arvutusmudelid võimaldasid analüüsida ka pinnareaktsioonides tekkivate gaasiliste jääkproduktide pärssivat mõju kilede kasvule [40].

Vaatamata olulise tähtsusega infole, mida reaalaajalistest massimõõtmistest on võimalik aatomkihtsadestamise protsesside kohta

saada, võeti kvartsresonantskaalumine sellel otstarbel maailmas laiemalt kasutusele [41–44] mitu aastat pärast meetodi juurutamist Tartu Ülikoolis [17]. Üheks põhjuseks oli siin kahtlemata see, et masinundliku kvartskristalli omavõnkesagedus on aatomkihtsadestamisel kasutatavatel temperatuuridel väga tundlik isegi väikestele temperatuurikõikumistele. Seetõttu nõuab meetodi rakendamine kvartskristalli temperatuuri väga täpset stabiliseerimist [22] ja/või temperatuurikõikumise arvessevõtmist tulemuste töötlemisel [22,43]. Teiseks komplitseerib mõõtmisi agressiivsete gaaside keskkond, mis on aatomkihtsadestamisele sageli iseloomulik. Kolmandaks kirjeldab kvartsresonantskaalumine protsesse, mis toimuvad kvartskristalli või kasvava kile pinnal, kuid mitte praktilistes rakendustes kasutatavate aluste pinnal. Nendest puudustest on vaba astmelise dielektrikpeegelduse meetod, mis töötati välja Tartu Ülikooli Füüsika Instituudis Rosentali jt poolt [20,45]. See lubab samuti jälgida pinnal toimuvaid adsorptsiooni- ja desorptsiooniprotsesse. Meetod on tundlikkuse poolest võrreldav kvartsresonantskaalumise ja see võimaldab määrata reaajas (st kasvu käigus) ka kile murdumisnäitajat [45]. Pinnareaktsioonide mehhanisme viimatinimetatud meetod siiski välja selgitada ei võimalda.

Paljuski tänu reaalajaliste mõõtmiste võimalusele on mitmed olulised aatomkihtsadestamiseks sobivad lähteainete kombinatsioonid esmakordselt kasutusele võetud just Tartu Ülikoolis. Nende hulka kuuluvad tantaaljodiid (TaI_5) ja vesinikperoksiid (H_2O_2) tantaaloksiidi kasvatamisel [29], titaanjodiid (TiI_4) ja hapnik (O_2) titaanoksiidi (TiO_2) kasvatamisel [31], tsirkooniumjodiid (ZrI_4) ja vesinikperoksiid tsirkooniumoksiidi (ZrO_2) sünteesil [32] ning hafniumjodiid (HfI_4) kombineerituna vesinikperoksiidi või veeauruga hafniumoksiidi (HfO_2) kasvatamisel [46]. Nende lähteainetesüsteemide kasutamise põhiline eesmärk oli suurema puhtusastme tagamine elektroonikatehnoloogiale üliolulistest kilematerjalides. Selgus aga ka, et näiteks juhul, kui HfO_2 kasvatamisel on metalli allikaks HfI_4 , on kilede kasvu algfaas ränialustel (joon. 4) palju paremini kontrollitav kui protsessides, kus metalli allikaks on $HfCl_4$ [47].

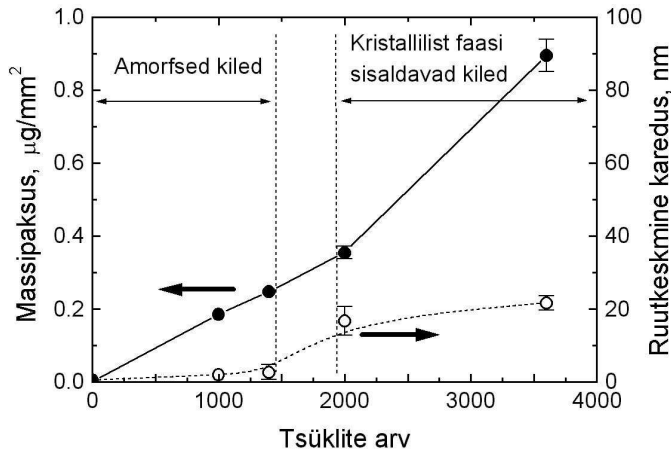
Olulist rolli tahkisekilede sünteesil mängivad kristallisatsiooniprotsessid ja faasisiirded. On teada, et õhukestes nanomõõtmelistes kiledes võivad tänu pinna tugevale mõjule stabiliseeruda faasid, mis ei ole stabiilsed suurtes kristallides [48]. Kuna aatomkihtsadestamisel on



Joonis 4: Hafniumoksiidkile paksuse sõltuvus aatokihtsadestamise tsüklite arvust. Protsessis, kus lähteaineteks on HfCl₄ ja H₂O, algab kile märgatav kasv ränialusele alles pärast 150 tsükli rakendamist. Kui lähteaineteks on HfI₄ ja H₂O või HfI₄ ja O₂, hakkab kile kasvama ilma olulise viiviseta [47].

tahkisekile kasv, eelkõige aga kile paksus, hästi kontrollitav, loob selle meetodi rakendamine hea võimaluse tahkisekilede paksusest sõltuvate faasimuutuste uurimiseks. Nii oleme aatomkihtsadestamisega sünteetiliselt kildes demonstreerinud mitmete oksiidide nagu TiO₂ [49], ZrO₂ [32,33] ja HfO₂ [47,50,51] metastabiilsete faaside saamise võimalust. Samuti oleme teinud kindlaks kile paksuse mõju amorfse faasi stabiliseerumisele mitmes tehnoloogilist huvi pakkuvates oksiidides [25,30,33].

Meie uuringud on samuti näidanud, et kristallisatsiooniprotsessid, mis leiavad aset tahkisekilede aatomkihtsadestamise käigus, avaldavad olulist mõju kile edasisele kasvule [52,53]. See tõsiasi, mida tehnoloogid sageli ei arvesta, on teoreetiliselt kergesti põhjendatav, kui püüda silmas, et aatomkihtsadestamine põhineb pinnareaktsioonidel, sh nendel, millega kaasneb adsorptsioon. Tõepoolest, on üldtuntud tõsiasi, et tahkisepindade adsorptsioonivõime sõltub nii tahkise faasikoostisest kui ka sellest, millised kristallograafilised tasandid moodustavad tahkise pinna. Lisaks kaasnevad kristallisatsiooniprotsessidega



Joonis 5: Titaanoksiidkilede massipaksuse (kile massi ja pindala suhte) ja ruutkeskmise pinnakareduse sõltuvus aatomkihtsadestamise tsüklite arvust [53]. Lähteaineteks on titaanetoksiid ($\text{Ti}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$) ja veeaur. Kiled on kasvatatud ränialustele temperatuuril 200°C . Kiled, mille kasvatamiseks on kasutatud kuni 1400 tsükli, on amorfsed. Kui kasvatamiseks on kasutatud 2000 või enam tsükli, sisaldavad kiled kristallilist anataasi faasi. Kilede kasvukiirus suureneb märgatavalt pärast seda, kui kile pind on kristallisatsiooniprotsesside tõttu muutunud karedamaks.

sageli muutused tahkisekile pinnakareduses ja seega ka gaasikeskkonnaga kontaktis oleva pinna suurus. Meie tulemuste põhjal võib kindlaks teha, et tahkisekilede kasvu kiirus aatomkihtsadestamise protsessis (joon. 5) sõltub tõesti nii kristallisatsiooniga kaasnevast pinnakareduse suurenemisest [52,53] kui ka muutustest kile faasikoostises [53]. Seejuures kilede kasvu kiiruse sõltuvus faasikoostisest on üks võimalikest põhjustest, miks osaliselt kristalliseerunud kilede pinnakaredus võib mõnikord osutada erakordselt suureks [19,52,53].

Kristalliseerumisprotsessidega on tihedalt seotud tahkisekilede epitaksiaalne kasv, millest oli põgusalt juttu ajaloolises ülevaates. Varasemates töedes on uuritud epitaksiaalset aatomkihtsadestamist põhiliselt II-VI [11] ning III-V [14,15] ühendite korral. Meie laboris viimastel aastatel läbi viidud uuringud on aga tõestanud, et heteroepitaksiaalselt saab aatomkihtsadestamise meetodil kasvatada ka

mitmeid okside, kusjuures suhteliselt madalatel temperatuuridel. Nii näiteks on saadud titaanoksiidi [54,55], tsirkooniumoksiidi [56], hafniumoksiidi [46] ja tinaoksiidi (SnO_2) [57,58] epitaksiaalkilesid. Kui mitme nimetatud oksiiidi jaoks omab epitaksiaalse kasvu realiseerimine vaid tunnetuslikku tähendust, siis epitaksiaalsetel tinaoksiidkiledel on ka konkreetne rakendus, millest tuleb lähemalt juttu allpool.

Aatomkihtsadestamise rakendustest

Aatomkihtsadestamise meetodi esimesed tööstuslikud rakendused olid seotud elektroluminestsentskuvarite tootmisega [59]. Vedelkristallide ja plasmatehnoloogia võidukäik on muutnud selle rakenduse tänapäevaks paraku vähetahtsaks. Katalüsaatorite pindade töötlemine oli rakendus, millele Aleskovski jt eksperimendid [5,8] olid suunatud juba 1960-ndatel aastatel. Siiski tuli see rakendus tõsisemalt päevakorda 1990-ndatel aastatel [60]. Veel on uuritud aatomkihtsadestamise meetodi rakendusvõimalusi optiliste katete valmistamisel [61]. Peamine tähelepanu on viimastel aastatel olnud suunatud siiski elektroonikale [1–4,62–64], kuna on jõutud arusaamisele, et räni oksüdeerimisel ja/või nitrideerimisel saadud dielektrik, mis on seni edukalt toiminud, ei ole järgmise põlvkonna integraalskeemides ehk kiipides enam kasutatav. Asi on selles, et koos skeemielementide mõõtmete vähenemisega on vähendatud pidevalt ka dielektrikukihtide paksust, et tagada väljatransistoride paisuahelate ja kondensaatorite piisavat mahtuvust. Käesolevaks ajaks on jõutud dielektrikukihtideni, mille paksused on vaid 1–2 nanomeetrit. Seoses sellega on dielektrikukihti läbivad tunnelvoolud [65] suurenenud juba maksimaalse lubatud tasemeni. See tähendab, et räniühenditel põhinevate dielektrikukihtide paksusi ja seega ka neid dielektrikke sisaldavate skeemielementide mõõtmeid ei ole võimalik enam vähendada. Üheks arenguvõimaluseks kiipide tehnoloogias on seetõttu räniühendite dielektrike asendamine tunduvalt suurema dielektrilise läbitavusega materjalidega. Sellisel juhul võib sama mahtuvuse saamiseks kasutada paksemat dielektrikukihti, millega tagatakse väiksemad tunnelvoolud ja võimalus elementide mõõtmete edasiseks vähendamiseks.

Uute suurema läbitavusega dielektrikute otsingule asuti maailma juhtivates materjalitehnoloogia laborites 1990-ndate aastate lõpul. Suurima tähelepanu all on olnud sellised oksiidid nagu Ta_2O_5 , TiO_2 , ZrO_2 , HfO_2 ja Al_2O_3 . Tehnoloogiliseks probleemiks on seejuures

olnud üliõhukeste dielektrikukihtide kontrollitav kasvatamine, kuna kaasaegsete elektroonikaseadiste tootmisel tuleks kontrollida dielektrikukihtide sünteesi umbes 1 aatomkihi täpsusega. Ränipõhiste dielektrike sünteesil ei ole see väga suur probleem, sest need saadakse samades seadistes kasutatava räni oksüdeerimisel ja/või nitrideerimisel. Vastavad protsessid on küllaltki hästi kontrollitavad, kui temperatuur sobivalt valida. Suure dielektrilise läbitavusega oksiidide süntees on aga keerukam. Üheks paremaks meetodiks, mis lubaks nende materjalide sünteesi piisavalt hästi kontrollida, on aatomkihtsades-tamine. Seetõttu ongi elektroonikatööstuse huvi selle meetodi vastu maailmas viimastel aastatel väga kiiresti kasvanud.

Vaatamata edusammudele suure dielektrilise läbitavusega oksiidide aatomkihtsades-tamise meetodika rakendamisel elektroonikas, ei ole praktilistes lahendustes siiani täielikult realiseeritud nende materjalide potentsiaali. Nimelt pole amorfsete või polükristalliliste dielektrikute kihid, mida traditsioonilise ränitehnoloogiaga ühilduvates rakendustes saab kasutada, kaugeltki nii heade dielektriliste omadustega, kui on oodatud. Polükristallilistel materjalidel on seejuures küll suhteliselt suur dielektriline läbitavus, kuid ka suuremad lekivoolud ja madalamad läbilöögi pinged kui amorfsetel materjalidel [46]. Amorfsete materjalide puuduseks on omakorda väiksem dielektriline läbitavus [46]. Samas on lootust, et sünteesitingimuste optimeerimisega võib osutada siiski võimalikuks selliste (nanostruktuursete) kilede süntees, millel on kristallilisele faasile omane suur tihedus (ja suur dielektriline läbitavus), kuid väike kilet läbivate parasiitsete voolukanalite tihedus. Ühe võimalusena on siin nähtud mitmekihiliste struktuuride, nn nanolaminaatide [66,67], kasutamist. See aga nõuab tingimustes, kus kogu dielektrikukihi paksus on ainult 1–2 nm, protsessi väga täpset kontrolli. Teiseks probleemide allikaks on piirpindade keemiline stabiilsus. Võimalike tahkes faasis toimuvate reaktsioonide ja nende tulemusel moodustuvate siirdekihtide tõttu on ränitehnoloogiaga väga halvasti sobitatavad sellised suure läbitavusega dielektrikud nagu TiO_2 ja Ta_2O_5 . Samuti on probleeme ZrO_2 ja HfO_2 keemilise stabiilsusega räni pinnal. Üheks stabiilseimaks dielektrikuks on osutunud Al_2O_3 . Sellel materjalil on aga suhteliselt väike dielektriline läbitavus, eriti kui on tegemist Al_2O_3 amorfse faasiga. Seepärast uuritakse näiteks võimalusi Al_2O_3 siirdekihtide kasutamiseks HfO_2 dielektriku ja metall- [64] või ränielektroodi vahel. Samuti pakuvad huvi sellised

„uued“ dielektrilised materjalid ja nende aatomkihtsadestamise tehnoloogiad, mis võimaldaksid vältida siirdekihtide teket ja mis ideaaljuhul lubaksid ka dielektrikukilede epitaksiaalset kasvatamist ränile. Kolmandaks probleemide rühmaks on piirpinna defektsusega seotud haardetsentrite teke. Haardetsentrid lõksustavad teatud juhtudel laengukandjaid ja võivad sellisel moel tunduvalt mõjutada elektrivälja ja siirdelähedases alas ning lokaalsete elektriväljade sõltuvust dielektrikule rakendatud pingest. Seegi valdkond on seotud materjalitehnoloogiliste täiustuste [68] ja uute materjalide otsingutega. Lisaks on need uuringud stimuleerinud ka uudsete mõõtmismeetodite väljatöötamist [69].

Teisalt on uute dielektrikute ja uue tehnoloogia juurutamine teinud lihtsamaks alternatiivsete pooljuhtide kasutuselevõtu mikroelektroonikas. Kuna pooljuhtmaterjali ei kasutata enam lähteainena dielektriku valmistamisel, on avanenud laiemad võimalused näiteks III-V ühendite [62] ja süsiniknanotorude [63] kasutamiseks kiipides sisalduvate väljatransistoride valmistamisel. Laengukandjate liikuvus otsese tsooniga III-V ühendites on teatavasti tunduvalt suurem kui ränis. Seepärast lubab räni asendamine mõnega neist ühenditest suurendada transistoride töökiirust. Efekt on veelgi suurem, kui kasutada väljatransistori kanalis heterosiirdeid [62], mille läheduses tekib nn kahedimensionaalne elektrongaas. Tänu kvantefektidele tõuseb sellises keskkonnas elektroni liikuvus tunduvalt võrreldes liikuvusega homogeenses pooljuhtmaterjalis. Analoogiline mehhanism peaks võimaldama saada suhteliselt suuri elektroni liikuvusi ja töösagedusi ka süsiniku nanotorudel põhinevates väljatransistorides [63].

Viimaks tuleks nimetada mõningaid aatomkihtsadestamise meetodika rakendusi, mis pole seni veel nii laialdast huvi äratanud kui eelpool kirjeldatud rakendused elektroonikas. Üheks selliseks „alternatiivrakenduseks“ on elektroni emissiooni soodustavate pinnakatete valmistamine külmkatoodidele [70,71]. Nimelt on selgunud, et mõne nanomeetri paksused dielektrikukiled, mis on kantud katoodi pinnale, võivad oluliselt parandada selle emissiooniomadusi. Niisuguste kilede sünteesiks on aatomkihtsadestamine aga üks sobivaimaid meetodeid [70,71]. Meie hiljutised katsed on näidanud ka, et struktuurilt täiuslikke SnO₂ kilesid, mis on epitaksiaalselt kasvatatud monokristallilistele α -Al₂O₃ alustele, saab edukalt kasutada juhtivuse muutusel põhinevates gaasisensorites [58]. Seejuures tagab epitaksiaalkilede

täiuslik struktuur sensorite suure töökiiruse. Kilede sadestamiseks kasutatav aatomkihtsadestamise meetod kindlustab aga sensorite optimaalseks funktsioneerimiseks vajalike üliõhukeste (umbes 10 nm paksuste) gaasitundlike kilede kontrollitava valmistamise [58]. Nendes viimatinimetatud rakendusvaldkondades seisavad tõsised uurinud aga alles ees.

Kokkuvõtteks võib öelda, et aatomkihtsadestamine, mis on läbi käinud pika arengutee, on alles viimastel aastatel jõudnud või jõudmas kõige perspektiivsemate rakenduste ajajärku. Sellega seoses on meeldiv tõdeda, et nagu hiljuti ilmunud ülevaadetest [9,72] näha, on ka Eesti füüsikud ja materjaliteadlased selle meetodi arengusse oma arvestatava panuse andnud.

Lõpetuseks tahab selle kirjutise autor tänada kõiki oma kolleegide, kes on andnud panuse aatomkihtsadestamise meetodika arendamise ja sellega seotud uurimistöösse Tartu Ülikoolis. Suur tänu ka Markku Leskeläle (Helsinki Ülikool), Mikko Ritalale (Helsinki Ülikool), Lauri Niinistöle (Helsinki Tehnikaülikool), Anders Hårstale (Uppsala Ülikool), Mikael Schuiskyle (Uppsala Ülikool), Katarina Forsgrenile (Uppsala Ülikool), Jun Lule (Uppsala Ülikool), Jonas Sundqvistile (Uppsala Ülikool, Infineon Technologies), Salvador Dueñasele (Valladolidi Ülikool) ja David R.G. Mitchellile (Austraalia Tuumateaduse ja Tehnoloogia Organisatsioon) meeldiva ja viljaka koostöö eest. Eelkirjeldatud aatomkihtsadestamise-alast uurimistööd Tartu Ülikoolis on olulisel määral toetanud Eesti Teadusfond ning Soome Rahvuslik Tehnoloogia Agentuur (TEKES).

Kirjandus

1. J.F. Conley Jr., Y. Ono, R. Solanki, G. Stecker and W. Zhuang, Electrical properties of HfO_2 deposited via atomic layer deposition using $\text{Hf}(\text{NO}_3)_4$ and H_2O , Appl. Phys. Lett. 82, 3508 (2003).
2. R. Puurunen, W. Vandervorst, W.F.A. Besling, O. Richard, H. Bender, T. Conard, C. Zhao, A. Delabie, M. Caymax, S. De Gendt, M. Heyns, M.M. Viitanen, M. de Ridder, H.H. Brongersma, Y. Tamminga, T. Dao, T. de Win, M. Verheijen, M. Kaiser and M. Tuominen, Island growth in the atomic layer deposition of zirconium oxide and aluminum oxide on hydrogen-terminated silicon: Growth mode modeling and transmission electron microscopy, J. Appl. Phys. 96, 4878 (2004).

3. W.-K. Kim, S.-W. Kang, S.-W. Rhee, N.-I. Lee, J.-H. Lee and H.-K. Kang, Atomic layer deposition of zirconium silicate films using zirconium tetrachloride and tetra-n-butyl ortosilicate, *J. Vac. Sci. Technol. A* 20, 2096 (2002).
4. M.M. Frank, G.D. Wilk, D. Starodub, T. Gustafsson, E. Garfunkel, Y.J. Chabal, J. Grazul and D.A. Muller, HfO_2 and Al_2O_3 gate dielectrics on GaAs grown by atomic layer deposition, *Appl. Phys. Lett.* 86, 152904 (2005).
5. С.И. Кольцов, и В.Б. Алесковский, Изучение взаимодействия четырёх-хлористого титана с силикагелем, *Ж. прикл. химии* 40, 907 (1967).
6. Г.В. Свешникова. С.И. Кольцов, и В.Б. Алесковский, Изучение взаимодействия четырёх-хлористого титана с кремнием, *Изв. ВУЗ. Химия и хим. технол.* 12, 562 (1969).
7. С.И. Кольцов, Г.В. Свешникова и В.Б. Алесковский, Синтез слоя двуокиси кремния заданной толщиной на поверхности кремния методом молекулярного наслаивания, *Ж. прикл. химии* 43, 1150 (1970).
8. В.Б. Алесковский, О химии и технологии твердых веществ. *Ж. прикл. химии* 47, 2145 (1974).
9. R. Puurunen, Surface chemistry of atomic layer deposition: A case study for the trimethylaluminum/water process, *J. Appl. Phys.* 97, 12301 (2005).
10. T. Suntola and J. Antson, Method for producing compound thin films, U.S. Patent No. 4058430 (1977).
11. M. Pessa, O. Jylhä and M. Herman, Atomic layer epitaxy of CdTe on the polar (111)A and (111)B surfaces of CdTe substrates, *J. Cryst. Growth* 67, 255 (1984).
12. T.S. Suntola, A.J. Pakkala and S.G. Lindfors, Apparatus for performing growth of compound thin films, U.S. Patent No. 4389973 (1981).
13. Т. Сунтола, А. Паккала и С. Линдфорс, Способ получения составной пленки и устройство для его осуществления, Патент SU 1085510A (1980).
14. S.M. Bedair, M.A. Tischler, T. Katsuyama, N.A. El-Masry, Atomic layer epitaxy of III-V compounds, *Appl. Phys. Lett.* 47, 51 (1985).
15. J. Nishizawa, I. Abe and T. Kurabayashi, Molecular layer epitaxy, *J. Electrochem. Soc.* 132, 1197 (1985).

16. G. Oya, M. Yoshida and Y. Sawada, Growth of α -Al₂O₃ films by molecular layer epitaxy, *Appl. Phys. Lett.* 51, 1143 (1987).
17. J. Aarik, A. Aidla, A. Jaek, A.A. Kiisler and A.A. Tammik, Properties of amorphous Al₂O₃ films grown by ALE, *Acta Polytechn. Scand. Chem Techn. Ser.* 195, 201 (1990).
18. M. Ylilammi and T. Rantaaho, Metal fluoride thin films prepared by atomic layer deposition, *J. Electrochem. Soc.* 141, 1278 (1994).
19. J. Aarik, A. Aidla, T. Uustare and V. Sammelselg, Morphology and structure of TiO₂ thin films grown by atomic layer deposition, *J. Cryst. Growth* 148, 268 (1995).
20. A. Rosental, P. Adamson, A. Gerst and A. Niilisk, Monitoring of atomic layer deposition by incremental dielectric reflection, *Appl. Surf. Sci.* 107, 178 (1996).
21. J. Aarik, A. Aidla, A. Jaek, M. Leskelä and L. Niinistö, Precursor properties of calcium β -diketonate in vapor phase atomic layer epitaxy, *Appl. Surf. Sci.* 75, 33 (1994).
22. J. Aarik, A. Aidla, A. Jaek, M. Leskelä and L. Niinistö, In situ study of a strontium β -diketonate precursor for thin film growth by atomic layer epitaxy, *J. Mater. Chem.* 4, 1239 (1994).
23. J. Aarik, A. Aidla, K. Kukli and T. Uustare, Deposition and etching of tantalum oxide films in atomic layer epitaxy process, *J. Cryst. Growth* 144, 116 (1994).
24. J. Aarik, K. Kukli, A. Aidla and L. Pung, Mechanism of sub-oxide growth and etching in atomic layer epitaxy of tantalum oxide from TaCl₅ and H₂O, *Appl. Surf. Sci.* 103, 331 (1996).
25. J. Aarik, A. Aidla, A.A. Kiisler, T. Uustare and V. Sammelselg, Influence of substrate temperature on atomic layer growth and properties of HfO₂ thin films, *Thin Solid Films* 340, 110 (1999).
26. J. Aarik, A. Aidla, V. Sammelselg, T. Uustare, M. Ritala and M. Leskelä, Characterization of titanium dioxide atomic layer growth from titanium ethoxide and water, *Thin Solid Films* 370, 163 (2000).
27. J. Aarik, A. Aidla, T. Uustare, M. Ritala and M. Leskelä, Titanium isopropoxide as a precursor for atomic layer deposition: Characterization of titanium dioxide growth process, *Appl. Surf. Sci.* 161, 385 (2000).

28. K. Kukli, A. Aidla, J. Aarik, M. Shuisky, A. Hårsta, M. Ritala and M. Leskelä, Real-time monitoring in atomic layer deposition of TiO_2 from TiI_4 and $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{O}_2$, *Langmuir* 16, 8122 (2000).
29. K. Kukli, J. Aarik, A. Aidla, K. Forsgren, J. Sundqvist, A. Hårsta, T. Uustare, H. Mändar and A.A. Kiisler, Atomic layer deposition of tantalum oxide thin films from iodide precursor, *Chem. Mater.* 13, 122 (2001).
30. J. Aarik, A. Aidla, H. Mändar and T. Uustare, Atomic layer deposition of titanium dioxide from TiCl_4 and H_2O : investigation of growth mechanism, *Appl. Surf. Sci.* 172, 148 (2001).
31. M. Schuisky, J. Aarik, K. Kukli, A. Aidla and A. Hårsta, Atomic layer deposition of thin films using O_2 as oxygen source, *Langmuir* 17, 5508 (2001).
32. K. Kukli, K. Forsgren, J. Aarik, T. Uustare, A. Aidla, A. Niskanen, M. Ritala, M. Leskelä and A. Hårsta, Atomic layer deposition of zirconium oxide from zirconium tetraiodide, water and hydrogen peroxide, *J. Crystal Growth* 231, 262 (2001).
33. J. Aarik, A. Aidla, H. Mändar, T. Uustare and V. Sammelselg, Growth kinetics and structure formation of ZrO_2 thin films in chloride-based atomic layer deposition process, *Thin Solid Films* 408, 97 (2002).
34. J. Aarik, A. Aidla, T. Uustare, K. Kukli, V. Sammelselg, M. Ritala and M. Leskelä, Atomic layer deposition of TiO_2 thin films from TiI_4 and H_2O , *Appl. Surf. Sci.* 193, 277 (2002).
35. J. Aarik, A. Aidla and K. Kukli, In situ characterization of ALE-growth by reagent pulse delay times in a flow-type reactor, *Appl. Surface Sci.* 75, 180 (1994).
36. J. Aarik and H. Siimon, Characterization of adsorption in flow type atomic layer epitaxy reactor, *Appl. Surface Sci.* 81, 281 (1994).
37. H. Siimon and J. Aarik, Reactivities of TaCl_5 and H_2O as precursors for atomic layer deposition, *J. Phys. IV C5*, 5, 277 (1995).
38. K. Kukli, J. Aarik, A. Aidla, H. Siimon, M. Ritala and M. Leskelä, In situ study of atomic layer epitaxy growth of tantalum oxide thin films from $\text{Ta}(\text{OC}_2\text{H}_5)_5$ and H_2O , *Appl. Surf. Sci.* 112, 236 (1997).
39. H. Siimon and J. Aarik, Modelling of precursor flow and deposition in atomic layer deposition reactor, *J. Phys. IV C5*, 5, 245 (1995).

40. H. Siimon, J. Aarik, Thickness profiles of thin films caused by secondary reactions in flow-type atomic layer deposition reactors, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 30, 1725 (1997).
41. E.B. Yousfi, J. Fouache and D. Lincot, Study of atomic layer epitaxy of zinc oxide by in-situ quartz crystal microgravimetry, *Appl. Surf. Sci.* 153, 223 (2000).
42. A. Rahtu, T. Alaranta and M. Ritala, In situ quartz crystal microbalance and quadrupole mass spectrometry studies of atomic layer deposition of aluminum oxide from trimethylaluminum and water, *Langmuir* 17, 6506 (2001).
43. A. Rahtu and M. Ritala, Compensation of temperature effects in quartz crystal microbalance measurements, *Appl. Phys. Lett.* 80, 521 (2002).
44. J.W. Elam and S.M. George, Growth of ZnO/Al₂O₃ alloy films using atomic layer deposition techniques, *Chem. Mater.* 15, 1020 (2003).
45. A. Rosental, P. Adamson, A. Gerst, H. Koppel and A. Tarre, Atomic layer deposition in travelling-wave reactor: in situ diagnostics by optical reflection, *Appl. Surf. Sci.* 112, 82 (1997).
46. K. Forsgren, A. Hårsta, J. Aarik, A. Aidla, J. Westlinder and J. Olsson, Deposition of HfO₂ thin films in HfI₄-based processes, *J. Electrochem. Soc.* 149, F139 (2002).
47. J. Aarik, A. Aidla, A. Kikas, T. Käämbre, R. Rammula, P. Ritslaid, T. Uustare and V. Sammelselg, Effects of precursors on nucleation in atomic layer deposition of HfO₂, *Appl. Surf. Sci.* 230, 292 (2004).
48. R.C. Garvie, Stabilization of the tetragonal structure in zirconia microcrystals, *J. Phys. Chem.* 82, 218 (1978).
49. J. Aarik, A. Aidla, V. Sammelselg and T. Uustare, Effect of growth conditions on formation of TiO₂-II thin films in atomic layer deposition process, *J. Cryst. Growth* 181, 259 (1997).
50. J. Aarik, A. Aidla, H. Mändar, T. Uustare, K. Kukli and M. Schuisky, Phase transformations in hafnium dioxide thin films grown by atomic layer deposition at high temperatures, *Appl. Surf. Sci.* 173, 15 (2001).
51. J. Aarik, J. Sundqvist, A. Aidla, J. Lu, T. Sajavaara, K. Kukli and A. Hårsta, Hafnium tetraiodide and oxygen as precursors for atomic layer deposition of hafnium oxide thin films, *Thin Solid Films* 418, 69 (2002).

52. J. Aarik, A. Aidla, H. Mändar and V. Sammelseg, Anomalous effect of temperature on atomic layer deposition of titanium dioxide, *J. Cryst. Growth* 220, 531 (2000).
53. J. Aarik, J. Karlis, H. Mändar, T. Uustare and V. Sammelseg, Influence of structure development on atomic layer deposition of TiO₂ thin films, *Appl. Surf. Sci.* 181, 339 (2001).
54. M. Schuisly, A. Hårsta, A. Aidla, K. Kukli, A.-A. Kiisler and J. Aarik, Atomic layer chemical vapor deposition of TiO₂: low temperature epitaxy of rutile and anatase, *J. Electrochem. Soc.* 147, 3319, (2000).
55. J. Aarik, A. Aidla, H. Mändar, T. Uustare, M. Schuisly and A. Hårsta, Atomic layer growth of epitaxial TiO₂ thin films from TiCl₄ and H₂O on α -Al₂O₃ substrates, *J. Cryst. Growth* 242, 189 (2002).
56. V. Sammelseg, J. Karlis, A. Kikas, J. Aarik, H. Mändar and T. Uustare, Nanoscopic study of zirconia films grown by atomic layer deposition method, in: *Atomistic aspects of epitaxial growth*, M. Kotrla et al. (Eds.), Kluwer Academic Publishers, 2002, pp. 583–591.
57. A. Tarre, A. Rosental, A. Aidla, J. Aarik, J. Sundqvist and A. Hårsta, New routes to SnO₂ heteroepitaxy, *Vacuum* 76, 571 (2002).
58. A. Rosental, A. Tarre, A. Gerst, J. Sundqvist, A. Hårsta, A. Aidla, J. Aarik, V. Sammelseg and T. Uustare, Gas sensing properties of epitaxial SnO₂ thin films prepared by atomic layer deposition, *Sensors and Actuators B* 93, 552 (2003).
59. T. Suntola, Atomic layer epitaxy, *Mater. Sci. Rep.* 4, 261 (1989).
60. S. Haukka, E.-L. Lakomaa, Controlled preparation of heterogeneous catalysts, in: *Adsorption and its Applications in Industry and Environmental Protection*, Studies in Surface Science and Catalysis, Vol. 120, A. Dabrowski (Ed.), Elsevier Science B.V., 1998, pp. 715–750.
61. S. Zaitsu, S. Motokoshi, T. Jitsuno, M. Nakatsuka and T. Yamanaka, Large-area optical coatings with uniform thickness grown by surface chemical reactions for high-power laser applications, *Jpn. J. Appl. Phys.* 41, 160 (2002).
62. P.D. Ye, B. Yang, K.K. Ng, J. Bude, G.D. Wilk, S. Halder and J.C.M. Hwang, GaN metal-oxide-semiconductor high-electron-mobility-transistor with atomic layer deposited Al₂O₃ as gate dielectric, *Appl. Phys. Lett.* 86, 063501 (2005).

63. A. Javey, J. Guo, D.B. Farmer, Q.Wang, E. Yenilmez, R.G. Gordon, M. Lundstrom and H. Dai, Self-aligned ballistic molecular transistors and electrical parallel nanotube arrays, *Nano Lett.* 4, 1319 (2004).
64. S.-J. Ding, C. Zhu, M.-F. Li, D.W. Zhang, Atomic-layer-deposited Al_2O_3 - HfO_2 - Al_2O_3 dielectrics for metal-insulator-metal capacitor applications, *Appl. Phys. Lett.* 87, 053501 (2005).
65. J. Cai and C.-T. Sah, Gate tunneling currents in ultrathin oxide metal-oxide-silicon transistors, *J. Appl. Phys.* 89, 2272 (2001).
66. K. Kukli, J. Ihanus, M. Ritala and M. Leskelä, Tailoring the dielectric properties of HfO_2 - Ta_2O_5 nanolaminates, *Appl. Phys. Lett.* 68, 3737 (1996).
67. K. Kukli, M. Ritala, M. Leskelä, T. Sajavaara, J. Keinonen, D.C. Gilmer, R. Hedge, R. Rai and L. Prabhu, Atomic layer deposition of HfO_2 thin films and nanolayered HfO_2 - Al_2O_3 - Nb_2O_5 dielectrics, *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.* 14, 361 (2003).
68. S. Dueñas, H. Castán, H. García, J. Barbolla, K. Kukli, J. Aarik and A. Aidla, The electrical-interface quality of as-grown atomic-layer-deposited disordered HfO_2 on p- and n-type silicon, *Semicond. Sci. Technol.* 19, 1141 (2004).
69. K. Kukli, J. Aarik, T. Uustare, J. Lu, M. Ritala, A. Aidla, L. Pung, A. Härsta, M. Leskelä, A. Kikas and V. Sammelseg, Engineering structure and properties of hafnium oxide films by atomic layer deposition temperature, *Thin Solid Films* 479, 1 (2005).
70. V. Repän, M. Laan, P. Paris, J. Aarik and V. Sammelseg, Negative coronas low current mode – pulse mode transition, *Czechoslovak J. Phys.* 49, 217 (1999).
71. M. Laan, J. Aarik, R. Josepson and V. Repän, Low current mode of negative coronas: mechanism of electron emission, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 36, 2667 (2003).
72. K. Yong and J. Jeong, Applications of atomic layer deposition for the processing of nanolaminate structures, *Korean J. Chem. Eng.* 19, 451 (2002).

KVANTMEHAANIKA PÖÖRDÜLESANNE — MIS SEE ON JA KUIDAS SEDA LAHENDADA

Matti Selg

Tartu Ülikooli Füüsika Instituut

1 Sissejuhatus

„Normaalse“ (otsese ehk päripidise) ülesande jaoks on fikseeritud teatud tingimused ja sõnastatud konkreetsed küsimused, millele saab (vähemalt põhimõtteliselt) leida ühese vastuse. Pöördülesande puhul on küll teada vastus, kuid teadmata on küsimus, ehk – teada on tagajärg, kuid mitte põhjus. Pöördülesannetega tegeldakse paljudes teadusvaldkondades, ning see võib olla ajendatud niihästi praktilistest vajadustest, näiteks inseneriteadustes ja meditsiinis, kui ka praktika-aga ainult väga kaudselt seostuvast tunnetusteoreetilisest huvist, mis kindlasti ei puudu näiteks Universumi tekke uurijatel. Pisut liialdades võiks ehk koguni väita, et teadus koosnebki üksnes pöördülesannetest, sest globaalse päripidise ülesande ainsa lahendi – tegelikkuse – pakub meile loodus ise. Ettekujutused teadaolevate tagajärgede võimalikest põhjustest muutuvad ja täpsustuvad pidevalt koos uute paradigmade tekkega, ning tsivilisatsiooni areng on sõltunud ja sõltub ka edaspidi sellest, kuiõrd adekvaatsed need ettekujutused on.

Pöördülesanne on otsesest ülesandest alati tunduvalt keerulisem. Väga kujundlikult selgitas seda Marc Kac 1966. aastal peetud kuulsas loengus „Kas trummi kuju on võimalik kuulda?“ [1]. Täpsemini: kas tasapinnalise piirkonna kuju saab üheselt kindlaks määrata, kui on teada kõik tema resonantssagedused (eeldades, et piirkonna äär on jäigalt fikseeritud, nagu päris trummilgi). Kac ise kaldus arvama, et vastus sellele küsimusele on eitav, ja nii see tõepoolest ka on. Probleemi lahenduseni jõuti siiski alles 1991. aastal, mil õnnestus vahetult demonstreerida, et erineva kujuga „trummid“ võivad tekitada täpselt ühesugust „põrinat“ (vt näiteks [2] ning seal leiduvat animatsiooni). Kaci pöördülesanne pakub aga füüsikutele ja matemaatikutele jätkuvalt mõtlemisainet ja loomerõõmu (vt [3]).

Kvantmehaanika pöördülesanne – Schrödingeri võrrandi pöördprobleem – on Kaci ülesandega mitmes mõttes väga sarnane. Parafraaseerides Kaci, võiksime küsida: kas kvantsüsteemi interaktsioonipotentsiaal on üheselt määratud, kui on teada süsteemi kogu diskreetne energiaspekter? Sellele küsimusele andis eitava vastuse Valentine Bargmann [4], kes juba 1949. aastal näitas, kuidas saab konstrueerida täpselt samasuguse spektriga, kuid kujult täiesti erinevaid potentsiaale. Samal aastal saadi veel teinegi kvantmehaanika pöördülesande jaoks ülioluline tulemus, mis on tuntud Levinsoni teoreemina [5]:

$$\delta_l(0) - \delta_l(\infty) = n_l \pi. \quad (1)$$

Suurus $\delta_l(E)$ ($E \geq 0$), kontinuumseisundite põhiparameeter – faasinihe, on seotud kvantosakese hajumisamplituudiga tsentraalsümmeetrilises väljas $V(r)$, olles järelikult vaadeldav suurus, ja $n_l = n$, kus n on orbitaalkvantarvule l vastava efektiivse potentsiaali seotud seisundite koguarv (välja arvatud eksootiline erijuht, mil $l = 0$ ja potentsiaalil $V(r)$ leidub „poolseotud“ seisund koguenergiaga $E = 0$: sel juhul $n_l = n + 1/2$). Valem (1) fikseerib seega fundamentaalse seose pideva ja diskreetse spektripiirkonna põhiparameetrite vahel.

Bargmanni ja Levinsoni töödele järgnenud võimsa ajurünnaku tulemusena formuleeriti juba mõne aasta pärast kõik tingimused, mil tsentraalsümmeetrilises väljas liikuva kvantosakese interaktsioonipotentsiaal on vaatlusandmete põhjal üheselt kindlaks määratav (vt suurepärast ülevaadet [6]). Nimelt tehti kindlaks, et ühedimensioonilise Schrödingeri võrrandi pöördprobleem on üheselt lahenduv siis ja ainult siis, kui on õnnestunud kindlaks määrata:

- kvantsüsteemi kogu diskreetne energiaspekter E_n ($n = 0, 1, \dots, N$);
- faasinihke täielik energiasõltuvus (nullist lõpmatuseni);
- N täiendavat reaalselt parameetrit C_n ($n = 0, 1, \dots, N$), mis fikseerivad vastavate seotud seisundite omafunktsioonide normeeringu.

Kahjuks on neid rangeid nõudeid praktikas peaaegu võimatu täita ning pöördülesande lahendusskeemide realiseerimine on seotud ka väga tõsiste arvutustehniliste raskustega. Seepärast on pöördülesande elegantne lahendusmetoodika kuni viimase ajani omanud pigem akadeemilist kui praktilist väärtust. Paralleelarvutuse ja

GRID-tehnoloogia kiire areng ei jäta aga mõjutamata ühtki valdkonda. Sellega seoses on alust arvata, et peatselt tõuseb tõsiselt päevakorda küsimus: kas kvantmehaanika pöördülesande lahendamiseks välja töötatud meetodikat on siiski võimalik rakendada ka praktiliste eesmärkide saavutamiseks?

Üht võimalikku stsenaariumi on kirjeldatud autori hiljutistes töodes [7-9]. Neis lähtutakse ettekujutusest, et igasuguse kvantsüsteemi jaoks saab alati konstrueerida ligikaudse, nn referentspotentsiaali, mis peaks olema võimalikult realistlik, see tähendab, heas kooskõlas olemasolevate eksperimendiandmetega. Kõnealuse kontseptsiooni puhul lisandub sellele nõue, et referentspotentsiaal oleks ka täpselt lahenduv, mis tähendab, et kõik vastava Schrödingeri võrrandi lahendid on leitavad puht-analüütiliste vahenditega, kasutamata numbrilisi integreerimismeetodeid. Kuna referentspotentsiaal on fikseeritud, saab kõik tema spektraalkarakteristikud kuitahes täpselt (suur täpsus on antud kontekstis hädavajalik) välja arvutada. Seejärel saab neid karakteristikuid taaskasutada, tuginedes pöördülesande rängele lahendusmeetodikale. Loomulikult pole mingit vajadust taastada keerukate arvutuste abil referentspotentsiaali, mis on niigi teada. Referentspotentsiaali karakteristikuid võib aga käsitleda tegelike parameetrite algühendena, millest lähtudes on võimalik konstrueerida esialgsest täpsem potentsiaal. Taolisi võimalusi analüüsitakse ka käesolevas kirjutises.

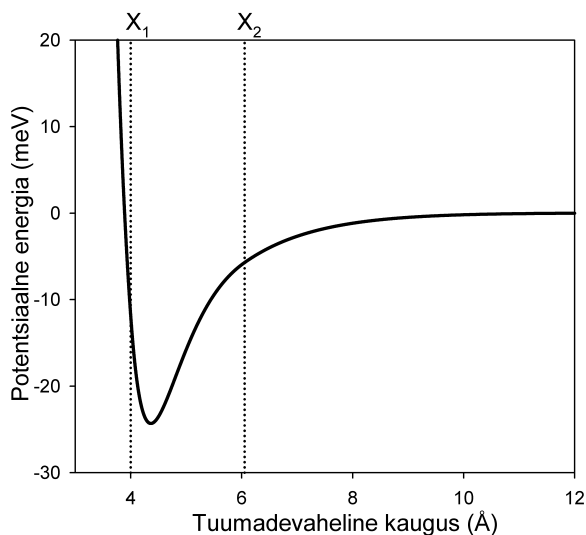
2 Referentspotentsiaali spektraalkarakteristikud

Esmalt fikseerime mudelsüsteemi, mille abil meetodi iseärasusi selgitada. Lihtsaim ja ühtlasi ainus erijuht, mille jaoks on välja töötatud range ja täpne lahendusmeetodika, on ühe osakese liikumine tsentraalsümmeetrilises väljas. See juhtum hõlmab ka kaheaatomilisi molekule, sest teatavasti saab kahe osakese ülesande alati taandada ühe osakese suhtelise liikumise ülesandele masskeskme koordinaadistikus (orbitaalkvantarv asendub sealjuures pöörlemiskvantarvuga). Sellega kooskõlas on mudelsüsteemiks valitud molekul Xe_2 põhielektronseisundis. Energiaskaala nullpunktiks on võetud potentsiaali piirväärtus lõpmatuses ning vältimaks liigseid tehnilisi keerukusi, on pöörlemiskvantarv loetud nulliks, mis tähendab, et otsitav potentsiaal ei sisalda nn tsentrifugaalliiget. Nagu öeldud, on meetodi üks iseärasusi selles, et uuritava süsteemi jaoks konstrueeritakse täpselt

lahenduv referentspotentsiaal. Väga mugav on seda teha Morse tüüpi [10] komponentide abil

$$V(r) = V_k + D_k [\exp(-\alpha_k(r - r_k)) - 1]^2, \quad r \in (0, \infty), \quad (2)$$

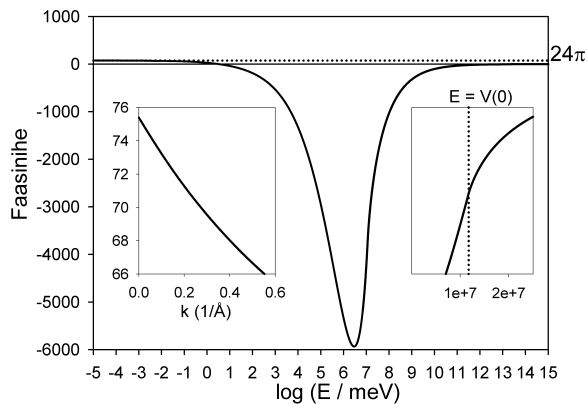
kus V_k , D_k , α_k ja r_k on reaalsed (mitte tingimata positiivsed) parameetrid ja indeks k vastab erinevatele komponentidele, mis on omavahel sujuvalt ühendatud (säilitades potentsiaali ja tema tuletise pidevuse) sobivalt valitud äärepunktides X_{k+1} . Taolist lähenemisviisi on autor korduvalt ja detailselt kirjeldanud (vt näiteks [11]) ja siin me sellel pikemalt ei peatu. Sobiva referentspotentsiaali valik on igal konkreetsel juhul keeruline ja mõneti spekulatiivne ettevõtmine. Lihtsaim variant, mis Xe_2 jaoks annab juba suhteliselt hea kooskõla eksperimentaandmetega, on kolmest Morse tüüpi komponendist koosnev referentspotentsiaal (vt. joonis 1).



Joonis 1. 3-komponendiline referentspotentsiaal molekuli Xe_2 jaoks. Kõik komponendid omavad Morse potentsiaali analüütilist kuju, kuid klassikalist Morse lähendust [10] on kasutatud ainult vahemikus $r \in [X_1, X_2]$ (vt täpsemalt [7]).

2.1 Faasinihe

Valemiga (2) kirjeldatavatel potentsiaalidel on palju kasulikke omadusi. Tähtsaim neist on asjaolu, et Schrödingeri võrrandi kaks lineaarselt sõltumatut analüütilist lahendit kogu füüsikalises piirkonnas on alati suhteliselt kergesti leitavad. Seetõttu on suhteliselt kergesti ja kuitahes täpselt arvutatavad ka kõik diskreetsed energianivood. Antud kontekstis on aga eriti oluline, et faasinihke kogu energiasõltuvuse (nullist lõpmatuseni) saab samuti arvutada analüütiliselt [9]. See arvutus on tehniliselt üpris keeruline, kuid siiski teostatav, nagu demonstreerib joonis 2, mis ühtlasi annab võimaluse vahetult veenduda Levinsoni teoreemi paikapidavuses. Autorile teadaolevalt on see esmakordne taoline demonstratsioon konkreetse kvantsüsteemi jaoks.



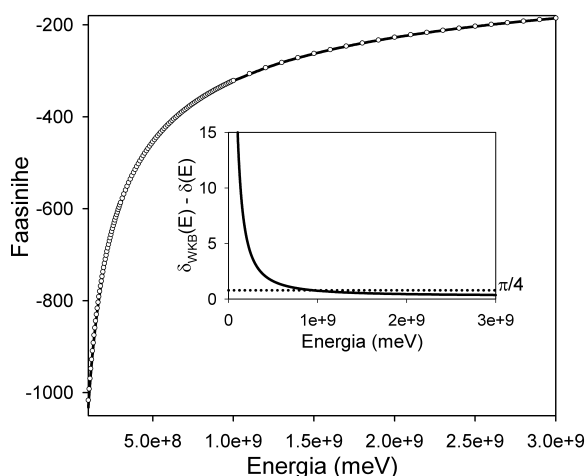
Joonis 2. Levinsoni teoreemi ($\delta(0) - \delta(\infty) = n\pi$) demonstratsioon uuritava mudelsüsteemi jaoks. Energiaskaala nullpunktis on faasinihe täpselt 24π , kuna süsteemil on 24 seotud seisundit. Faasikõveral on üks nullkoht ($E_0 = 3,146294$ meV) ja üks miinimumkoht ($E_{\min} \approx 2932$ eV), ning $E \rightarrow \infty$ korral läheneb faasinihe väga aeglaselt nullile. Pöörakem tähelepanu, et energiaskaala on logaritmiline ning joonisel kujutatatu hõlmab 20 suurusjärku. Vasakpoolisel sisepildil on näha, et $E \rightarrow 0$ korral on energiasõltuvus peaaegu lineaarne, nagu olema peabki, parempoolne sisepilt aga demonstreerib käänupunkti $E = V(0)$ lähistel.

Mõnesugust huvi võiks pakkuda ka vahetu võrdlus faasinihkega, mis on arvutatud nn kvaasi-klassikalises (WKB) lähenduses. Vastav

valem on järgmine [12]:

$$\delta_{WKB}(E) = \int_{r_0}^{\infty} \left[\sqrt{\frac{E - V(r)}{C} - \frac{1}{4r^2}} - k \right] dr + \frac{\pi}{4} - kr_0, \quad C \equiv \frac{\hbar^2}{2m}, \quad (3)$$

kus $k = \sqrt{\frac{E}{C}}$ ja r_0 on võrrandi $\frac{E - V(r)}{C} = \frac{1}{4r^2}$ lahend. Täpse ja WKB faasinihke võrdlust võib näha joonisel 3. Täielikus kooskõlas üldiste ettekujutustega muutub WKB lähendus energia kasvades üha täpsemaks, samas ei saa teda kasutada piirkonnas $E \lesssim V(0)$ (**NB!** $V(0)$ on väga suur, kuid siiski lõplik). Õnneks puudub selle järele ka vajadus, sest just nimetatud piirkonnas on täpne faasinihe väga kergesti arvatav.



Joonis 3. Täpse faasinihke (pidev joon) ja WKB lähenduses arvatud faasinihke (ringikesed) võrdlus. Kvaasiklassikaline lähendus tundub olevat üpris täpne ning energia kasvades muutub ta veelgi täpsemaks. Pöördülesande kontekstis tuleb faasinihe siiski arvutada tunduvalt täpsemini kui WKB lähendus seda võimaldab.

Faasinihke arvutamiseks eksisteerib üldine ja universaalne meetod, mis on rakendatav igasuguse potentsiaali puhul. Selleks tuleb

numbriliselt integreerida vastav faasivõrrand [13]

$$\delta'(r, k) = -\frac{V(r)}{k\sqrt{C}} \sin^2 [kr + \delta(r, k)], \quad \delta(0, k) = 0 \quad (4)$$

ja leida piirväärtus $\delta(k) = \lim_{r \rightarrow \infty} \delta(r, k)$. Oma kogemustele tuginedes sõandab autor siiski väita, et seesugune lähenemisviis on üpris vaevarikas ja aeganõudev (faasinihe tuleb arvutada väga täpselt, mistõttu arvutused võivad kesta väga-väga kaua). Seepärast ongi mõistlik konstrueerida täpselt lahenduv referentspotentsiaal ja arvutada faasinihe analüütiliselt.

Faasinihke teemat lõpetades tasub ehk ära tuua ka asümptootiline avaldis [7]

$$\delta(k) = \frac{a_1}{k} + \frac{a_3}{k^3} + \frac{a_5}{k^5} + \dots, \quad k \rightarrow \infty, \quad (5)$$

mis on leitav täiesti üldistest kaalutlustest. Lihtne on näidata, et pea-

liikme kordaja $a_1 = -\frac{\int_0^\infty V(r) dr}{2C}$ ning ka kõik ülejäänud kordajad a_3, a_5, \dots on vahetult seotud referentspotentsiaali ja tema tuletistega.

2.2 Josti funktsioon ja pöördülesanne

Josti funktsiooni [14] võib pidada kvantsüsteemi tähtsaimaks spektraalkarakteristikuks, sest temasse on koondatud peaaegu kogu pöördülesande lahendamiseks vajalik informatsioon. Selle tähtsa funktsiooni paljudest kasulikest omadustest mainigem ainult kahte: Josti funktsiooni igale nullkohale vastab seotud seisund ($E_n < 0$); $E > 0$ korral aga fikseerib Josti funktsioon seose Schrödingeri võrrandi nn füüsikaliste lahendite $\Psi(r, k)$ ($\Psi(r, k) \approx \exp i\delta(k) \sin [kr + \delta(k)]$, kui $r \rightarrow \infty$), ja regulaarsete lahendite $\varphi(r, k)$ ($\varphi(r, k) \rightarrow r$, kui $r \rightarrow 0$) vahel, nimelt $\Psi(r, k) = \frac{k}{F(k)}\varphi(r, k)$, kus

$$F(k) = |F(k)| \exp [-i\delta(k)] \quad (6)$$

ongi Josti funktsioon, mille moodul avaldub järgmiselt [6]:

$$|F(E)| = \prod_{n=0}^N (1 - E_n/E) \exp \left[-\frac{1}{\pi} P \int_0^\infty \frac{\delta(E') dE'}{E' - E} \right], \quad E \in (0, \infty), \quad (7)$$

kus P tähistab integraali peaväärtuse mõttes. Nagu näeme, sisaldub valemis (7) nihästi faasinihke kogu energiasõltuvus kui ka kogu diskreetne energiaspekter.

Nii olemegi jõudnud vaid kukesammu kaugusele kvantmehaanika pöördülesande tegelikest lahenduskeemidest. Näiteks Gelfandi-Levitani meetod [15] baseerub järgmisel võrrandil

$$K(r, r') + G(r, r') + \int_0^r K(r, s)G(s, r')ds = 0. \quad (8)$$

Selle integraalvõrrandi tuum

$$G(r, r') = \int_{-\infty}^{\infty} [d\rho^{(1)}(E) - d\rho^{(0)}(E)] \varphi(r, E)\varphi(r', E) \quad (9)$$

avaldub kahe spektraaltiheduse vahe kaudu

$$\frac{d\rho^{(j)}(E)}{dE} = \begin{cases} \pi^{-1}\sqrt{E}|F^{(j)}(E)|^{-2}, & E \geq 0, \\ \sum_n C_n^{(j)}\delta(E - E_n^{(j)}), & E < 0 \end{cases}, \quad (j = 0, 1), \quad (10)$$

(NB! $\delta(E - E_n^{(j)})$) on siin deltafunktsioon, mitte faasinihke) kusjuures üks neist ($d\rho^{(1)}(E)$) vastab otsitavale potentsiaalile $V^{(1)}(r)$, teine aga ($d\rho^{(0)}(E)$) mingile teadaolevale potentsiaalile (näiteks meie referentspotentsiaalile $V(r)$), mille spektraalparameetrid $C_n^{(0)}$, $E_n^{(0)}$ ja $\delta^{(0)}(E)$ on samuti teada. Parema puudumisel saab „teadaoleva“ potentsiaalina käsitleda ka nullpotentsiaali $V^{(0)}(r) \equiv 0$, siis $|F^{(0)}(E)| \equiv 1$ ja järelikult $d\rho^{(0)}(E) = d(\frac{2E^{3/2}}{3\pi})$. Regulaarsed lahendid $\varphi(r, E)$ valemis (9) vastavad samuti teadaolevale potentsiaalile.

Oletame, et mingil viisil (näiteks eksperimendiandmetest) on meil õnnestunud kindlaks teha „tegelikud“ energianivood $E_n^{(1)}$ ja vastavad normeerimiskonstandid $C_n^{(1)}$, siis on põhimõtteliselt võimalik kindlaks teha ka „tegelik“ potentsiaal $V^{(1)}(r)$, mis nendele parameetritele vastab. Tehes lihtsustava eelduse $|F^{(1)}(E)| = |F^{(0)}(E)|$, saab Gelfandi-Levitani võrrandi lahendada analüütiliselt ning seos kahe potentsiaali vahel on järgmine:

$$V^{(1)}(r) - V(r) = 2C \frac{d}{dr} K(r, r) = -2C \left\{ \ln \left[\det S^{(2N)}(r) \right] \right\}'' , \quad (11)$$

kus N on seotud seisundite koguarv (eeldame, et see jääb muutumatuks) ja $S^{(2N)}(r)$ on üks suhteliselt keeruka struktuuriga $2N \times 2N$ maatriks, mille kõik elemendid avalduvad teadaolevate suuruste kaudu (vt [9]).

Kirjeldatud lähenemisviis, mille realiseerimiseks polegi tarvis arvutada Josti funktsiooni ega faasinihet, võib tunduda suhteliselt kergesti teostatavana, kuid see ettekujutus on petlik. Tõepoolest, kooskõlas valemitega (9)-(11) tuleb „tegeliku“ potentsiaali kindlakstegemiseks arvutada $2N$ regulaarset lahendit $\varphi(r, E_n^{(0)})$ ja $\varphi(r, E_n^{(1)})$ (**NB!** viimased ei ole omafunktsioonid, kuna parameetrid $E_n^{(1)}$ ei ühti referentspotentsiaali nivooodega) kogu piirkonna $r \in (0, \infty)$ jaoks, mis praktikas osutub äärmiselt keerukaks. Sisuliselt on see ekvivalentne $2N$ abipotentsiaali konstrueerimisega, ehkki esmapilgul näib, et potentsiaal $V^{(1)}(r)$ on valemi (11) abil vahetult leitav. Selles valemis varjatult sisalduvat abipotentsiaalide arvutust võib kujutleda kaheetapilise protseduuri: esimesel etapil „eemaldatakse“ kõik esialgse potentsiaali energianivood, teisel etapil aga sisestatakse uued, „tegelikud“ nivood. Järgmises alapunktis kirjeldatakse põhimõtteliselt teistsugust võimalust esimese etapi läbimiseks ning ka mõneti modifitseeritud varianti teise etapi jaoks.

3 Kreini meetod

Josti funktsioonis sisalduva spektraalinfo taaskasutamiseks on mitmeid võimalusi. Huvitav lahendusskeem seostub niisuguse abipotentsiaaliga $V_0(r)$, mille Josti funktsiooni moodul on täpselt sama mis protseduuri aluseks oleval referentspotentsiaalil ja seega juba arvutatud, kuid millel pole ühtki seotud seisundit. Sellise abipotentsiaali arvutamiseks saab kasutada Gelfandi-Levitani meetodist tunduvalt lihtsamat Kreini meetodit [16], mis baseerub integraalvõrrandil

$$\Gamma_{2r}(r') + H(r') + \int_0^{2r} \Gamma_{2r}(s)H(s - r')ds = 0. \quad (12)$$

Selle võrrandi tuum avaldub järgmiselt:

$$H(r) \equiv \pi^{-1} \int_0^\infty \left[\frac{1}{|F(k)|^2} - 1 \right] \cos(kr) dk. \quad (13)$$

Kui võrrandi (12) lahend on teada, on kergesti leitav ka otsitav abipotentsiaal [6]

$$V_0(r) = 4C \left\{ [G(x)]^2 - \frac{dG(x)}{dx} \right\}, \quad x \equiv 2r, \quad G(x) \equiv \Gamma_{2r}(2r). \quad (14)$$

Kreini võrrand on nn teist tüüpi Fredholmi integraalvõrrand, mis tähendab, et otsitav funktsioon $G(x)$ on esitatav Neumanni reana [17]

$$\begin{aligned} G(x) = & -H(x) + \int_0^x H(x-x_1)H(x_1)dx_1 \\ & - \int_0^x \int_0^x H(x-x_2)H(x_2-x_1)H(x_1)dx_2dx_1 + \dots \\ & + (-1)^n \int_0^x \int_0^x \dots \int_0^x H(x-x_n)H(x_n-x_{n-1}) \dots H(x_1)dx_n dx_{n-1} \dots dx_1 + \dots \end{aligned} \quad (15)$$

Nagu näeme, avaldub $V_0(r)$ Kreini võrrandi tuuma $H(r) = H(-r)$ kaudu, mis omakorda on iseloomuliku spektraalfunktsiooni $g(k) \equiv \frac{1}{|F(k)|^2} - 1$ Fourier' koosinus-kujutis. Võrrandi (12) saab sobiva kvadratuurvalemi abil diskretiseerida, teisendades ta lineaarseks võrrandsüsteemiks. Suhteliselt väikese $x = 2r$ korral saab selle võrrandsüsteemi näiteks Gaussi elimineerimismeetodil kergesti lahendada ja seega ka nivoodeta abipotentsiaali $V_0(r)$ kindlaks teha [7]. Suurematel kaugustel osutub taoline lähenemisviis paraku ebaefektiivseks, ning seda kahel põhjusel. Esiteks kasvab väga kiiresti süsteemi kuuluvate võrrandite arv, sest korrektse tulemuse saamiseks peab integreerimis-samm olema väga väike (Xe_2 jaoks soovitatavalt alla 10^{-6} Å). Teiseks, nagu demonstreerib joonis 4, on $H(r)$ sumbuva amplituudiga kiirelt ostsilleeruv funktsioon. Kauguse kasvades muutub nimetatud amplituud peatselt sedavõrd väikeseks, et tühiseimgi viga funktsiooni $g(k)$ arvutamisel (mida on ülimalt raske vältida) võimendub Fourier' teisenduse kaudu, ning funktsiooni $H(r)$ suhteline viga saab võrreldavaks funktsiooni endaga. Edasised arvutused muutuvad seega sisuliselt mõtte-tuks. Õnneks leidub selle ebaeeldiva perspektiivi vastu ka rohtu, nimelt on võimalik tõestada, et funktsiooni $H(r)$ asümptootiline kuju on

järgmine:

$$H(r) \approx a \exp(-br) \cos(\bar{k}r + \alpha), \quad r \rightarrow \infty, \quad (16)$$

kus a, b, \bar{k} ja α on teatud konstandid, mille väärtuse saab suhteliselt kergesti ja väga täpselt kindlaks teha [9]. Joonise 5 abil võib veenduda, kuivõrd hästi kõnealune asümptootiline lähendus töötab juba sedavõrd tagasihoidlikel kaugustel nagu $r \gtrsim 0,03 \text{ \AA}$. Järelikult, juba sellest piirkonnast alates puudub vajadus üsna tülika (ja antud kontekstis kahjuks ka ebatäpse) Fourier' teisenduse järele.

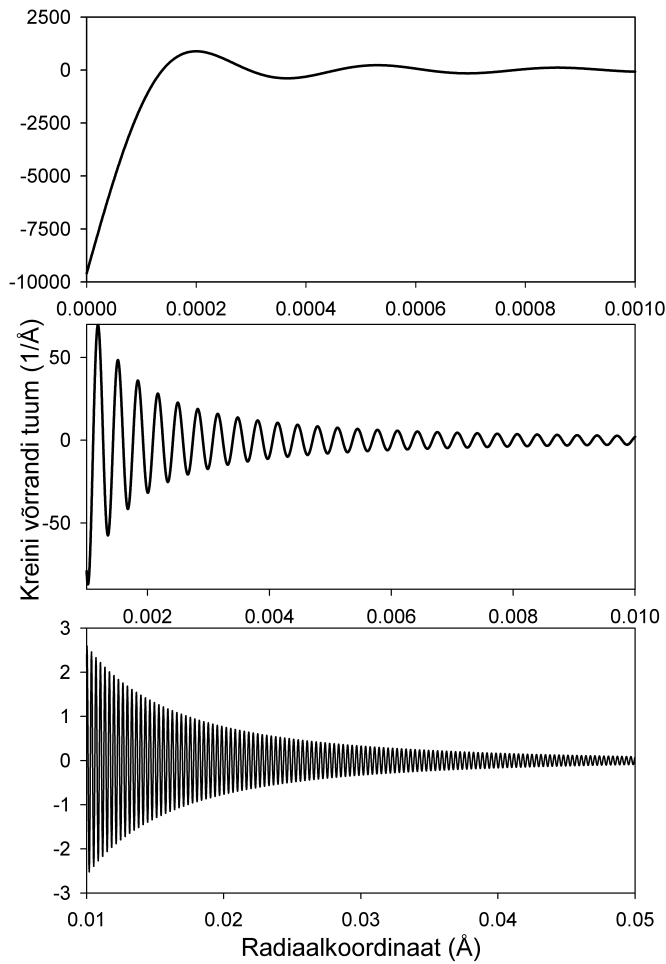
Niisiis, kasutades piirkonnas $x \gtrsim 0,03 \text{ \AA}$ valemit (16) ning arvutades väiksema argumenti korral funktsiooni $H(x)$ vahetult, on Neumann'i rea (15) liikmetele vastavad mitmemõõtmelised integrandid suhteliselt kergesti arvatavad. See annab lootust, et Kreini võrrandi lahend on tõepoolest leitav ka praktilist väärtust omavatel kaugustel, mitte ainult nullpunkti lähistel. Valemi (15) rakendamiseks tuleb arvatavasti appi võtta Monte Carlo meetod, kasutades näiteks Metropolis'e algoritmi [18] (vt ka [19]).

Kuidas konstrueerida süsteemi jaoks uus, täpsem potentsiaal, kui nivoodeta abipotentsiaal $V_0(r)$ oleks teada? Üks võimalus on sisestada kõik uued nivood ühekorraga. Seda protseduuri saab kirjeldada valemi (11) analoogiga, kus referentspotentsiaali rollis on $V_0(r)$ ja $2N \times 2N$ maatriksite asemel figureerivad $N \times N$ maatriksid, kuna pool tööd (kõigi esialgsete nivooe eemaldamine) on Kreini meetodit rakendades juba tehtud. Teine, tõenäoliselt mugavam võimalus on sisestada uued energianivood ükshaaval, alustades abipotentsiaaliga $V_0(r)$ ning arvutades igal sammul uue abipotentsiaali. Selle konstruktsiooni aluseks on valem [8]

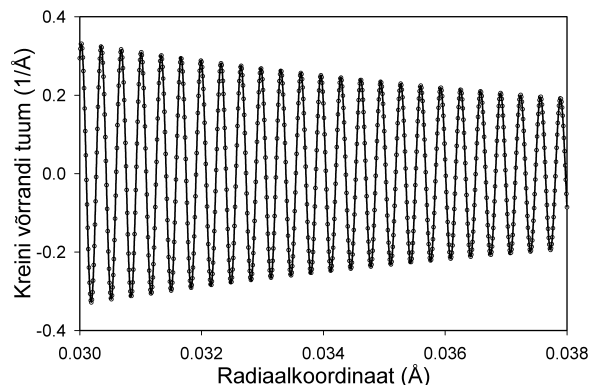
$$V_n(r) = V_{n-1}(r) - 2C \left\{ \ln \left[1 + C_n^{(1)} \int_0^r \varphi_{n-1}^2(s, E_n^{(1)}) ds \right] \right\}'' ,$$

$$(n = 1, 2, \dots, N) \quad (17)$$

kus regulaarne lahend $\varphi_{n-1}(s, E_n^{(1)})$ ei ole tegelik omafunktsioon, kuna ta vastab potentsiaalide parve eelmisele liikmele $V_{n-1}(r)$. Mõningaid teisi võimalusi uute potentsiaalide konstrueerimiseks on analüüsitud artiklis [9].



Joonis 4. Kreini võrrandi tuum $H(r)$, mis on arvutatud valemi (13) alusel. Alused kõverad jätkavad eelmisi. Ostsillatsioonide periood stabiliseerub kiiresti, jõudes väärtuseni $\frac{2\pi}{\bar{k}}$, kus \bar{k} on valemis (16) sisalduv konstant.



Joonis 5. Joonis demonstreerib funktsiooni $H(r)$ jaoks saadud asümptootilise avaldise korrektsust. Ringikestega on kujutatud Fourier' teisenduse abil saadud arvutustulemusi (sama, mis eelmisel joonisel), pidev joon aga vastab valemile (16).

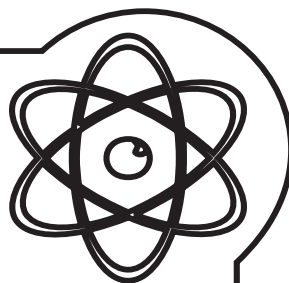
Tänuavaldus

Autor tänab Eesti teadusfondi, kes toetas käesoleva kirjutise aluseks olevat teadustööd grantide nr 5863 ja 5549 kaudu.

Viited

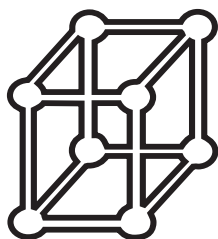
1. Marc Kac, Can one hear the shape of a drum?, American Mathematical Monthly **73**, 1-23 (1966).
2. <http://www.ams.org/featurecolumn/archive/199706.html>.
3. Y. Okada, A. Shudo, S. Tasaki and T. Harayama, 'Can one hear the shape of a drum?': revisited, J. Phys. A: Math. Gen. **38**, L163–L170 (2005).
4. V. Bargmann, Phys. Rev. **75**, 301 (1949); Rev. Mod. Phys. **21**, 488 (1949).
5. N. Levinson, K. Danske Vidensk. Selsk. Mat-fys. Medd. **25**, 9 (1949); Mat. Tidsskr. B **13**, 25 (1949).
6. K. Chadan and P. C. Sabatier, Inverse Problems in Quantum Scattering Theory, 2nd ed. (Springer-Verlag, New York, 1989).
7. M. Selg, arXiv:quant-ph/0506064 v1 (8 Jun 2005).
8. M. Selg, arXiv:quant-ph/0506130 v1 (16 Jun 2005).
9. M. Selg, arXiv:quant-ph/0512118 v2 (3 Jan 2006).

10. Philip M. Morse, Phys. Rev. **34**, 57 (1929).
11. M. Selg, J. Mol. Spectrosc. **220**, 187 (2003).
12. L. D. Landau and E. M. Lifshitz, Quantum Mechanics-Nonrelativistic Theory (Pergamon, 1976).
13. Philip M. Morse and W. P. Allis, Phys. Rev. **44**, 269 (1933).
14. Res Jost and Walter Kohn, Phys. Rev. **87**, 977-992 (1952); Phys. Rev. **88**, 382-385 (1952).
15. I. M. Gel'fand and B. M. Levitan, Izv. Akad. Nauk SSSR. Ser. Mat. **15**, 309 (1951) [Am. Math. Soc. Transl. (ser. 2) **1**, 253 (1955)].
16. M. G. Krein, Dokl. Akad. Nauk SSSR **88**, 405 (1953); **111**, 1167 (1956).
17. <http://mathworld.wolfram.com/IntegralEquationNeumannSeries.html>.
18. N. Metropolis, A. Rosenbluth, A. Rosenbluth, A. Teher, and E. Teher, J. Chem. Phys. **21**, 1087 (1953).
19. William R. Gibbs, Computation in Modern Physics (World Scientific, 1994).



XXXVI
EESTI
FÜÜSIKA-
PÄEVAD

21. ja 22. märts, 2006
Tartus



21.–22. märts 2006. a.
Tartu Ülikooli füüsikahoone suur auditoorium
Tähe 4, Tartu
Teisipäev, 21. märts

Kristjan Haller (HTM)	
Avasõna	10.00
EFS preemiate kätteandmine, laureaadi ettekanne	10.15
Henn Käämbre (TÜ FI)	
Laserkamm ja footonikuhilad	10.50
Peeter Saari (TÜ)	
Eksiarusaamu footonist	11.25–12.05
Robert Kitt, Jaan Kalda (TTÜ)	
Kui palju füüsikat on majandusfüüsikas?	12.30
Edwin Kukk (Turu Ülikool, Soome)	
Molekulide elektron-ioon kointsidents-spektroskoopiast	13.05
Arvo Mere (TTÜ)	
Füüsika riigieksam 2005	13.35–14.10
Stendiettekanded	
Eesti Füüsika Seltsi Üldkogu	15.30
Seltsiõhtu	18.30

Kolmapäev, 22. märts

Ott Krikmann, Jaan Susi (TÜ)	
Projekt „EU TRAIN“. Mis see on ja kellele?	09.30
Enn Pärtel (TÜ)	
Füüsika käsiraamat keelekümluseks	09.45
Sulev Valdmaa (REKK)	
Uus füüsika ainekava	10.00–10.45
Henn Voolaid, Svetlana Ganina, Ott Krikmann, Jaan Susi (TÜ)	
Eesti õpilaste füüsikaliste väärarusaamade stabiilsus	10.55
Mart Kuurme (Tallinna Reaalkool)	
8. klassi füüsikaõpik ja töövihik	11.20–11.35

Nikolai Kristoffel^{a,b}, Pavel Rubin^a, Teet Örd^b (^a TÜ FI, ^b TÜ)	
Kupraatülijuhitide termodünaamilised omadused dopeerimisskaalal	12.30
Erko Jalviste (TÜ FI)	
Polümeerikillesse dopeeritud molekulide elektroneeldumis-spektroskoopiast	13.00
Aleksandr Luštšik (TÜ)	
Termotuumaenergeetikas ja teistes rakendustes oluliste dielektriliste materjalide kiirituskindluse tõstmise väljavaated	13.35–14.05
Arved Sapar (TO)	
Tähespekter tähefüüsika põhiinfoallikana	14.25
Andi Hektor, Mario Kadastik, Kristjan Kannike, Mait Müntel, Martti Raidal (KBFI)	
Neutriinod: kosmoloogiast maiste eksperimentideni	15.00
Laur Järv (TÜ FI)	
Mõtteeeksperimentide rollist füüsikas	15.25
Jaana Pruulmann, Jüri Vedru (TÜ)	
Kontekstist ja eesmärkidest elussüsteemides ehk kuidas termodünaamika aitab maailma paremaks muuta	16.00–16.35

StendiettekanDED

- A. Kärkkänen, T. Avarmaa, R. Jaaniso** (TÜ FI)
Fotodesorptsiooni ilmingud süsiniku nanotorudest valmistatud
kilede elektrijuhtivuses
- A. Floren, I. Kärkkänen, T. Avarmaa, R. Jaaniso** (TÜ FI)
Energia ülekande arvestamine luminesentsi kustutamisel
põhinevate hapnikusensorite materjalides
- T. Kübarsepp, V. Vabson, R. Vendt, A. Pokatilov** (AS Metrosert,
Etaloniteenuste divisjon)
Riigi mõõteinfrastruktuur. Massi, pikkuse, temperatuuri ja
elektriliste suuruste etalonilaborid
- M. Lulla, E. Kundla, A. Samoson** (KBFI)
Kvadrupoolvastasmõjude ja keemilise nihke eristamine TMR
eksperimentis

A. Puusepp, A. Samoson (KBFI)

Dipolaarse vastastikmõju lahtisidestamine pideva raadiosagedusliku väljaga kiiritamise teel

R. Koch (TÜ FI)

„Must liiv“ Eesti mererannas

E. Jakobson, H. Ohvril (TÜ)

Atmosfääri veeaurusisalduse ööpäevane ja sesoonne muutlikkus Soome GPS-jaamade näitel 1998–2001

A. Treštšalov, A. Lissovski (TÜ FI)

Dye Laser Absorption Probing of High-Current Pulsed Volume Discharge in Argon

V. Krasnenko, K. Mauring (TÜ FI)

Fluorestseerivate proteiinide struktuuri dünaamika

R. Stern, I. Heinmaa, A. Kriisa (KBFI)

Kahedimensionaalne vaseühend $\text{Na}_5\text{RbCu}_4(\text{AsO}_4)_4\text{Cl}_2$

K. Kooser, E. Nõmmiste, A. Saar, T. Käämbre, A. Kikas (TÜ FI)

Pinnafüüsika eksperimendiseade TÜ Füüsika Instituudis

A. Krasnikov^a, M. Nikl^b, S. Zazubovich^a (^aTÜ FI, ^bInstitute of Physics, Czech Republic)

Spectroscopy of excitons in lead tungstate crystals

R. Prekup, A. Puusepp, A. Samoson (KBFI)

Tahke keha TMR dünaamilise rotatsiooni tingimustes: rakendustega peptiidide ja valkude struktuurianalüüsis

M.-M. Sildoja^{a,c}, T. Kübarsepp^b, M. Noorma^c, P. Kärhä^c,

A. Lamminpää^c, S. Nevas^c, E. Ikonen^{c,d} (^aTartu Ülikool, ^bAS Metroser, ^cHelsingi Tehnikaülikool, Soome, ^dCentre for Metrology and Accreditation, Soome)

GaAsP-põhise fotodetektori polarisatsioonitundlikkuse uurimine

ETTEKANNETE SISUKOKKUVÕTTED

ENERGIA ÜLEKANDE ARVESTAMINE LUMINESTSENTE KUSTUTAMISEL PÕHINEVATE HAPNIKUSENSORITE MATERJALIDES

A. Floren, I. Kärkkänen, T. Avarmaa, R. Jaaniso (TÜ FI)

Optilised hapnikuandurid põhinevad värvimolekulidega aktiveeritud polümeerkilede luminesentsi kustutamisel molekulaarse hapniku poolt. Kuna need materjalid on reeglina korrapäratu (klaasja) struktuuriga, siis ei ole nende luminesentsi kustutamiskineetika eksponentsiaalne. Kustumise iseloom on veelgi keerukam lisandimolekulidest energiaaktseptorite olemasolul polümeeris, millised näiteks tekiavad paratamatult sensori kasutamise käigus toimuva värvimolekulide fotopleekumise tagajärjel.

Antud töös on tuletatud valemid luminesentsi kustutamise kirjeldamiseks korrapäratu struktuuriga hapnikusensorite materjalides, mis arvestavad ka energia ülekannet tahkes maatriksis paiknevatele liikumatutele aktseptoritele. Seejuures on eeldatud, et hapniku poolt indutseeritud luminesentsi kustumiskiirused on jaotunud lognormaalselt. Eeldus tuleneb asjaolust, et nii on klaasjates polümeeri-ides jaotunud difusioonikoefitsiendid ja luminesentsi kustutamise kiirus on võrdeline hapniku difusioonikoefitsiendiga materjalis. Liikumatu aktseptorite korral on eeldatud Försteri tüüpi (dipool-dipool tüüpi) energia ülekannet. Mudel arvestab ka korrelatsiooni kahte tüüpi energiaülekandest tingitud kustumiskiiruste vahel. Lõplikud tulemused on saadud nii ajalise kustumise kirjeldamiseks kui statsionaarse luminesentsi jaoks (modifitseeritud Sterni-Volmeri seadus).

Saadud mudelit võrreldi erinevate metalloporfüriinidega dopeeritud õhukeste polümeerkilede luminesentsiandmetega. Kasutati Pd-tetrafenüülporfüriiniga (TPP) aktiveeritud polümetüülmetakrülaati ja Pt-TPP-ga aktiveeritud polüvinüülkarbasooli. Uuriti luminesentsi kustumise kineetika muutumist fotopleegitamisel ning näidati, kuidas sensori tundlikkus muutub energia ülekande tõttu lisanditele (fotoproduktidele).

Antud töös uuritud efektide arvestamise praktiliseks väljundiks võib olla sensorite taatlemisintervalli oluline pikendamine.

**NEUTRIINOD: KOSMOLOOGIAST MAISTE EKSPERIMENTIDENI
Andi Hektor, Mario Kadastik, Kristjan Kannike, Mait Müntel, Martti Raidal (KBFI)**

Neutriinod on kahtlemata osakestemaailma ühed veidramad tegelased. Esimene põhjus on loomulikult selles, et neutriinod on meile praktiliselt nähtamatud, interakteerudes meid ümbritseva materiaga vaid läbi nõrga vastasmõju – triljonitest ainet läbivatest neutriinodest neelduvad vaid üksikud. Seega peeti neutriinosid 60.–70. aastatel üsna vähehuvitavateks, kuid teooriaga kenasti kooskõlas olevateks osakes-
teks.

90ndatel aastatel leidis kinnitust asjaolu, et neutriinod omavad nullist erinevat seisumassi. See fakt ei taha kuidagi ära mahtuda tänapäevasesse osakestefüüsika teooriasse nimega Standardmudel. Umbes samal ajal said neutriinod juurde veel ühe olulise rolli. Nimelt väidab supernoovaplahvatuste kaasaegne teooria, et neutriinod omavad seal kriitilist rolli rauast raskemate elementide sünteesil. Selle sajan-
di alguses räägitakse üha enam neutriinode võimalikust rollist aine-
antiaine asümmeetrilise tekkimisel leptogeneesi käigus.

Ettekandes antakse lühiülevaade neutriinouuringute hetkeseisust ja erinevatest mudelitest, kuidas neutriinodele masse tekitada. Lähemalt peatume Higgsi tripleti mudelil ja sellele kinnituse otsimisel ühe maise CERNi eksperimendi, täpsemalt CMS eksperimendi juures.

**ATMOSFÄÄRI VEEAURUSISALDUSE ÖÖPÄEVANE JA SESOONNE
MUUTLIKKUS SOOME GPS-JAAMADE NÄITEL 1998–2001
Erko Jakobson, Hanno Ohvril (TÜ FKKE)**

Atmosfääri veeaurusisalduseks ehk sadestatavaks veeauruks W (*precipitable water*) nimetatakse ühikulise ristlõikega vertikaalses lõpmatus õhusambas olevat veeauru massi (kg m^{-2}), mis arvuliselt on võrdne veeauru veeldatud kihi paksusega (mm). Atmosfääri veeaurusisaldus väljendatuna sadestatava veeauruna on oluline sisendväärtus atmo-
sfääri olekuid ning muutumisi kirjeldavates mudelites, samuti päike-
sekiirguse nõrgenemise ja kaugseire arvutustes.

Veeaur on atmosfääri kõige muutlikum komponent – aastatel 1998–2001 varieerus sadestatava veeauru W väärtus Sodankyläs vahemikus 0,5 mm kuni 39 mm, kasvades näiteks 15. juunil 1998 12 tunni jooksul 11,6 mm-lt 29,5 mm-ni. Maapealne veeaururõhk e_0 varieerus vahemikus 0,1 mb kuni 20 mb.

Antud töös on vaatluse all kolm Soome GPS-jaama – Kevo ($69^{\circ}45'N$, $27^{\circ}00'E$, $z = 136$ m), Sodankylä ($67^{\circ}25'N$, $26^{\circ}23'E$, $z = 300$ m) ja Oulu ($65^{\circ}05'N$, $25^{\circ}54'E$, $z = 89$ m). Kevo ja Sodankylä asuvad põhja pool polaarjoont, Oulu asub Botnia lahe kirdekaldal lähistel.

Sadestatava veeauru W andmed on GPS-mõõtmistest arvatud ajalise resolutsiooniga 5 minutit aastatest 1998–2001. Üldisemaks analüüsiks on andmed keskmistatud resolutsiooniga 1 tund, et siluda juhuslikke fluktuatsioone ja vähendada töödeldava andmebaasi mahutu. Maapealsete ilmaparameetrite andmed on ajalise resolutsiooniga 3 tundi.

Antud töös on toodud sadestatava veeauru W ja maapealse veeaururõhu e_0 sesoonsed ja ööpäevased käigud ja analüüsitakse nende omavahelist varieeruvust. Töö eesmärk on leida seoseid ning püstitada hüpoteese, mida kontrollida, kasutades pikemaid aegridasid suuremast piirkonnast.

POLÜMEERKILESSA DOPEERITUD MOLEKULIDE ELEKTRONEELDUMIS-SPEKTROSKOOPIAST

Erko Jalviste (TÜ FI)

Elektroneeldumis- (EN-) ehk Starki efekti spektroskoopia on meetod, kus mõõdetakse tugeva välise elektrivälja (~ 1 MV/cm) poolt tekitatud katseobjekti neeldumise väikese muudu ($\sim 0,001$ osa neeldumisest) sõltuvust neelduva valguse lainepikkusest. Katseobjekt võib olla kas puhas või uuritavate lisandmolekulidega dopeeritud polümeerkile, vedelik või kristall. Kõige laialtkasutatavam on meetod, mille korral uuritakse polümetüülmetakrülaati (PMMA, pleksiklaasi) kilesse dopeeritud molekule, mille singlett-singlett neeldumisribad on nähtavas ja ultraviolettpiirkonnas. Vurrkatmise teel kvartsklaasist plaadikese pinnale tekitatud PMMA kile paksus on tüüpiliselt 500 nm suurusjärgus. Seega 1 MV/cm elektrivälja saamiseks piisab juba 50 V pingest. Alumiseks elektroodiks on läbipaistev elektrit juhtiv indiumtina-oksiidi kile ning ülemiseks elektroodiks on vaakumsadestatunud

õhuke läbipaistev alumiiniumkile. Uuritavate molekulidega dopeeritud PMMA kile saamiseks kasutatakse vurrkatmiseks uuritava aine ja PMMA lahust benseenis. Monokromaatorit, polarisatsiooniprismat ja katseobjekti läbinud valguse intensiivsuse väikese muutuse mõõtmiseks kasutatakse sünkroondetekteerimist, kus kilele rakendatakse madalsageduslik (näiteks 40 Hz) vahelduvpinge ning registreeritakse läbitulnud valguse signaali vahelduvkomponent. Kuna EN-spektri kuju sõltub oluliselt neelduva valguse polarisatsiooni suuna ja rakendatud elektrivälja suuna vahelisest nurgast, tuleb teha mitu EN-spektri mõõtmist muutes katseplaadikese nurka polariseeritud valguskimbu suhtes.

Teooria vedelikus lahustatud polaarsete lisandmolekulide singlett-singlett-ülemineku spektri muutuse kirjeldamiseks staatilises elektriväljas on loodud eelmise sajandi kuuekümnendatel aastatel Liptay ja Czekalla poolt. On näidatud, et neeldumine muutub nii neeldumisriba nihkumise tõttu (lineaarne Starki efekt ning Starki ruutefekt) kui ka polaarsete molekulide ümberorienteerumise tõttu elektrivälja suunas. Arvestades neid efekte on tuletatud valemid, mis seovad EN-spektri kuju neeldumisspektri kujuga: elektroneeldumisspekter avaldub lineaarse kombinatsioonina neeldumisspektri nullindast, esimesest ja teisest tuletisest. Neeldumisspektrist tuletatud EN-spektri sobituse teel mõõdetud EN-spektriga on võimalik määrata näiteks uuritavate molekulide ergastatud elektronseisundi ja põhielektronseisundi polariseeritavuste ning diipolmomentide erinevust.

Ettekandes käsitletakse indooliga (polaarne molekul diipolmomentiga 2,1 D) dopeeritud PMMA kile saamist, indooli neeldumis- ja EN-spektrite mõõtmist ning nende analüüsi. Indooli toatemperatuursete spektrite interpretatsiooni muudab keeruliseks tema kolm erineva diipolmomenti suunaga ja ostillaatori jõuga elektronüleminekut, millele vastavad ultraviolettpiirkonna spektrid osaliselt kattuvad. Kuna toatemperatuursete PMMA kiles ei ole molekulid täielikult fikseeritud, avalduvad EN-spektris ka orientatsioonist tingitud efektid.

Kuigi EN-meetod on loodud eelmise sajandi kuuekümnendate aastate spektroskoopilise tehnika baasil, on tal arengupotentsiaali ka tänapäeval, eeskätt keeruliste orgaaniliste molekulide, biomolekulide, molekulklastrite ja nanomaterjalide omaduste uurimiseks. Tänapäevaseks edasiarenduseks on näiteks EN ja elektrofluorestsentsi ajalise käigu mõõtmised pikosekundilise aeglahutusega.

Ettekandja arvates on EN-metoodikal märkimisväärne didaktiline potentsiaal praktikumitööna. See annab üliõpilastele nii praktilise kogemuse (lahuste ettevalmistamine vurrkatmiseks, vaakumtehnik, spektraalriistad ja nende kasutamine, sünkroondetekterimise põhimõte, fittinguprogramm andmetöötluses) kui ka ettekujutuse EN-teooriast ja seal kasutatavatest mõistetest (polariseeritavus, tasakaaluline jaotusfunktsioon nurkade järgi, diipolite ansambli orienteerumine/joondumine elektriväljas, Starki nihe ja selle sõltuvus molekuli orientatsioonist, maagiline nurk, üle ansambli keskmistamine jne).

1. G. U. Bublitz, S. G. Boxer, *Annu. Rev. Phys. Chem.* 48 (1997) 213
2. E. Jalviste, N. Ohta, *J. Chem. Phys.* 121 (2004) 4730

MÕTTEEKSPERIMENTIDE ROLLIST FÜÜSIKAS

Laur Järv (TÜ FI)

Mõttelised eksperimendid (*Gedankenexperiment*) on füüsika arengu murrangulistel etappidel mänginud tähelepanuväärset rolli, seostudes nimedega nagu Galilei, Einstein, Bohr jpt. Kas ja kuidas on võimalik, et kujutlusvõime, ilma uute empiiriliste andmeteta, võib viia uute teadmiseni? Millistel tingimustel võib mõtteeksperimendi „tulemusi“ lugeda usaldusväärseiks ning mil määral võiksid kujuteldavad katsed asendada tegelikke vaatlusi ja mõõtmisi? Peatudes paaril illustratiivsel mõttelise eksperimendi ajaloolisel näitel tutvustatakse ettekandes Ernst Machi, Karl Popperi, Thomas Kuhni jt teadusfilosoofide vastuseid neile küsimustele.

„MUST LIIV“ EESTI MERERANNAS

Rein Koch (TÜ FI)

„Must liiv“ kujutab endast rannaliiva peent fraktsiooni, mille terade läbimõõt on umbes 100–200 μm . See liivafraktsioon on raskem tavalisest rannaliivast. „Musta liiva“ terad sisaldavad tavalistest eesti rannaliivadest mitmeid kordi enam tooriumi ja uraani. Töös on gamma-spektroskoopia abil analüüsitud mitmest kohast Eesti randades kogutud erineva teraläbimõõduga liivaproove.

FLUORESTSEERUVATE PROTEIINIDE STRUKTUURI DÜNAAMIKA

Veera Krasnenko, Koit Muring (TÜ FI)

Fluorestseeruvate proteiinide molekulaarmehhaanika arvutustest selgub, et muteeritud kromofoori vesiniksidemete tõenäosus korreleerub fluorestsentsi kvantsaagisega. Sellise korrelatsiooni olemasolu tõendab, et fluorestseeruvates proteiinides toimub ergastamisel fotoisomerisatsioon, mis kustutab luminestsentsi. Vesiniksidemetega konformatsioonides puudub võimalus isomerisatsiooniks (väändedeformatsioonide tekkimiseks).

SPECTROSCOPY OF EXCITONS IN LEAD TUNGSTATE CRYSTALS

Aleksei Krasnikov^a, Martin Nikl^b, Svetlana Zazubovich^a (^aTÜ FI, ^bInstitute of Physics AS CR)

Luminescence characteristics of lead tungstate crystals were studied in the 4.2–300 K temperature range. Optical creation of defect in these crystals at 80–220 K under irradiation in the exciton and defect-related absorption regions (3.4–5.0 eV) was detected by the thermally stimulated luminescence method. For the first time, various localized exciton states were identified and their decay into stable defects was found. It was shown that the disintegration of various exciton states results also in thermal quenching of the blue emission.

PROJEKT „EU TRAIN“. MIS SEE ON JA KELLELE?

Ott Krikmann, Jaan Susi (TÜ)

EU TRAIN (*European Training for student teachers in science*), kood: 226518-CP-1-2005-1-FI-COMENIUS-C21. See on kinnitatud ja heakskiidu saanud EU-projekt, mis puudutab üliõpilasi, kes õpivad Tartu Ülikoolis füüsika või keemia õpetajaks. Rõhuasetus on üliõpilastel, kes soovivad saada füüsika õpetajateks.

Projekti raames luuakse õppekava, mis peaks arvestama projektis osalevate maade õpetajakoolituse eripärasid. Projekt näeb ette üliõpilaste viibimist mõnes partnermaas, mille eesmärgiks on saada konkreetne koolikogemus praktika näol. Praktika pikkuseks on orienteeruvalt 1 kuu. Projektis osalevad Soome (Helsinki Ülikool ja Jyväskylä Ülikool), Poola (Toruni Ülikool), Bulgaaria (Plovdivi Ülikool) ja Eesti (Tartu Ülikool). On planeeritud, et Eestist lähevad 2008. aasta kevadel 2 üliõpilast Bulgaariasse ja 2 üliõpilast Jyväskylä Ülikooli praktikale.

Projekti käigus filtreeritakse välja ühised jooned projektis osalejate ülikoolide õpetajate koolitusprogrammides ning üritatakse koostada selline, mis innustaks õpetajakoolitust saavate üliõpilaste mobiilsust EU-s. Projekti käigus saadud kogemus ilmub nii internetileheküljel kui ka projekti lõppedes eraldi brošüürina.

Igal osalejamaal on spetsiifiline osa projektis. Eesti osapoolel on spetsiaalne ülesanne – anda hinnang projektile. Miia Rannikmäe (TÜ loodusteaduste didaktika lektoraat) osaleb projekti välishindajana. Jaan Susi (projekti esindaja Eestis) ja Ott Krikmann (TÜ füüsikaosakonna esindaja) annavad projektile hinnangu projektisiseseelt.

KUPRAATÜLIJUHTIDE TERMODÜNAAMILISED OMADUSED DOPEERIMISSKAALAL

Nikolai Kristoffel^{a,b}, Pavel Rubin^a ja Teet Örd^b (^aTÜ FI, ^bTÜ FKTF)

Käsitletakse kupraatülijuhtide omadusi dopeeringuga reorganiseeritud elektron-spektriga mudelis. Eeldatakse paariülekanedega paardumiskanali toimimist auke kandva defekt-süsteemi ja põhiaine tsooni vahel. Normaalseisundi dopeerimisega sulguvad pilud nende alam-süsteemide vahel on pseudopilude allikaks. Viimased osutuvad ülijuhtivuspilude eelkäijaks dopeerimis-, kuid mitte energeetilisel skaalal. Selginevad erinevate spektraalpilude avaldused faasidiagrammil.

Peamist tähelepanu osutatakse termodünaamiliste karakteristikute käitumisele dopeerimisega. Ülijuhtiva kondensaadi tihedus järgib siirde temperatuuri käiku. Sama kehtib kriitiliste magnetväljade kohta. Arvutatud koherentspikkuse (paaride läbimõõt) sõltuvus on vastupidine siirde temperatuurile ja osutab paardumistugevuse ja faasikoherentsuse kooskõlasele arengule vastavuses uuemate katseandmetega. Esmakordselt leiti teoreetiliselt paardunud laengukandjate efektiivse massi sõltuvus kogu dopeerimisskaalal. Efektiivse massi kahanemine aeglustub väljumisel oluliselt aladopeeritud piirkonnast. See kahanemise tendents peegeldab jälgitud suundumust tavalisele fermivedelikulisele käitumisele optimaalse dopeeringu ületamisel. Magnetvälja ja sisenemissügavuse pöördväärtuse sõltuvuses domineerib ülijuhtiva kondensaadi tiheduse käitumine efektiivse massi üle.

Nähtavasti tekitab kõrgetemperatuurse ülijuhtivuseni jõudmiseks vajalik dopeerimismenetlus mitte ainult kupraatide metalliseerumise, vaid valmistab ette kogu ülijuhtivuse füüsikalise tausta koos

tsoonidevahelise paardumiskanali avanemisega. Komponenttsoonide kattumisdünaamika osutub kriitiliste kontsentratsioonide allikaks faasidiagrammil.

Vaatamata tugevatele lihtsustustele edastab arendatud mudel kupraatülijuhtide karakteristikute käitumise dopeerimisel kvalitatiivses kooskõlas katseandmetega.

1. N. Kristoffel, P. Rubin, *Physica C* 402, 257, 2004.
2. N. Kristoffel, P. Rubin, *Proc. Est. Acad. Sci. Phys. Math.* 54, 98, 2005.
3. N. Kristoffel, P. Rubin, *J. Supercond.*, 2005.
4. N. Kristoffel, T. Örd, P. Rubin, *Physica C*, May, 2006.

FOTODESORPTSIOONI ILMINGUD SÜSINIKU NANOTORUDEST VALMISTATUD KILEDE ELEKTRIJUHTIVUSES A. Kärkkänen, T. Avarmaa, R. Jaaniso (TÜ FI)

Süsiniku nanotorudest valmistatud kiled on suure eripinna tõttu võimalised neelama arvestatavaid koguseid nii gaasilisi kui vedelaid aineid. See omadus annab võimaluse üliminiatuursete sensorite loomiseks, millised suudavad detekteerida väikesi lisandikoguseid keskkonnas. Samas on seoses (ultra)violetsete valgusdiodide ilmumisega viimastel aastatel tekkinud uued võimalused fotodesorptsiooni kasutamiseks sensorites, mille tulemusena võiks suureneda nende selektiivsus või mis võiks asendada traditsioonilisi termilisi sorbeeritud pindade puhastamise meetodeid.

Antud töös uuriti eksperimentaalselt fotoindutseeritud muutusi üheseinaliste süsiniku nanotorude baasil valmistatud kilede elektrijuhtivuses erinevates gaasides (õhk, veeaur, hapnik, lämmastik, argoon jt), nende segudes ning vaakumis.

Katsetulemuste alusel näidati, et polaarsete molekulide (H_2O , NH_3 , etanool, atsetoon) adsorptsioon tekitab nanotoru-kilede kiire (ajateguriga ~ 10 s) takistuse kasvu ning et see protsess on pöörduv. Samal ajal jäi kuivas õhus hoitavate nanotoru-kilede takistus praktiliselt muutumatuks mittepolaarsete (O_2 , N_2 , Ar) või vähepolaarsete (CO) molekulide suhtes.

Valgustamine violetse valgusega (365 või 405 nm) atmosfääriõhus viis algal nanotoru-kile juhtivuse järsule vähenemisele ja seejärel aeglasemale suurenemisele (ajateguriga 1–10 h). Valgustamisel vaakumis

toimus ainult nanotoru-kilede juhtivuse vähenemine. Võrreldes süstemaatilisel reaktioone valgustamisele erinevates gaasides ja vaakumis, näidati katseandmetele tuginedes üheselt, et juhtivuse vähenemine on tingitud hapniku fotodesorptsioonist ning juhtivuse suurenemine vee fotodesorptsioonist. Kui kiireid ja pöörduvaid juhtivuse muutusi polaarsete molekulide korral seletati füüsikalise adsorptsiooniga nanotorude pinnal, siis pikaajalisi fotoprotsesse (ning neile järgnenud pöördprotsesse) seostati nanotorude defektidel või nanotorude vahelistel kontaktpindadel adsorbeerunud molekulidega. Võrdluskatsed kuivas ja niiskes argoonis ning hapnikus viitasid ka hapniku ja vee sorptsiooni osalisele seotusele.

LASERKAMM JA FOOTONIKUHIILAD

Henn Käämbre (TÜ FI)

Ettekandes püütakse anda üldarusaadav ülevaade 2005. aasta Nobeli füüsikaauhinna saanud töödest: John Halli ja Theodor Hänschi loodud meetodist valguse sageduse ülitäppismääramiseks ja selle rakendustest ning Roy Glauberi arendatud valguse koherentsusilmingute kvantoptilisest teooriast.

RIIGI MÕÕTEINFRASTRUKTUUR. MASSI, PIKKUSE, TEMPERATUURI JA ELEKTRILISTE SUURUSTE ETALONILABORID

Toomas Kübarsepp, Viktor Vabson, Riho Vendt, Andrei Pokatilov

(AS Metrosert, Etaloniteenuste divisjon)

Metroloogia annab suure panuse nii füüsikalistesse alusuuringutesse kui ka nende rakendamisse ühiskonna argiellu. Etaloni-, mõõte- ja katselaborid täidavad sageli varjujäävat, kuid väga tähtsat osa moodsa ühiskonna majandust toetavas infrastruktuuris, mille efektiivne toimimine on väga oluline tööstuse, uurimis- ja arendustegevuse, kaubanduse, tervishoiu ja keskkonnakaitse seisukohalt. See mõjutab riigi konkurentsivõimet, tehnoloogilist suutlikkust ning elukeskkonna turvalisust ja inimsõbralikkust. Tõhusa mõõteinfrastruktuuri tagamine on ja jääb iga arenemispüüdega riigi ülesandeks.

Olulisel kohal on riigi mõõteetalonide väljaarendamine ja säilitamine majandusele tarvilikus mahus, et kindlustada pakutavate mõõteteenuste rahvusvaheline ekvivalentsus ja teha need kasutajatele hõlpsasti kättesaadavaks. Riigi mõõteetalonid kindlustavad

usaldusväärsetl mõõtmiste rahvusvahelise seostatuse, realiseerides ja esitades suurust skaalad, hinnates ning parendades mõõtemääramatusi tarvilikus mõõtepiirkonnas.

Eestis kinnitati esimesed riigi mõõteetalonid ametlikult 2001. a, nendeks olid massietalon ja pikkuseetalon, 2005. a järgnes temperatuurietalon ja 2006. a algul alalispinge ja takistuse etalon.

- Riigi massietalonilabori koosseisu kuulub kolm automaatset kaalkomparaatorit ja neli kaalu, üle saja tipptasemel vihi ja hulk täiendavaid mõõtevahendeid. Etalon on ette nähtud vihi füüsikalise ja/või leppelise massi määramiseks piirkonnas 1 mg kuni 50 kg väikseima suhtelise laiendmääramatusega 10^{-7} . Füüsikalise massi kalibreerimisel tarvilikku ruumala saab määrata vihtide korral 1 g kuni 2 kg suhtelise määramatusega kuni 10^{-4} . Kõige täpsemate massimõõtmiste kindlustamiseks on võimalik vihtide 1 g kuni 50 kg magnetiliste omaduste katsetamine.
- Riigi pikkuseetalonilabori käsutuses on kaks pikkusekomparaatorit ning neli interferomeetriliselt kalibreeritud terasest otsmõõtude komplekti ja erikomplekt komparaatorite kontrolliks. Komparaatorite lahutus on 10 nm ning laiendmääramatus 100 mm otsmõõdu kalibreerimisel on väiksem kui 0,1 μm ning 500 mm korral alla 1,2 μm . Arendusena on käsil laserinterferomeetri rakendamine pikkustel kuni 20 m määramatusega alla 0,1 mm.
- Riigi temperatuurietalonilabor põhineb etalonplatinatakiistus-termomeetrite grupil, mis on kalibreeritud rahvusvahelise temperatuuriskaala ITS-90 kinnispunktide järgi teiste maade riigietalonilaborites. Etalontermomeetrite stabiilsust jälgitakse ITS-90 tähtsaima kinnispunkti – vee kolmikpunkti abil (0,01°C). Temperatuurietalon võimaldab erinevat tüüpi termomeetrite ja termoandurite kalibreerimist võrdlusmeetodil temperatuurivahemikus (–40...+200)°C mõõtemääramatusega alla 10 mK.
- Riigi pinge ning takistuse etalonilaboris on kuus Zener-tüüpi etalonpingeallikat voldi esitamiseks. Iga ploki väljundpinged on 1 V, 1,018 V, 10 V suhtelisel määramatusel $(1...20) \cdot 10^{-6}$. Nelja samasugust pingeallikat kasutatakse voldi „maaletoomiseks“ – neid kalibreeritakse Soomes Josephsoni efektil põhineva etaloni alusel. Takistuseetaloni koosseisu kuulub grupp täppistakisteid nimiväärtustega 1 m Ω kuni 10 k Ω , mis asuvad väga stabiilses

termostaadis (temperatuur muutub $\pm 0,01$ K piires). Etalontakistid on kalibreeritud kvant-Halli efekti esitava etaloni alusel Soomes. Takistite omavaheline võrdlus ning kliendile kalibreerimine toimub alalisvoolu silla abil suhtelise määramatusega $(1...5) \cdot 10^{-6}$.

Riigietalonide mõõtevõime arendamise ning säilitamise seisukohalt on väga oluline osalemine rahvusvahelises koostöös. Sellega seondub otseselt etaloni ja selle mõõteteenuste ekvivalentsuse demonstreerimine kooskõlas asjakohaste rahvusvaheliste lepete ja Eesti rahvusvaheliste kohustustega. Etaloni baasil toimub klientide mõõtevahendite kalibreerimine, kuid see ei ole sugugi ainus ja kõige olulisem väljund. Etalonidega töötavate spetsialistide kompetentsi saab kasutada mõõtejuhendite ja -soovituste väljatöötamisel, võrdlusmõõtmiste korraldamisel Eestis, laborite tehnilisel hindamisel, konsultatsiooniks ja täiendõppeks. Tarvilikku kompetentsi on väga raske ning kallis saavutada või asendada teisel viisil kui järjepideva tööga.

KVADRUPOOLVASTASMÕJUDE JA KEEMILISE NIHKE ERISTAMINE TMR EKSPERIMENDIS

Marina Lulla, Enn Kundla, Ago Samoson (KBFI)

Käesolevas töös uuriti kvadrupoolmomendiga, spinn-kvantarvuga $I=3/2$ Na^{23} tuuma kasutades vastasmõjude mõõtmiseks tuuma magnet-resonants-(TMR) spektroskoopiat. Eksperimendi uurimisobjekt – $\text{Na}_5\text{RbCu}_4(\text{AsO}_4)_4\text{Cl}_2$ pulber – pannakse kiiresti, sagedustel 30 kHz, pöörlema ümber telje, mis moodustab välise magnetväljaga nurga 54,7 (nn. maagiline nurk) või 70,1. Need nurgad kõrvaldavad spektrist vastavalt teist või neljandat järku Legendre'i polünoomidega kirjelduvad vastasmõjud, mis annab võimaluse eristada elektrilise kvadrupoolvastasmõju ja keemilise nihke anisotroopia mõju. Kasutasime erinevaid magnetvälju (4,7 T, 8,4 T ja 14,1 T), et muuta kvadrupool- ja magnetnähtuste suhtelist suurust. Saadud parameetrid võimaldavad paremini mõista *spin-gap*-materjalide olemust.

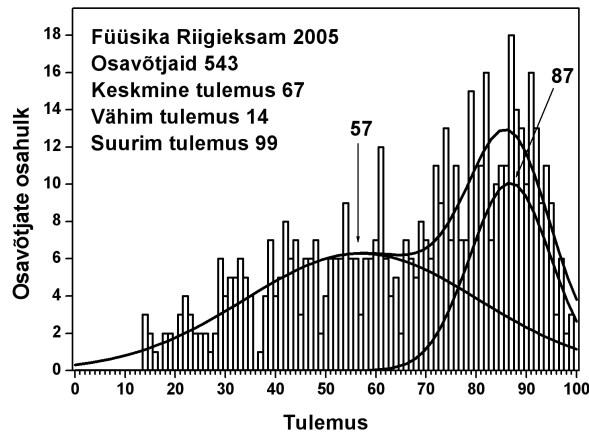
**TERMOTUUMAENERGEETIKAS JA TEISTES RAKENDUSTES
OLULISTE DIELEKTRILISTE MATERJALIDE KIIRITUSKINDLUSE
TÖSTMISE VÄLJAVAATED****Aleksandr Luštšik (TÜ FKMF ja TÜ FI)**

Olukorras, kus Euroopa on ammandamas oma looduslike energiaressursse, suunavad paljud teadlased maailmas oma jõupingutused termotuumaenergeetika (TTE) probleemide lahendamisse. TTE põhineb kergete tuumade (deuteerium + triitium) ühinemisel ülikõrgetel temperatuuridel ja tema eeliseks on peale kütuse (triitiumi) laiendatud taastootmise ka ökoloogiline kahjutus (ei eraldu CO₂ ja teisi kahjulikke gaase) ning ohutus terroriaktide suhtes. Tõsiseks takistuseks TTE teel on konstruktsioonimaterjalide – metalliliste, aga ka dielektriliste – mitteküllaldane kiirituskindlus. Kiirituskindlus on oluline mitte ainult materjalide kasutamisel TTE's, vaid ka paljudes olmetehnika seadmetes (näiteks lamekuvarites, laseriakendes jt).

Laia keelutsooniga ($E_g > 6$ eV) kristallides tekivad Frenkeli defektid (FD) mitte ainult pörkemehhanismi teel (nagu metallides), vaid ka kiiritamisel tekitatud elektronergastuste lagunemisel ning elektronide (e) ja aukude (h) rekombineerumisel. Uuriti defektitekke mehhanismi kristallide ja keraamikate (LiF, SiO₂, MgO, Li₄SiO₄, BaMgAl₁₀O₁₇ jt) kiiritamisel selektiivse VUV kiirgusega (7–70 eV footonid), elektronimpudega (1–300 keV) või ⁸⁴Kr, ¹⁹⁷Au, ²³⁸U jne ioonidega (energiad MeV ja GeV piirkonnas). Eraldati defektitekke eksiton- ja e–h-mehhanismid erinevatel elektronergastuste tihedustel. Kiirituskindlate metallioksiidide puhul on Frenkeli defektide tekkeenergia $E_{FD} > E_g$, mis välis- tab defektide tekitamist relakseerunud („külmade“) elektronide ja aukude rekombineerumisel. Samal ajal elektronide ja aukude „kuumal“ rekombineerumisel (mille efektiivsus on eriti kõrge suurte ergastus- tihedustel) eralduv energia juba ületab E_{FD} . Oleme asunud kuuma rekombineerumise ja teiste defektitekke mittelöökmechhanismide toime vähendamise võimaluste väljaselgitamisele. Defektitekke üheks allasurumise teeks oleks materjalide sihipärane legerimine luminestseerivate lisanditega, mis seoksid ja väljutaksid osa kuumade laengukandjate energiast enne nende rekombineerumist.

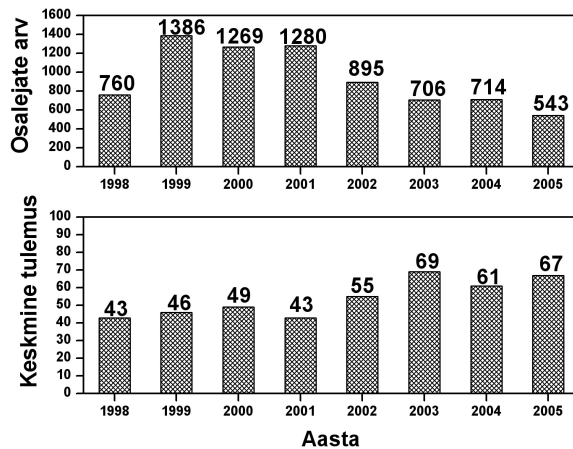
FÜÜSIKA RIIGIEKSAM 2005
Arvo Mere (TTÜ)

Füüsika riigieksami ajalugu algas 1998. aastal ja tänaseks on toimunud kaheksa riigieksamit. Füüsika riigieksam on olnud alati valikeksamina ja seetõttu ei saa uhkeldada suure osavõtjate arvuga. Eksamitöö on olnud ühesuguse ülesehitusega igal aastal, koosnedes kolmest osast: I osa – valikvastustega küsimused 20% (10 küsimust, igaüks 2 õiget valikut seitsmest), II osa – reprodutseerimistasemel küsimused 30% (10 küsimust, igaüks 3 punkti), III osa – tekstülesanded 50% (5 ülesannet 6, 8, 10, 12, 14 punkti). Kogu eksamitöö on konstrueeritud ühepunktiliste sammudena, millele vastab ka kontrollimisjuhend. Eksamitööle vastamiseks on abiturientidel aega 180 minutit. Igal aastal koostatakse kaks võrdväärset eksamitööd eesti ja vene keeles, millest üks on kasutusel põhieksamil ja teine lisaeksamil. Riigieksami stabiilsus on selle koostamise üks põhimõtetest. 2005. aastal valmistasid eksamitööd ette: allakirjutanu, Ülo Ugaste, Henn Voolaid, Alina Braziulene, Elmu Mägi, Madis Reemann, Lilian Tambek.



2005. aastal oli osavõtjate arv kogu ajaloo jooksul kõige väiksem, 543 abiturienti. Joonistel on toodud 2005. aasta füüsika riigieksami histogramm koos mõnede statistiliste näitajatega ja füüsika riigieksamist osavõtt ja keskmised tulemused aastate lõikes. Histogrammilt on näha, et eksamil on osalenud kaks erineva ettevalmistustasemega

gruppi vastavate keskmiste tulemustega 57 ja 87 punkti. Võib öelda, et tugevama grupi moodustavad abiturientid reaalkallakuga koolidest ja nõrgema grupi abiturientid koolidest, kus füüsikat õpetatakse ainult kaks tundi nädalas. Ülesannete sisuline analüüs pole käesoleva kirjatüki eesmärk, aga ülesannete lahendamisoskus on alati olnud eksami vastuste nõrgem pool. 2005. aasta polnud erand. Tavaliselt hinnatakse eksamitöö tegijaid selle järgi, kui palju on esitatud apellatsioone. 2005. aastal esitati ainult üks apellatsioon, mida eksperdid ei rahuldanud.



Füüsika riigieksami minimaalseks arvestatavaks tulemuseks on kehtestatud 20 punkti, mis pole just eriti kõrge tulemus. Hea seegi. Kehvem on asjaolu, et füüsika riigieksam ei täida oma esialgset eesmärki, olla samaaegselt ülikoolide vastuvõtueksamiks. Ülikoolid on teinud kõik, et füüsika poleks sissesaamisel takistuseks. Niiviisi on õpilastelt gümnaasiumis õppimise ajal võetud üks väga tugev õppimismotiiv. Ka õpetaja edukas töö on pärsitud. Lisaks avastab ülikooli õp-pima asunud noor inimene, et ilma pingutamisetä gümnaasiumis pole võimalik ülikoolis edukalt hakkama saada.

Loomulikult on abiturientide hulgas ka õppimishimulisi ja ma usun, et õpetajate sümpaatia kuulub nendele. Need visad inimesed ongi need, kellele me võlgne me teaduse ja tehnika arengu jätkusuut-likkuse Eestis ja mujalgi.

**TAHKE KEHA TMR DÜNAAMILISE ROTATSIOONI TINGIMUSTES:
RAKENDUSTEGA PEPTIIDIDE JA VALKUDE
STRUKTUURIANALÜÜSIS**

Radu Prekup, Allan Puusepp, Ago Samoson (KBFI)

Tuumamagnetresonants (TMR) on universaalne meetod aine atomaarse struktuuri ning selles toimuva dünaamika analüüsiks. See mõõtmismeetod kasutab ära spinniga aatomituumade interaktsiooni neid ümbritsevate magnetväljadega ja sellest tulenevat Zeemani efekti. Tahke keha TMR-is kasutatakse mõõteproovi pööritamist maagilise nurga all (MAS) selleks, et kontrollida ja vähendada aatomituumade vahelisi interaktsioone, võimaldades suuremat spektraalset resolutsiooni ning lihtsustades saadud TMR spektreid.

Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudis ehitatavad unikaalsed mõõtepead võimaldavad suure kiirendusega muuta mõõteproovi rotatsioonikiirust (üle 1 MHz/s), nn. dünaamiline rotatsioon ehk rotatsioonilaotus. Sel viisil saame minna maagilise nurga all pööritates adiabaatiliselt üle rotatsiooni resonantsi, mis taastab aatomituumade vahelise diipol-diipol-interaktsiooni. Samuti saame osa eksperimendist teha ühel rotatsioonisagedusel ning näiteks teise osa eelmisest erineval sagedusel. Neid kahte dünaamilise rotatsiooni omadust saab kasutada uudsete eksperimentide konstrueerimisel.

Antud ettekandes on esimest korda esitatud eksperiment, kus kasutades dünaamilist rotatsiooni korreleeritakse staatiline spekter MAS spektriga. Teiseks, analüüsitakse numbriliselt 2D polarisatsiooni vahetuse eksperimendis toimuvat polarisatsiooniülekanne mudelpeptiidis ning võrreldakse numbriliste arvutuste tulemusi eksperimentaalsete andmetega.

**KONTEKSTIST JA EESMÄRKIDEST ELUSSÜSTEEMIDES EHK
KUIDAS TERMODÜNAAMIKA AITAB MAAILMA PAREMAKS
MUUTA**

Jaan Pruulmann, Jüri Vedru (TÜ)

Elussüsteem on keerukas termodünaamiliselt tugevalt mittetasakaaluline süsteem, mis toodab lokaalset negentroopiat süsteemi läbivatest energia-, aine- ja informatsioonivoogudest, viimaseid komplekselt, koos oma sisemiste varudega töödeldes. Sellega toime tulemiseks evib elussüsteem sisemist infotöötlus- ja juhtimissüsteemi.

Küberneetilise juhtimissüsteemi oluliseks atribuudiks on juhtimise eesmärk. Esitades küsimuse juhtimise eesmärgist elussüsteemides, kuuleme tihti vastust, et selleks on enesesäilitamine.

Meie analüüs näitab, et informatsiooni ja juhtimise käsitlemiseks elussüsteemis tuleb sisse tuua konteksti mõiste (informatsioon kui kontekstis interpreteeritud andmed). Süsteemi eesmärkide analüüsiks vajame veel väärtuse mõistet. Väärtushinnang on kontekstsõltuv (sama asi/nähtus/seos omab erinevates kontekstides erinevat väärtust). Elussüsteemi olekuruumi mõiste abil formuleerime „elu mõtte valemi“ või „õnne avaldise“. Vahejärelusena saame väite, et elussüsteemidel puuduvad kontekstivälised (s.o absoluutsed) eesmärgid. Seega väide, nagu oleks enesesäilitamine igal juhul elussüsteemi eesmärgiks, on väär. Edasi analüüsime erinevate elussüsteemide omavahelisi suhteid ja klassifitseerime neid. Näitame, et ühte elussüsteemi ei saa analüüsiks „puhtalt“ teistest abstraherida – teised elussüsteemid jäävad vähemalt oluliste konteksti komponentidena mudelisse sisse.

Ettekande maailmaparanduslike aspektide avamiseks vaatleme infosüsteemide evolutsiooni süsteemilt süsteemile, tehes siinkohal kõrvalpõike võrdlemaks meie informatsiooni mõistet küberneetikateaduses kasutatavaga. Informatsiooni mõiste meie poolt spetsifitseerimisest tulenevad järeldused küberneetiliste süsteemide kohta. Kontekstivälistest eesmärkidest loobumine infosüsteemi küberneetilises osas toob kaasa tagajärjed – maailm muutub paremaks.

Mis sellel kõigel oli pistmist termodünaamikaga? Aga elussüsteem on ju „kõigest“ mingi, tõsi, tugevalt mittetasakaaluline, kuid siiski kõigest termodünaamiline süsteem.

**DIPOLAARSE VASTASTIKMÕJU LAHTISIDESTAMINE PIDEVA
RAADIOSAGEDUSLIKU VÄLJAGA KIIRITAMISE TEEL
Allan Puusepp ja Ago Samoson (KBFI)**

Dipolaarse vastastikmõju lahtisidestamine on tänapäeval üks põhilisi probleeme tahke keha tuumamagnetresonantsis (TK-TMR). Dipolaarse lahtisidestamise eesmärgiks on saada ainult keemilise nihke hamiltoniaanist sõltuv spekter ning selle tõttu on praktilises spektroskoopias vajalik rakendada erinevaid lahtisidestamise meetodeid, mille väljatöötamine on alles arenemisjärgus, kuna olemasolevad

lahtisidestamise meetodid ei suuda veel oma ülesannet paljudel juhtudel piisavalt hästi täita.

Tänu tugevalt seotud ja üksteisele lähedal olevatele aatomitele kandub magnetiline polarisatsioon üle ühelt aatomilt teisele läbi dipolaarse sidestatus. Dipolaarne sidestatus on ka üks põhilisi süüaluseid TMR signaali dekohereerumise protsessis ja relaksatsiooniga seotud nähtustes, kuna molekulide võnkumiste ja liikumiste tulemusena moduleeritakse ka dipolaarse sidestatus koefitsiente.

Antud töös kirjeldatakse dipolaarse vastastikmõju lahtisidestamise efektiivsust pideva raadiosagedusliku (RS) väljaga kiiritamisel sõltuvalt mehaanilise rotatsiooni kiirusest ja raadiosagedusliku välja amplituudist. RS väljaga saab pöörata spinni osa kirjeldavaid tensoreid ning mehaanilise rotatsiooniga saab pöörata reaalse ruumiga seotud tensoreid. Selle tõttu võib tekkida olukordi, kus kaks protsessi omavahel interfereeruvad ja lahtisidestamise efektiivsus võib langeda. Praktiliselt on oluline, et selliseid olukordi välditakse. Antud töös näidatakse, et selliseid olukordi võib tekkida ka siis, kui mehaanilise rotatsiooni ja RS välja efektiivse sageduse suhe on väiksem ühest. Eriti huvitav on olukord, kus selline suhe võrdub $1/3$, mida on võimalik alles siis märgata, kui kasutada väga kiiresti pöörlevaid mõõtepäid. Selline madala võimsusega lahtisidestamine on eriti sobiv just bioloogilistele molekulidele, kus proovi soojenemise ja ülekuumenemise probleem on väga oluline. Antud töös antakse ka üldine teoreetiline mudel kõikide praktiliselt nähtavate resonantstingimuste kirjeldamiseks kasutades selleks bimodaalset Floquet' teooriat operaatorarvutuse baasil ning võrreldakse neid eksperimentaalsete katseandmetega ja numbriliste arvutustega.

EKSIARUSAAMU FOOTONIST Peeter Saari (TÜ Füüsikum)

Sellesse füüsikapäevade ettekandesse püütakse panna järgmised kolm sisukomponenti.

1. **Didaktiline komponent** selle sõna niisuguses tähenduses, mis on iseloomulik õppejõududele ilmuvale ajakirjale *American Journal of Physics*. Kõigepealt puudutame üht olulist erinevust tänapäevases professionaalse teoreetilise füüsika terminitarvituses võrreldes varasemate aegade ja populaarteadusliku

kirjandusega, aga ka professor Paul Kardi kolmandik-sajandi taguse nauditavalt kirjutatud rotaprindi-õpikuga erirelatiivsusteooriast. Nimelt peetakse massi m all nüüd silmas vaid seisumassi, mass ei kasva relativistlikult kiiruse kasvades ja Einsteini kuulsat valemit kujul $E = mc^2$ tuleb käsitada kui paigalseisu kohta käivat ainult. Järgmise segadust tekitada võiva mitmetähenduslikkuse näitena peatume footoni mõistel. Rõhutame, et footoni seostamine vaid kulgeva tasalainega on ühekülgne ja võib viia pealiskaudsele – et mitte öelda dogmaatilisele – füüsikalisele mõtlemisele. Üldjuhul võib footoni (seisu)mass olla suvaline nullist erinev suurus.

2. Füüsika alusmüüri kallal käivat uurimistööd **refereeriv komponent**. Anname lühiülevaate footoni massi määramise eksperimentidest viimastel aastatel, mida on tehtud nii kosmosetehnikat kui ka füüsikaajaloost tuntud kaalusid kasutades, nii Lääne parimates laborites kui ka Hiina RV üha paremates laborites. Määratud arvsuurus läheneb üha fantastilisema täpsusega 0-le.
 3. **Originaalne komponent** ettekandja enda uurimistööst. Kvant-elektrodünaamika ja kvantoptika põhiõpikud on käsitlenud footoni ruumilise lokaliseeritavuse piire kolmveerand sajandit ebakorrektselt. Osutub, et teatavad spetsiifilised silindrilise lainefunktsiooniga ja ülevalgusekiirusega liikuvad ning nullist erineva massiga footonid on lokaliseeritavad oluliselt tugevamini, kui seni võimalikuks peetud [1,2].
1. P. Saari, M. Menert, H. Valtna, Opt. Commun., 246, No. 4–6, lk. 445–450, 2005.
 2. H. Valtna, K. Reivelt, P. Saari, J. Opt. A: Pure Appl. Opt., 8, No. 1, lk. 118–122, 2006.

TÄHESPEKTER TÄHEFÜÜSIKA PÕHIINFOALLIKANA

Arved Sapar (TO)

Astrofüüsikaline vaatlusandmestik saadakse kolmel erineval moel – spektrivaatlustega, objektide ja nende süsteemide morfoloogia kaardistamisega ning vaatlusaegridade registreerimisega. Seejuures kaardistamine ja aegread on enamasti teostatud spektri mitmes piirkonnas. Arusaadavalt registreeritakse ka spektrite ning piltide aegridu, mida saab vaadelda videoklippidena.

Tulenevana teaduse ja tehnika kiirest arengutempost on uute vaatlusandmete lisandumine väga kiire. See teeb vaatlusandmestiku mõistmiseks hädavajalikuks üha täpsema ja keerukama teoreetilise analüüsi. Sageli selgub füüsikaline pilt kõigi nende kolme tüüpi andmete analüüsi ja modelleerimise ning tõlgendamise tulemusena. Tähespektrite baasil teostatakse tähtede klassifikatsioon, kus füüsikaliseks põhiparameetriteks on tähe atmosfääri efektiivne temperatuur, raskuskiirendus atmosfääris ja tähe atmosfääri keemiline koostis, mida tavaliselt võrreldakse Päikese omaga. Tähe efektiivne temperatuur (ca 3000–100000 K) jahedatest tähtedest kuumade tähtedeni määrab nähtava täheplasma ionisatsiooniseisundi, raskuskiirendus atmosfääris ($\log g[\text{cm/s}^2] = 0-8$) täheaine tiheduse ja mõõtmed ülihiidtähtedest valgete kääbustähtedeni ning keemiline koostis annab lisainfot tähe evolutsioonilise staatuse kohta.

Atomaarandmestik molekulide, aatomite ja ionide spektrite kohta sisaldab kogusmmas juba paljusid miljoneid spektrijooni. Et kõiki neid näha, on vaja vastuvõtuaparatuuri kõrget spektraallahutust. Temperatuur täheatmosfääris, kus kujuneb tähespekter, langeb väljapoole ja seetõttu on tähespektris põhiliselt nähtavad neeldumisjooned ja neeldumisribad. Tähekroonides tõuseb temperatuur kuni väärtusteni mõni miljon kraadi ja seal moodustuvad heledad spektrijooned, mis kuuluvad mitmekordselt ioniseeritud aatomitele. Pöörlevate tähtede (pöörlemiskiirused kuni mõnisada km/s) spektrid on Doppleri efekti tulemusena detailidevaesed. Kui sellised tähed on meie poole pööratud poolusega, siis on nende spektrid isegi joonterikkamad kui mittepöörlevatel tähtedel, kuna pooluse piirkonnas on temperatuur kõrgem kui ekvaatoril. Lisaks sellele on nad mõningal määral lapikud. Pöörlevatel tähtedel uuritakse aegridade, s.o ajas muutuvate spektrite, baasil nende pinna magnetvälja struktuuri ja ka keemilise koostise mittehomogeensusi.

Kaksiktähtede spektrid kujunevad komponenttähtede spektrite summana, kusjuures lisainfo on saadav ka varjutustel kujunevatest heleduskõveratest, mis kajastavad nii varjutusfaasi kui ka täheketta äärel tumenemist, mis kasvab väga oluliseks spektri lühilainelises piirkonnas, kuna musta keha kiirgusvoog on seal väga termotundlik ja täheketta äärel kiirgus väljub vaid atmosfääri ülakihtidest. Lisaks sellele kuumendavad lähiskaksiktähed üksteist ja muudavad ka tähepinna kuju, mis kajastub tähespektrites. Üheks väga erinevat

spektriklassi komponenttähtedega süsteemi rahutuks liigiks on sümbiootilised kaksiktähed, mille spektrite tõlgendus on küllalt keerukas.

Tähespektrite vaatlustest saab jälgida ka tähe pulsatsioone. Kõige varem tuntud pulseerivad tähed on tsefeiidid, mille tegutsemismehhanismi võib võrrelda sisepõlemismootori töötükliga. Pulsatsioonid tähelinnal käsitletakse samade polünoomidega kui aatomi lainefunktsioonide sfäärilist osa. Tähepulsatsioonid on mitmesuguseid ning nad jagunevad radiaalseteks ja mitteradiaalseteks. Nende kaudu on kujunenud uus astrofüüsika haru, pulsatsioonide ja plahvatuste levi tähes uuriv asteroseismoloogia, mis on mõneti sarnane Maa seismoloogiaga. Asteroseismoloogias saadakse andmed tähespektrites üliväikeste spektrinihkeid uurides, kusjuures registreeritakse aine liikumise kiirusi alla 1 m/s.

Väga olulisteks tähtedeks on mitmet tüüpi muutlikud tähed. Kõige markantsemad neist on supernoovade plahvatused, kus tähe evolutsioonil moodustub sõltuvana tähe massist kas pidurdumatult kokkuvarisev must auk või kokkuvarisemise pidurdumisel kujunev ülitihed kōdunud neutrontäht. Selle väliskihid aga paisatakse välja ja nad moodustavad ülikeeruka struktuuriga udukogusid, millest tuntuim on Krabi udukogu. Järgmisteks oma võimsuselt on noovaplahvatused, kus tüüpiliselt kaksiktähe üks komponent variseb evolutsioonil kōdunud elektrongaasiga valgeks kōdunud kōdunud väliskihist moodustub paisuv planetaarudukogu. Supernoovade ja noovade plahvatustel tekkinud paisuvate jäänukudukogude pildistamine mitmesugustes spektrialades on saanud võimalikuks viimasel ajal seetõttu, et lisaks kõrgele spektraallahutusele on nüüdisteleskoopidega võimalik registreerida ka ülisuure nurklahutusega neid udukogusid ja mitmeid muid huvitavaid objekte.

Tartu Observatooriumi astrofüüsika osakonnas on tegutsetud kõigil ülalmainitud kolmel uurimissuunal. Kõige rohkem on tegutsetud tähespektrite vaatlusliku, tõlgendusliku ja teoreetilise modelleerimise alal nähtava ja ultraviolettkiirguse piirkonnas. Hea eestikeelse ülevaate spektraaluringuist raadiokiirgusest gammakiirguseni meil ja mujal annab ajakirjas Horisont jätkuvalt avaldatav artikliteseeria.

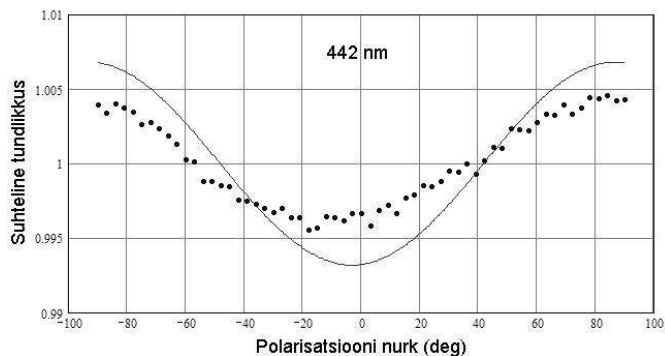
**GaAsP-PÕHISE FOTODETEKTORI
POLARISATSIOONITUNDLIKKUSE UURIMINE**

Meelis-Mait Sildoja^{a,c}, Toomas Kübarsepp^b, Mart Noorma^c, Petri Kärhä^c, Antti Lamminpää^c, Saulius Nevas^c, Erkki Ikonen^{c,d} (^aTartu Ülikool, ^bAS Metrosert, ^cHelsinki Tehnikaülikool, Soome, ^dCentre for Metrology and Accreditation, Soome)

Optilise kiirguse täppismõõtmisteks on tarvis põhjalikult teada fotodetektori spektraalseid omadusi. Üheks olulisemaks suuruseks on fotodetektori spektraalne tundlikkus, mis pooljuhtmaterjalide korral on peamiselt määratud pooljuhtühendi keelutsooni laiuse ja potentsiaalikärgu kujuga siirdealas. Lisaks sõltub spektraalne tundlikkus valguse langemispunkti ja lainepikkusest. Olenevalt fotodetektori ehitusest, võib tundlikkus sõltuda ka valguse polarisatsioonist. Levinud on fotodiodide paigutamine nn valguselõksu (i.k. *trap detector*) konfiguratsiooni¹, mille eesmärk on vähendada peegelduskadusid ja valguse polarisatsioonist tingitud efekte. Ränidiodide puhul on valguselõks õigustanud end täielikult^{1,2}.

Ränifotodiodidest stabiilsemaks on UV-piirkonnas osutunud pooljuhtmaterjali GaAsP baasil valmistatud fotodiodid. GaAsP valguselõksu absoluutse tundlikkuse sõltuvust lainepikkusest on mõõdetud varemgi³. Käesolevas töös on uuritud kolmest Schottky-tüüpi GaAsP-fotodiodist koosneva valguselõksu peegelduse (peegelduskoeffitsiendi) ja suhtelise tundlikkuse sõltuvust lineaarselt polariseeritud valgusest lainepikkustel 442 nm kuni 514 nm detektori pööramisel ümber oma optilise telje.

Uurimuse käigus selgus, et GaAsP fotodiodide pinnale kantud kulla kiht, mis on tarvilik Schottky barjääri tekitamiseks, mõjutab valguselõksu omadusi. Kolme Au-kile summaarne mõju on sedavõrd suur, et fotodiodide geomeetrilise paigutusega pole võimalik täielikult elimineerida polarisatsioonist põhjustatud muutusi fotodetektori tundlikkuses. Kokkuvõttev graafik suhtelise tundlikkuse muutumisest on esitatud joonisel 1. Mõõtetulemustest on näha, et tundlikkuse suhteline muutus on kuni $\pm 0,5\%$ keskvaartuse suhtes, ehk varieerumise ulatus kogu diapasoonis on 1%. Polariseeritud valgusest põhjustatud suhtelise tundlikkuse muutumise suhtes langemistasandis polariseeritud valguskiir genereerib kogu detektoris vähem fotovoolu kui tasandiga risti polariseeritud valgus.



Joonis 1. GaAsP valguselõksu suhtelise tundlikkuse muutus valguse polarisatsioonitasandi muutumisel $-90^\circ - +90^\circ$. Mõõdetud väärtused on esitatud punktidena, pidev joon tähistab modelleeritud väärtusi. 0° nurk märgib valguse lineaarset polariseeritust esimese diodi langemistasandi suhtes.

1. N. P. Fox, Trap detectors and their properties, Metrologia, 28, 197–202 (1991).
2. R. Goebel, M. Stock, Nonlinearity and polarization effects in silicon trap detectors, Metrologia, 35, 413–418 (1998).
3. M. Noorma, P. Kärhä, A. Lamminpää, S. Nevas, E. Ikonen, Characterization of GaAsP trap detector for radiometric measurements in ultraviolet wavelength region, Rev. Sci. Instrum., 76, 033110 (2005) (5 pages).

KAHEDIMENSIONAALNE VASEÜHEND $\text{Na}_5\text{RbCu}_4(\text{AsO}_4)_4\text{Cl}_2$ Raivo Stern, Ivo Heinmaa, Annika Kriisa (KBFI)

Uurisime vaseühendit $\text{Na}_5\text{RbCu}_4(\text{AsO}_4)_4\text{Cl}_2$. Ühendi struktuur koosneb vaheldumisi magnetiliste ja isoleerivate omadustega kihtidest. Esimene kiht sisaldab magnetilisi tetrameerseid klastreid Cu_4O_{12} , mis on üksteisest eraldatud mittemagnetiliste tetraeedritega AsO_4 . Teise, isoleeriva kihi moodustab ioonne, keedusoola sarnane võre.

Antud materjali uurimise põhiülesanne seisneb seose leidmises magnetiliste ionide suhtelise asukoha ja sellest tulenevate magnetiliste omaduste vahel. Seoste selgumisel tekiks võimalus manipuleerida vastasmõjusid magnetiliselt aktiivsete oksiidvõrede sees ja vahel, muutes soovikohaselt nende keemilist koostist.

Kasutades uurimiseks TMR spektroskoopiat ja SQUID magnetomeetrit, nägime struktuurseid faasiüleminekuid temperatuuridel 110 K ja 85 K. Allpool 14 K toimub faasiüleminek antiferromagnetilisse olekusse, kusjuures TMR spektrite uurimine viitab keerulisele inkommensuraabel-mittekolleaarsetele struktuurile. Kõik kolm faasiüleminekut on jälgitavad ka erisoojuste temperatuurisõltuvuses.

Ettekandes on lähemalt räägitud läbiviidud eksperimentidest ja saadud tulemustest.

DYE LASER ABSORPTION PROBING OF HIGH-CURRENT PULSED VOLUME DISCHARGE IN ARGON
Aleksei Treštšalov, Aleksandr Lissovski (TÜ FI)

Homogeneous volume discharge in high-pressure (up to 10 bar) argon is studied as a possible active medium for Ar₂ VUV (126 nm) laser. Extremely low impedance of the driving electrical circuit is necessary for achieving of faster recombination kinetics and higher peak density of Ar₂^{*} excimer molecules. We estimate the discharge pumping pulse as 7 ns, the maximum current density of ~3 kA/cm² and pumping power density of ~50 MW/cm³ at 8 bar of Ar. Quantitative experimental data about densities of key excited atomic and molecular species are very important for understanding of discharge pumping efficiency and how close to the lasing-threshold conditions we are able to approach in our real discharge devices.

Time dependencies of the densities of Ar* (4S, 4P), Ar₂^{*} (${}^3\sum_u^+(v=0)$) were measured by the pulse dye laser absorption probing of the discharge plasma. Experimentally obtained temporal dependencies of several excited species are compared with calculated ones. Strong optical dynamic aberrations in the discharge plasma are observed for the probing laser beam at high pumping power density conditions. These phase aberrations are caused by negative contribution of free electrons to the refraction index. This effect could be the main limiting factor for using discharge plasma as a laser active medium at high pumping power density.

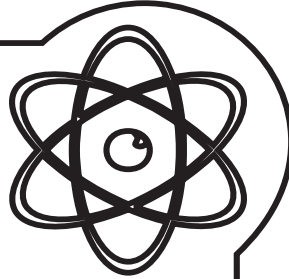
EESTI ÕPILASTE FÜÜSIKALISTE VÄÄRARUSAAMADE STABIILSUS
Henn Voolaid, Svetlana Ganina, Ott Krikmann, Jaan Susi (TÜ)

Nii kooliõpilastel kui ka üliõpilastel on olemas füüsika-alased eelteadmised, mis on tihti valed. Need segavad uute teadmiste ja oskuste omandamist. Selliseid ebaõigeid teadmisi nimetame edaspidi väärarusaamadeks (i.k. *misconceptions*). Väärarusaam on inimese isiklik veendumus, mis pole kooskõlas üldtunnustatud teadusliku informatsiooniga.

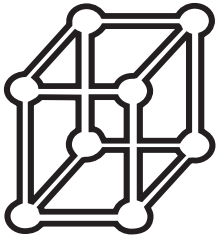
Käesolevas töös on uuritud, kas väärarusaamade osakaal on füüsikaõppe kestusest. Uuritud õpilaste hulgas oli õpilasi 7. klassist kuni ülikooli 2. aastani, nii linna- kui maakoolidest, nii eesti kui vene õppekeelega koolidest. Kokku oli küsitletuid üle 1500. Kasutusel oli 6 erinevat valikvastustega testi, mis olid koostatud erinevate autorite poolt ja puudutasid erinevaid füüsika osasid: mehaanikat, soojusõpetust, elektriõpetust ja optikat. Uurimus on läbi viidud TÜ koolifüüsika keskkuses aastatel 2002 – 2005.

Väärarusaamaks on loetud kõik valevastused, mille esinemissagedus on vähemalt 5 % võrra suurem juhusliku valiku tõenäosusest, mis on $100/n$ %, kus n on vastusevariantide arv.

Leiti, kui suure osa (protsendi) moodustavad väärarusaamad õigete vastuste hulgast (küsimuste arvust). Seda protsenti nimetame väärarusaamade osakaaluks. Võrreldes väärarusaamade osakaale erinevates klassides selgub, et osakaal praktiliselt ei olene füüsikaõppe kestusest ega ka füüsika valdkonnast. Nii 7. klassis kui ülikooli esimestel kursustel on väärarusaamade osakaal keskmiselt 55 %. See tähendab, et meie poolt uuritud õppuritel on iga teine füüsikaline arusaam väärarusaam. Tulemus ei tähenda seda, et ühed ja samad väärarusaamad säilivad läbi kõikide aastate. Need muutuvad, kuid säilib nende osakaal.



EESTI
FÜÜSIKA
SELTS
2005



EFS AASTAPREEMIA 2005

DIPLOM Nr 12

Eesti Füüsika Selts tunnistab oma aastapreemia vääriliseks

JAAK AARIKU

aatomkihtsadestamise meetodi arendamise ja selle abil saadud õhukeste metalloksiidkilede uuringute eest.

Tunnustuseks annab Selts temale 2005. aasta numbrit kandva medali.

Tartus, 22. märtsil 2005. a.

EFS esimees

EFS ÜLIÕPILASPREEMIA 2004

DIPLOM Nr 22

Eesti Füüsika Selts tunnistab 2004. a. üliõpilaspreamia vääriliseks

ELS HEINSAALU

Browni osakeste transporti käsitlevate uurimistööde eest.

Tartus, 22. märtsil 2005. a.

EFS esimees

EFS AULIIKME TUNNISTUS

Nr 3

Käesolevaga tunnistab Eesti Füüsika Selts oma liikme

HEIN KÄÄMBRE

seltsi auliikmeks.

Tartus, 22. märtsil 2005. a.

EFS esimees
EFS aseesimees

EFS AUKIRJAD 2005

Eesti Füüsika Selts tunnustab aukirjaga

JAAN KIKAST

KOIT TIMPMANNI

HENN VOOLAIDI

füüsikaõpikute loomise ning koolinoorte füüsikahuvi oskusliku äratamise eest AHHA-keskuse teadusteatri etendustel.

Tartus, 22. märtsil 2005. a.

EFS esimees
EFS aukirjakomisjoni esimees

EFS ÜLIÕPILASTE STENDIPREEMIAD 2005

DIPLOM Nr 5

Eesti Füüsika Selts tunnustab Eesti 35. füüsikapäevade üliõpilaste stendipreemia vääriliseks

LAURI AARIKU

stendiettekanne „Samblike kasutamine bioindikaatorina keskkonnadosimeetrias“ eest.

Tartus, 23. märtsil 2005. a

EFS esimees
Preemiakomisjoni esimees

EFS ÕPILASPREEMIA 2005

Eesti Füüsika Selts tunnistab oma õpilaspreamia vääriliseks

RIVO UIBO

RAIN-ERIC SELLI

ÜLAR NURMITS

MADIS LIIVA

JAAN SUVE

töö „Isaac Newtoni seadused läbi huumoriprisma“ eest.

Tartus, 22. märtsil 2005. a.

EFS esimees

TÄNUKIRI

Eesti Füüsika Selts tänab

KADRI-LY TRAHVI

EFS õpilaspreamia saanud töö „Isaac Newtoni seadused läbi huumoriprisma“ (autorid Rivo Uibo, Rain-Eric Selli, Ülar Nurmits, Madis Liiva ja Jaan Suve) juhendamise eest.

Tartus, 22. märtsil 2005. a.

EFS esimees

EESTI TEADUSTE AKADEEMIA JA EESTI FÜÜSIKA SELTSI ASSOTSIATSIOONILEPING

Pidades silmas Eesti teaduse ja kultuuri arengu vajadusi, lähtudes Eesti Teaduste Akadeemia seadusest ning tegutsedes kumbki oma põhikirja alusel sõlmivad **Eesti Teaduste Akadeemia** (edaspidi Akadeemia) ja **Eesti Füüsika Selts** (edaspidi Selts) käesoleva assotsiatsioonilepingu (edaspidi leping):

1.

Akadeemia lepingupartnerina:

- 1.1. tunnustab Seltsi põhikirjalisi eesmärke ja aitab kaasa nende elluviimisele;
- 1.2. arendab Seltsiga koostööd;
- 1.3. informeerib Seltsi Akadeemia tegevusest ja kaasab Seltsi esindajaid selles osalema, sealjuures osa võtma Akadeemia üldkogu ning Füüsika ja Astronoomia Osakonna koosolekutest;
- 1.4. oma suhetes ja esindusfunktsioonides kaitseb Seltsi huve seal, kus Selts peab seda vajalikuks;
- 1.5. kajastab Seltsi tegevust oma aastaraamatutes ja muudes Akadeemia väljaannetes;
- 1.6. toetab rahaliselt Seltsi põhikirjalist tegevust oma aastaeelarvega ette nähtud ulatuses.

2.

Selts lepingupartnerina:

- 2.1. tunnustab Akadeemia põhikirjalisi eesmärke ja ülesandeid ning aitab oma tegevusega kaasa nende elluviimisele;
- 2.2. arendab Akadeemiaga koostööd;
- 2.3. annab Akadeemiale regulaarselt informatsiooni oma erialasest tegevusest;
- 2.4. teavitab Akadeemiat muutustest oma struktuuris, juhtimises, töökorralduses ja põhikirjas;

2.5. arvestab Akadeemia soovitustega Seltsi tegevuse parandamiseks, tõhustamiseks või laiendamiseks;

2.6. esitab Akadeemiale igal aastal kirjaliku ülevaate oma tegevusest;

2.7. esitab Akadeemiale iga finantsaasta lõppedes aruande Akadeemialt saadud rahaliste vahendite kasutamise kohta.

3.

Selts võib oma nime juures pitsatil, kirjablankettidel, dokumentidel ja trükistel, samuti meenetena kasutatavatel vimplitel, märkidel või muudel esemetel kasutada väljendit „Assotsieerunud Eesti Teaduste Akadeemiaga“.

4.

Lahkarvamused lepingu tõlgendamisel, samuti pretensioonid lepingutingimuste täitmise suhtes lahendavad lepingupooled läbirääkimiste teel.

5.

Leping on tähtjatu. Lepingu saab lõpetada poolte kokkuleppel, kuid selle lõpetamine on võimalik ka ühe lepingupoolle algatusel. Lepingu ühepoolseks lõpetamiseks peab seda taotlev lepingupool oma soovist teisele lepingupoolle vähemalt kuus kuud ette teatama.

6.

Leping jõustub selle allkirjutamise hetkest. Lepingu jõustumisel loetakse Selts Akadeemiaga assotsieerunuks Astronoomia ja Füüsika Osakonna kaudu.

* * *

Lepingu sõlmimise ja lepingu tingimused kõigis eespool loetletud punktides on heaks kiitnud Eesti Teaduste Akadeemia juhatus oma otsusega 14. juunist 2005 (prot. nr 4 § 22) ja Eesti Füüsika Seltsi juhatus oma otsusega 22. märtsist 2005 ja kinnitanud Eesti Füüsika Seltsi üldkogu 22. märtsil 2005.

Leping on koostatud kahes võrdse juriidilise jõuga eksemplaris, millest üht hoitakse Akadeemias ja teist Seltsis.

Tallinnas, 14. juunil 2005. a.

Eesti Teaduste Akadeemia nimel

Richard Villems
President

Eesti Füüsika Seltsi nimel

Arvo Kikas
Esimees

EESTI FÜÜSIKA SELTSI JUHATUSE 2005. AASTA TEGEVUSARUANNE

2005. aasta oli füüsikute jaoks eelkõige ülemaailmne füüsika-aasta (World Year of Physics – WYP 2005). Selle tähistamiseks toimus terve rida üritusi.

Kaido Reivelti ja Heli Valtna eestvedamisel esinesid terve aasta jooksul ETV Terevisioonis füüsikakatsetega noored füüsikud ja alustas liikumist teadusbuss „Suur Vanker“. Buss külastas 99 kooli, andes 120 teadusteatri etendust umbes 20000 õpilasele. Lisaks esines teadusbuss erinevatel messidel ja avalikel üritustel.

Jaak Kikase initsiatiivil käivitusid akadeemilised füüsikaloengud, kus esinesid akad. Jaan Einasto, akad. Peeter Saari, Nobeli füüsika-preemia laureaat prof. Alex K. Müller, akad. Jüri Engelbrecht ja dr. Henn Käämbre.

8.–14. novembril toimus teadusnädal TÜ füüsikahoones. Selle raames toimus termotuumaenergeetikat tutvustav näitus „FusionExpo“ („maaletoojaks“ oli Madis Kiisk), Briti Nõukogu ja AHHA koostöös valminud kliimanäitus ja kulminatsioonina Tähe Perepäev Täpe2005 (Kaido Reivelti eestvedamisel). 21 novembrist 2. detsembrini oli näitus „FusionExpo“ ka Tallinnas.

8.–14. novembril toimus EFSi algatusel teadusnädal ka Eesti Televisioonis. Selle raames näidati ETV-s mitmeid füüsikateemalisi aimefilme ja sarju. Lisaks kajastati füüsika-aasta teemat ka teistes saadetes (Pealtnägija, Osoon jt). Projekti meeskonda kuulusid Andi Hektor, Kaido Reivelt ja Mait Müntel ning ETV-st Aivo Spitsnok ja Marje Jurtshenko.

Ülemaailmse füüsika-aastaga seoses oli ka Eesti Raadio iganädalases teadussaates „Labor“ füüsikale pühendatud 15-minutiline lõik. 2005. aasta sügise jooksul esines saates 15 füüsikut. Plaanis on saates füüsika teemat jätkata ka 2006. aasta kevadel. EFSi poolt olid tegevusega seotud Andi Hektor ja Kadri Kaldma, Eesti Raadio poolt Priit Ennet ja Mart Ummelas.

Algas töö füüsikaportaali loomisel (www.fyysika.ee).

14. juunil allkirjastati Tallinnas EFSi ja TA vaheline assotsiatsioonileping.

Traditsioonilistest üritustest toimusid Eesti Füüsika Seltsi korraldusel 22. ja 23. märtsil Tartus Eesti XXXV füüsikapäevad ja XXVII füüsikaõpetajate päevad. Esitati 23 suulist ja 16 stendiettekannet (vt www.fyysika.ee/efs). Füüsikapäevadel anti välja EFS aastapremia Jaan Aarikule aatomkihtsadestamise meetodi arendamise ja selle abil saadud õhukeste metalloksiidkilede uuringute eest. EFS aukirja pälvisid Jaak Kikas, Henn Voolaid ja Koit Timpmann füüsikaõpikute loomise ning koolinoorte füüsikahuvi oskusliku äratamise eest AHHA-keskuse teadusteatri etendustel. Esmakordselt anti välja EFS õpilaspremia, mille pälvisid Rakvere Reaalgümnaasiumi õpilased Jaan Suve, Madis Liiva, Rain-Eric Selli, Rivo Uiho ja Ülar Nurmits töö „Isaac Newtoni seadused läbi huumoriprisma“ eest, mis valmis õpetaja Kadri-Ly Trahvi juhendamisel. Premia füüsikapäevade parima üliõpilaste stendiettekannde eest anti Lauri Aarikule.

22. märtsil toimus füüsikapäevade raames EFSi üldkogu, millel kinnitati seltsi juhatuse tegevus- ja majandusaruanne, kinnitati EFSi ja TA assotsiatsioonilepingu tekst ning arutati ülemaailmse füüsika-aasta korraldust aastal 2005. Ilmus EFSi aastaraamat 2004 (toimetanud Anna Aret ja Piret Kuusk).

Eesti koolinoorte 51. füüsikaolümpiaadil sai EFSi eriauhinna (aukirja „Scientific American“ aastatellimuse) Pärnu Koidula Gümnaasiumi õpilane Meelis Lootus.

Noorfüüsikute osakonna eestvedamisel korraldati aruandeaastal ka kaks noorte füüsikute kooli (vt <http://www.fyysika.ee/kool/>). Andi Hektor, Ahto Kuuse ja Mait Münteli korraldusel toimus 17.–19. juunil Jänedal EFSi noorfüüsikute III suvekool. Selles osales 49 tudengit ja füüsikut, kes kuulusid kokku 12 akadeemilist tundi loenguid ja pidasid 2 akadeemilist tundi seminare. 28.–30. oktoobril toimus Kääriku Spordi- ja Puhkekeskuses EFSi noorte füüsikute VII sügiskool, mille korraldajateks olid Andi Hektor, Ahto Kuusk, Mait Müntel, Kaido Reivelt ja Margus Saal. Üritusel osales 59 füüsikatudengit ja 11 teadlast Eesti ülikoolidest ja teadusasutustest. Sügiskoolis oli kokku 11 akadeemilist tundi loenguid ja 3 akadeemilist tundi seminare.

27.–29. juunil toimus Nõos Jaak Jõgi initsiatiivil II EFSi füüsikaõpetajate suvekool. Koolis oli 19 osavõtjat, kes kuulusid loenguid tänapäeva füüsikast ja füüsikaõpetusest ning tutvusid põhjalikumalt TÜ Füüsika Instituudiga. Loeng-seminarides arutleti riikliku õppekavaga seotud probleeme.

EFSi koolifüüsika osakond on teinud aktiivset koostööd Riikliku Eksami- ja Kvalifikatsioonikeskusega, seda nii kutsekomisjonis kui ka ainenõukogus. Võimalust mööda on osaletud õppekavaprotsessis.

EFSi listi (selsid.efs@lists.ut.ee) haldab Jaak Jõgi ning EFSi kodulehte (<http://www.fyysika.ee/efs>) toimetasid Kaido Reivelt ja Ilmar Kink.

2005. a. kuulus EFSi 184 aktiivset liiget. 2005. aastal valis juhatus seltsi kolmandaks auliikmeks dr. Henn Käämbre.

EFS kuulub jätkuvalt Euroopa Füüsikaühingusse (EPS), mis koon-dab 38 rahvuslikku füüsikaühingut. Arvo Kikas kuulub EFSi esimehe-na EPSi nõukogusse. Kaido Reivelt osales ülemaailmse füüsika-aasta korraldusele pühendatud EPSi korraldatud nõupidamistel „European Meeting for the World Year of Physics“.

EFS osales EPSi poolt koordineeritud ülemaailmse füüsika-aasta (WYP 2005) ürituste rahastamiseks mõeldud europrojektis. Sealne grant ületas oluliselt EFSi tavaelarve ning andis olulise osa füüsika-aasta ürituste korralduskuludest. Füüsika-aasta puhul olid suuremad ka Eesti asutuste rahalised toetused EFSle.

EFSi ettevõtmisi toetasid aastal 2005 Euroopa Liit, Tartu Ülikool, TÜ Füüsika Instituut, Eesti Teaduste Akadeemia, AS Hansapank, Haridus- ja Teadusministeerium, Ettevõtluse Arendamise Sihtasutus, SA Archimedes, Tallinna Tehnikaülikool, Tallinna linnavalitsus, Riiklik Eksami- ja Kvalifikatsioonikeskus, Tartu Observatoorium, Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut, TÜ Avatud Ülikool ning TÜ füüsikaosa-kond. Täname kõiki toetajaid ja loodame koostöö jätkumist.

Eesti Füüsika Seltsi juhatuse liikmed:

Arvo Kikas Ilmar Kink Peeter Tenjes Andi Hektor

Tartus, 26. jaanuaril 2006. a.

EFS LAIENDATUD JUHATUS 2005. AASTAL

Arvo Kikas, esimees	Tartu Ülikool Riia 142 51014 Tartu	Tel./faks: +372 7 428 182/383 033 E-mail: kiku@fi.tartu.ee
Ilmar Kink, asesimees	Tartu Ülikool Riia 142 51014 Tartu	Tel./faks: +372 7 428 886/383 033 E-mail: ilmar.kink@fi.tartu.ee
Paul Suurvarik, aseesimees	Tallinna Tehnikaülikool Ehitajate tee 5 19086 Tallinn	Tel./faks: +372 620 3000/620 2020 E-mail: spaul@edu.ttu.ee
Peeter Tenjes, laekur	Tartu Ülikool Tähe 4 51010 Tartu	Tel./faks: +372 7 375 576/7 375 570 E-mail: tenjes@aai.ee
Andi Hektor, PR koordinaator	Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut Akadeemia tee 23 12618 Tallinn	Tel./faks: +372 5615 0288/+372 644 064 E-mail: andi.hektor@nicpb.ee
Anna Aret	Tartu Observatoorium Tõravere 61602 Tartumaa	Tel./faks: +372 7 410 465/7 410 205 E-mail: aret@aai.ee
Jaak Jõgi	Lähte Ühisgümnaasium Lähte sjsk. 60502 Tartumaa	Tel./faks: +372 7 334 180/7 334 184 E-mail: jaak@nova.tartu.ee
Tõnu Laas	Tallinna Ülikool Narva mnt 25 10120 Tallinn	Tel./faks: +372 6409 412/6409 418 E-mail: tony@tlu.ee
Koit Muring	Tartu Ülikool Riia 142 51014 Tartu	Tel./faks: +372 7 428 882/7 383 033 E-mail: muring@fi.tartu.ee

EFS UUED LIKMED

Peeter Saari	Tartu Ülikool Riia 142 51014 Tartu	Tel./faks: +372 7 383 016/7 383 033 E-mail: peeter.saari@ut.ee
Raivo Stern	Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut Akadeemia tee 23 12618 Tallinn	Tel./faks: +372 639 8309/639 8393 E-mail: stern@kbfi.ee
Risto Tammelo	Tartu Ülikool Tähe 4 51010 Tartu	Tel./faks: +372 7 375 571/7 375 570 E-mail: tammelo@ut.ee

EFS UUED LIKMED

1. Priit Tuvike
2. Martin Vilbaste
3. Kaupo Kukli
4. Katrin Teras
5. Silver Lätt
6. Kadri Isakar
7. Kaido Reivelt
8. Tiit Sepp

EFS NOORFÜÜSIKUTE III SUVEKOOL

NoFy (EFS noorfüüsikute osakond) korraldas 17.–19. juunil 2005 Jänedas mõisas EFS noorfüüsikute III suvekooli. Selles osales 49 tudengit ja füüsikut, kes kuulasid kokku 12 akadeemilist tundi loenguid ja pidasid 2 akadeemilist tundi seminare. Lisainfo <http://www.fyysika.ee/kool/index.php/Kool/Suvekool2005>.

LOENGIKAVA

Reede, 17. juuni

- 13.00 – 13.15 Avasõna korraldajatel
- 13.15 – 15.00 Enn Realo (TÜ). Tuumafüüsika mittetuuma-
vahenditega ja termotuumasüntees
- 15.30 – 17.15 Mihkel Kaljurand (TTÜ). Füüsikalt bioloogiale
ja keemiale
- 18.15 – 19.30 Urmas Sisask. Muusika ja tähed
- 21.00 – 24.00 Teadusbussi „Suur Vanker“ presenteerimine,
omalooming ja pidu

Laupäev, 18. juuni

- 10.00 – 10.45 Ago Samoson (KBFI). Raadiospektroskoopiast
- 10.45 – 11.30 Lõpu- ja muude tööteemade pakkumised
tudengitele:
 - Toomas Rõõm. Kauge infrapuna spektroskoopia
magnetväljades
 - Andi Hektor. MC simulatsioonid hajussuperarvutitel (Grid)
tuumaohutuse ja kiirgusdetektorite jaoks
- 11.45 – 13.00 Tudengite lühiloengud:
 - Meelis-Mait Silvoja. Lõksdetektorid
- 14.00 – 15.45 Raivo Vilu (TTÜ). Isepaljunevad nanomaterjalid ja
süsteemide bioloogia
- 16.15 – 18.00 Kalev Tarkpea (TÜ). Füüsika õpetamise
tulevikuplaanid TÜs
- 18.00 – 19.00 Füüsikauudised ja füüsika-aasta 2005

Pühapäev, 19. juuni

- 14.00 – 15.45 Lõpu- ja muude tööteemade pakkumised
tudengitele:
Raivo Stern. Uudsete spinn-materjalide uurimisest KBFIs –
tuumaresonants ja teised tehnikad
Raivo Stern. Bose-Einsteini kondensatsioon tahkistes ja
ülikõrged magnetväljad
- 15.45 – 16.30 Kohv ja kokkuvõte, posterite auhindade
kätteandmine
- 16.45 Suvekooli ametliku osa lõpp

EFS NOORTE FÜÜSIKUTE VII SÜGISKOOL

Eesti Füüsika Selts korraldas 28.–30. oktoobril 2005 Kääriku Spordi- ja Puhkekeskuses EFS noorte füüsikute VII sügiskooli. Üritusel osales 59 füüsikatudengit ja 11 teadlast Eesti ülikoolidest ja teadusasutustest. Sügiskoolis oli kokku 11 akadeemilist tundi loenguid ja 3 akadeemilist tundi seminare. Lisainfo <http://www.fyysika.ee/kool/index.php/Kool/Sugiskool2005>.

LOENGIKAVA

Reede, 28. oktoober

- 14.05 – 14.15 Avasõna korraldajatelt
- 14.15 – 16.00 Martti Raidal (KBFI). Osakestefüüsikast
- 16.15 – 17.00 Ergo Nõmmiste (TÜ FI). Mikroprotsessorite arengutrendidest nanotehnoloogiate taustal I
- 17.15 – 19.00 Kaupo Kukli (TÜ FO). Eksperimentaalne füüsika ja tehnoloogia – seoseid pooljuhttehnoloogia ja nanoelektronikaga

Laupäev, 29. oktoober

- 13.00 – 13.45 Ergo Nõmmiste (TÜ FI). Ülevaade TÜ Füüsika Instituudist
- 14.00 – 14.45 Ergo Nõmmiste (TÜ FI). Mikroprotsessorite arengutrendidest nanotehnoloogiate taustal II
- 15.15 – 17.00 Piret Kuusk (TÜ FI). Einsteini ja teiste murrangulised artiklid imepärastel aastatel 1904–1908
- 17.15 – 19.00 Kaido Reivelt & Co. Füüsika popiks: teadusbuss jms

Pühapäev, 30. oktoober

- 09.00 – 10.45 Andrus Salupere (TTÜ). Mittelineaarsete protsesside analüüsi keskus – mis, kes, kus, mida...
- 11.15 – 12.00 Postersessioon
- 13.00 – 14.45 Mait Müntel (KBFI). Eksperimentaalne kõrge energia füüsika
- 14.45 – 15.00 Kohv ja kokkuvõte

EFS II FÜÜSIKAÕPETAJATE SUVEKOOL

EFS II füüsikaõpetajate suvekool toimus 27.–29. juunil Nõos väljasõitudega Tartusse. Koolis osales 19 füüsikaõpetajat. Õpetajad said enamiku toimunud loengute materjalidest ka CD-l.

LOENGIKAVA

Esmaspäev, 27. juuni

- 13.00 Füüsikaõpetajate suvekool Nõo koolis: Avamine
- 13.05 Kalju Eerme. Ultraviolettkiirgus – sõber või vaenlane?
- 14.45 Urmas Peterson. Valitud lõike Eesti aluspinnal kaugseirest
- 16.30 Indrek Kolka. Linnutee ehitus GAIA silmade läbi

Teisipäev, 28. juuni

Üritused Tartu Ülikooli Füüsika Instituudis:

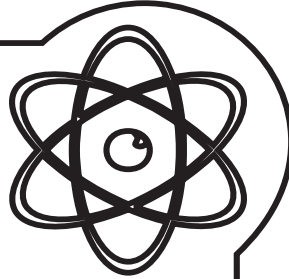
- 9.15 Ergo Nõmmiste. TÜ FI roll Eesti teadus-, haridus- ja innovatsioonimaastikul
- 11.00 Henn Käämbre. Laserid: 45 aastat hiljem
- 12.30 Lõuna, ringkäik laborites
- 14.00 Ergo Nõmmiste. (Mikro)protsessorite areng ja selle seos (raken- dus)füüsikaga
- 15.30 Arvo Kikas. Sünkrotronikiirgus. Mis? Kuidas? Milleks?
- 17.00 Laur Järv. Silmapaistvat viimase aasta teoreetilises alusfüüsikas
Margus Saal. Braanikosmoloogia

Kolmapäev, 29. juuni

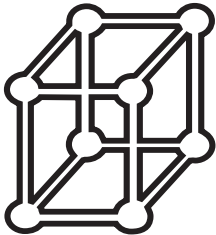
- 9.00 Peet-Märt Irtd. Integratsioon Nõo koolis: füüsika ja matemaatika
- 10.30 Mart Kuurme. Füüsika integratsioon teiste õppeainetega. Kuidas seda teha?
- 12.45 Kadri-Ly Trahv. Füüsikaõppe lõimimine teiste (loodus)teadus- tega

Üritused Tartu Ülikooli füüsikahoones (Tähe 4):

- 14.45 Kalev Tarkpea. Füüsikaõpe ülikoolis ja selle seos koolifüüsikaga
- 16.30 Henn Voolaid. Füüsika ja huviharidus



FÜÜSIKA-
KROONIKA
2005



I. TÖÖKORRALDUS

- Jõudis lõpule 2002. a algatatud Tallinna Ülikooli loomise protsess. Selle käigus ühines ülikooliga Eesti Akadeemiline Raamatukogu. Riigikogu 16. veebruari otsuse alusel nimetati 18. märtsil Tallinna Pedagoogikaülikool Tallinna Ülikooliks, lühendatult TLÜ. 15. mail liitus Tallinna Ülikooliga Eesti Humanitaarinstituut.
- 4. märtsil kinnitas Tartu Ülikooli nõukogu integreeritud tehnoloogiaprogrammi (ITP). ITP on ülikooli arengukava A2008 neljanda läbimurdevaldkonna – intellektuaalse kapitali rakendamise – edendamisele suunatud meetmete kompleks, mis integreerib teaduskondade, instituutide jt allüksuste jõupingutused ülikooli teaduslik-tehnoloogilise potentsiaali tugevdamiseks ja realiseerimiseks. ITP juhtkomitee esimees on teadusprorektor prof Ain Heinaru.
- TÜ Füüsikumi juhatus alustas tööd koosseisus Marco Kirm (TÜ FI), Ergo Nõmmiste (TÜ FI), Peeter Saari (TÜ FI/FO, esimees), Risto Tammelo (TÜ FO) ja Kalev Tarkpea (TÜ FO).
- 7. märtsil valiti Tartu Observatooriumi vanemteaduriteks Maret Einasto, Anu Reinart, Erik Tago, Indrek Kolka, Izold Pustõlnik, Jaan Vennik ja Tõnu Viik.
- Alates 10. aprillist pole Tartu Observatooriumi struktuuris enam teadusdirektori ametikohta. Sellel töötanud Tõnu Viik jätkab vanemteadurina teoreetilise astrofüüsika töörühmas.
- 22. aprillil asutati TÜ FI õppe-asedirektori ametikoht, kus alates 1. juunist asus tööle Kaido Reivelt, ja spektrokronograafia töörühma baasil loodi biofüüsika labor (juh Arvi Freiberg).
- 26. augustil avati Tartu Ülikooli Tehnoloogiainstituudi uus hoone Tartus Nooruse tänaval, mis on esimene hoone Tartu Maarjamõisa väljale loodavas tehnoloogialinnakus. Avamisel esines pöördumisega Eesti Vabariigi peaminister Andrus Ansip. Tervitustega esinesid TÜ rektor prof Jaak Aaviksoo, haridus- ja teadusminister Mailis Reps, sotsiaalminister Jaak Aab, Eesti Teaduste Akadeemia president prof Richard Villems, EPMÜ rektor prof Alar Karis, TTÜ rektor prof Peep Sürje, Tartu linnapea Laine Jänes ning Madis Võõras Ettevõtluse Arendamise Sihtasutusest. AS Ehitusfirma Rand & Tuulberg juhataja Taivo Täht andis

pidulikult maja võtme üle TÜ Tehnoloogiainstituudi direktorile prof Mart Ustavile.

- Alates 1. septembrist on Tallinna Tehnikaülikooli füüsikainstituudi direktoriks Pavel Suurvarik.
- Alates 1. septembrist töötab Tartu Observatooriumi galaktikate füüsika töörühmas teadurina Antti Tamm, kosmoloogia töörühmas teadurina Gert Hütsi, atmosfääriseire töörühma inseneri 0,5 kohal Silver Läht.
- Alates 26. septembrist töötab KBFI asedirektorina Juhan Subbi, tema tööülesandeks asedirektorina on asutustevahelise teadusliku koostöö koordineerimine.
- 25. novembril tähistati TÜ FI peahoone valmimise ning hõlvamise 30. aastapäeva ning avati pidulikult uus multimeedia õppeklass ja Hasselbladi fondi (Rootsi) toetusel valminud pinnafüüsika labor. Lindi löikas läbi Rootsi Teaduste Akadeemia akadeemik prof Jan Nilsson, avamisüritustel osales ka prof Indrek Martinson Lundi Ülikoolist.
- 2. detsembril otsustas TÜ FI nõukogu moodustada instituudis materjalifüüsika osakond ja teoreetilise füüsika osakond.
- Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudi teadusnõukogu istungitel valiti korralistel valimistel KBFI teadusnõukogu uuteks liikmeteks Ene Ergma ja Raivo Stern (30. märtsil), Ivo Heinmaa, Anne Kahru, Uuve Kirso, Georg Liidja, Urmas Nagel, Jaan Past, Toomas Rõõm ja Richard Villems (6. oktoobril).
- Eesti teaduse tippkeskustena tegutsesid:
 - TÜ Füüsika Instituut (keskuse juht Ergo Nõmmiste, TÜ FI)
 - Analüütilise Spektromeetria Tippkeskus (keskuse juht Endel Lippmaa, KBFI)
 - Alus- ja Rakendusökoloogia Tippkeskus (keskuse juht Olevi Kull, TÜ Botaanika ja Ökoloogia Instituut, osaleb ka TO taimkatte seire töörühm).

II. VÄITEKIRJADE KAITSMINE

1. Doktoritööd

Tartu Ülikooli füüsikaosakonna nõukogu

- 6. juunil kaitses TÜ doktorant **Eduard Gerškevitš** väitekirja „Luuüdidoo ja leukeemiarisk eesnäärmevähi väliskiiritusravis“ („Dose to Bone Marrow and Leukaemia Risk in External Beam Radiotherapy of Prostate Cancer“) PhD kraadi saamiseks rakendusfüüsika erialal. Juhendajad: K.R. Trott (Inglismaa) ja E. Realo (TÜ FI). Oponendid: prof dr W. Dörr (Saksamaa, Technische Universität Dresden) ja f.-m.knd VI. Štšerbakov (Tallinn, Põhja-Eesti Regionaalhaigla).

Tallinna Tehnikaülikooli tehnilise füüsika õppesuund

- 17. juunil kaitses **Andres Braunbrück** väitekirja „Lainete interaktsioon nõrgalt mittehomoogeensetes materjalides“ („Wave Interaction in Weakly Inhomogeneous Materials“). Juhendaja: Arvi Ravasoo. Oponendid: Franco Pastrone, Claes Hedberg.
- 17. juunil kaitses **Robert Kitt** väitekirja „Üldistatud mastaabiinvariantsus majanduslikes aegridades“ („Generalised Scale-Invariance in Financial Time Series“). Juhendaja: Jaan Kalda. Oponendid: Marcel Ausloos, Oleksiy Chechkin.
- 15. sept kaitses **Juss Pavelson** väitekirja „Mesomastaapsed füüsikalised protsessid ja nende mõju toitainete väljadele ja fütoplanktoni massõitsengule Soome lahe lääneosas“ („Mesoscale Physical Processes and the Related Impact to the Summer Nutrient Fields and Phytoplankton Blooms in the Western Gulf of Finland“). Juhendaja: Jaan Laanemets. Oponendid: Kai Myrberg, Tiina Nõges.
- 15. sept kaitses **Olari Ilison** väitekirja „Kõrgemat järku mittelineaarsete ja dispersiivsete efektide mõju solitonide ja üksiklainete tekkele“ („Solitons and Solitary Waves in Media with Higher Order Dispersive and Nonlinear Effects“). Juhendaja: Andrus Salupere. Oponendid: Nobumasa Sugimoto ja Andras Szekeres.
- 28. nov kaitses **Maksim Säkki** väitekirja „Südamerütmi pikamaastaabiline kord ja juhumuutlikkus“ („Intermittency and Long-Range Structurization of Heart Rate“). Juhendaja: Jaan Kalda. Oponendid: Oleksiy Chechkin, Jan Zebrowski.

- 19. dets kaitses **Enli Kiipli** väitekirja „Merevee kemismi modelleerimine hilisordoviitsiumi ja varasiluri aegses Ida-Balti basseini“ („Modelling Seawater Chemistry of the East Baltic Basin in the Late Ordovician-Early Silurian“). Juhendaja: Alvar Soesoo. Oponendid: Andrei Dronov, Enn-Avo Pirrus.

2. Magistritööd

Tartu Ülikooli füüsikaosakonna nõukogu magistrikomisjon

- **Aare Floren** „Pd-porfüriinidega aktiveeritud polümeerkilede hapnikutundlikkuse heterogeensuse ja fotostabiilsuse uuringud (Stability and heterogeneity of oxygen sensitivity in polymer films doped with Pd-porphyrins)“. Eriala: optika ja spektroskoopia (TÜ FKEF). Juhendaja: Raivo Jaaniso (f.-m.knd, TÜ FI vanemteadur). Oponendid: Ilmo Sildos (f.-m.knd, TÜ FI laborijuhataja), Kristjan Leiger (PhD, TÜ FI järel doktor).
- **Irina Kärkkänen** „Elektronenergia ülekande protsessid polüvinüülkarbasoolil põhinevates orgaaniliste valgusdiodide materjalides (Processes of electronic energy transfer in OLED materials based on polyvinylcarbazole)“. Eriala: optika ja spektroskoopia (TÜ FKMF). Juhendaja: Raivo Jaaniso (f.-m.knd, TÜ FI vanemteadur). Oponendid: Koit Muring (f.-m.knd, TÜ FI vanemteadur), Artur Suisalu (f.-m.knd, TÜ FI vanemteadur).
- **Sven Lange** „Haruldaste muldmetallide ioonid metalloksiidkildes: fotoergastusmehhanismide uuringud (Rare earth ions in metal oxide films: investigation of photoexcitation mechanisms)“. Eriala: tahkisefüüsika (TÜ FKMF). Juhendaja: Ilmo Sildos (f.-m.knd, TÜ FI laborijuhataja). Oponendid: Vambola Kisaand (PhD, TÜ FI järel doktor), Ilmar Kink (f.-m.knd, TÜ FI vanemteadur).
- **Raul Rammula** „HfO₂ kilede aatomkihtkasvu uurimine (Atomic layer deposition study of HfO₂ thin films)“. Eriala: tahkisefüüsika (TÜ FKMF). Juhendaja: Väino Sammelselg (f.-m.knd, TÜ FKFE prof); Jaan Aarik (MSc, TÜ FI teadur, laborijuhataja). Oponendid: Ahti Niilisk (f.-m.knd, TÜ FI vanemteadur), Kaupo Kukli (PhD, TÜ FKEF vanemteadur).
- **Heija Pärtel** „E-õpe Eestis, õpikeskkond WebCT ja selle rakendamine aines „Füüsikaline maailmapilt“ (E-learning in Estonia, the learning management system WebCT and its application in the

course “Physical concept of the world”). Eriala: rakendusfüüsika (TÜ FKEF). Juhendaja: Kalev Tarkpea (f.-m.knd, TÜ FKEF dots), Anne Villems (MSc, TÜ MTAT lektor). Oponendid: Karin Ruul (MSc, Eesti e-ülikooli projektijuht), Urmas Tamm (MSc, AS KTK Overall peaspetsialist).

- **Thea Toomla** „Müomeetrite parameetrite diagnostilisest informatiivsusest töötervishoiu meditsiinilises uuringus (Diagnostic informativity of the myometrical method in the medical research of occupational health care)“. Eriala: rakendusfüüsika (TÜ FKEF). Juhendaja: Arved Vain (Dr. Habil. Biol, TÜ FKEF erak. vanemteadur). Oponendid: Eda Merisalu (meditsiinidoktor, TÜ ARTH dots), Kalle Kepler (MSc, TÜ BMTK juhataja).
- **Martin Vilbaste** „Õhuniiskuse etaloni arendamine TÜ Katsekojas (Developing of air humidity standard at UT Testing Centre)“. Eriala: rakendusfüüsika (TÜ FKEF). Juhendaja: Olev Saks (PhD, TÜ Katsekoja direktori kt). Oponendid: Piia Post (PhD, TÜ FKKF lektor), Viktor Vabson (Dipl. füüs, AS Metrosert spetsialist).
- **Fred Valk** „Elektrivälja tugevuse määramine gaaslahenduses lämmastiku kiirgusspektri abil (The estimation of electric field strength in gas discharges by the radiation spectrum of nitrogen)“. Eriala: optika ja spektroskoopia (TÜ FKEF). Juhendaja: Peeter Paris (PhD, TÜ FKEF teadur). Oponendid: Ergo Nõmmiste (PhD, TÜ FI direktor), Aleksei Treštšalov (f.-m.knd, TÜ FI labori-juhataja).
- **Ilmar Ansko** „Arvutijuhitavad mõõtesüsteemid spektroskoopia praktikumile (Computer aided measurement systems for practical works in spectroscopy)“. Eriala: rakendusfüüsika (TÜ FKEF). Juhendaja: Ilmar Rammo (f.-m.knd, TÜ FKEF spetsialist). Oponendid: Lembit Pung (f.-m.dr, TÜ FKEF emeriitprof), Uno Veismann (f.-m.knd, TO vanemteadur).
- **Joel Kuusk** „Välispektromeetri juhtimine ja andmehõive (Data Acquisition and Control of Field Spectrometer)“. Eriala: rakendusfüüsika (TÜ FKEF). Juhendaja: Ando Ots (f.-m.knd, TÜ FKEF dots), Matti Pehk (f.-m.knd, TO insener). Oponendid: Lembit Pung (f.-m.dr, TÜ FKEF emeriitprof), Tõnu Sisask (MSc, TÜ FKKF doktorant).
- **Sander Mirme** „Elektrilise aerosoolispektromeetri laaduri kuju ja aerosooli laengujaotuse vahelise sõltuvuse modelleerimine

(Modelling of the effect of charger geometry on aerosol charge distribution in an aerosol spectrometer)". Eriala: keskkonnafüüsika (TÜ FKKE). Juhendaja: Aadu Mirme (PhD, TÜ EKKE vanemteadur). Oponendid: Madis Noppel (PhD, TÜ FKKE vanemteadur), Andres Luhamaa (MSc, TÜ FKKE doktorant).

- **Janek Uin** „Diferentsiaalse liikuvusanalüsaatori ülekandefunktsiooni määramine kahe aerosoolianalüsaatori eksperimendis (Determination of the transfer function of a differential mobility analyzer in a dual aerosol analyzer experiment)". Eriala: rakendusfüüsika (TÜ FKKE). Juhendaja: Eduard Tamm (f.-m.knd, TÜ FKKE erak. vanemteadur); Aadu Mirme (PhD, TÜ FKKE vanemteadur). Oponendid: Madis Noppel (PhD, TÜ FKKE vanemteadur), Marko Vana (PhD, Helsinki Ülikooli füüsikaosakonna järel doktor).
- **Marko Zirk** „Lineaarne diskreetne dünaamikamudel atmosfääri ujulainete uurimiseks (Linear discrete dynamical model for investigation of atmospheric buoyancy waves)". Eriala: keskkonnafüüsika (TÜ FKKE). Juhendaja: Rein Rõõm (f.-m.dr, TÜ FKKE juhataja, prof). Oponendid: Aarne Männik (PhD, TÜ FKKE teadur), Andres Luhamaa (MSc, TÜ FKKE doktorant).
- **Silver Lätt** „Päikese ultraviolettkiirguse spektromeetria (Solar ultraviolet spectrometry)". Eriala: keskkonnafüüsika (TÜ FKKE). Juhendaja: Uno Veismann (f.-m.knd, TO vanemteadur). Oponendid: Kalju Eerme (f.-m.knd, TO vanemteadur), Teofilus Tõnnisson (f.-m.knd, AS Interspectrum esimees).
- **Anu Õmblus** „Läänemere veetaseme aastase muutlikkuse käik ja hinnang amplituudile (Annual cycle and seasonal amplitudes in the Baltic Sea levels)". Eriala: keskkonnafüüsika (TÜ FKKE). Oponendid: Tarmo Soomere (mat.dr, TTÜ KüBI vanemteadur), Hanno Ohvril (f.-m.knd, TÜ FKKE dots).
- **Kristjan Kannike** „Running of Low-Energy Neutrino Masses and Mixing Angles in the Minimal Supersymmetric Standard Model (Neutriinomasside ja segunemisnurkade jooksmine minimaalses supersümmeetrilises Standardmudelis)". Eriala: teoreetiline füüsika (TÜ FKTF). Juhendaja: Martti Raidal (PhD, KBFI vanemteadur), Rein Saar (f.-m.knd, TÜ FKTF dots). Oponendid: Ilmar Ots (f.-m.knd, TÜ FI vanemteadur), Mait Müntel (MSc, TÜ FI doktorant).

- **Elmo Tempel** „Galaktika NGC 4594 hüdrodünaamiline mudel (Galaxy NGC 4594 hydrodynamical model)“. Eriala: astrofüüsika (TÜ FKTF). Juhendaja: Peeter Tenjes (astron.dr, TÜ FKTF dots). Oponendid: Enn Saar (astron.dr, TO vanemteadur), Urmas Haud (astron.dr, TO vanemteadur).
- **Lauri Juhan Liivamägi** „Parvesõrmede redutseerimine wavelet-analüüsi abil (A Trous Compression of Cluster Fingers)“. Eriala: astrofüüsika (TÜ FKTF). Juhendaja: Enn Saar (astron.dr, TO vanemteadur). Oponendid: Erik Tago (PhD, TO vanemteadur), Jaan Pelt (PhD, TO vanemteadur).
- **Marina Lulla** „Õhukeste metalloksiidkilede uurimine elektronsond-mikroanalüüsi meetoditega (Electron-probe microanalysis of thin metal oxide films)“. Eriala: rakendusfüüsika (TÜ FKEF). Juhendaja: Väino Sammelselg (f.-m.knd, TÜ FKEF prof). Oponendid: Arvo Kikas (f.-m.knd, TÜ FI laborijuhataja), Aivar Tarre (MSc, TÜ FI erak. teadur).
- **Andrei Kärkkänen** „Fotoindutseeritud muutused süsiniku nanotorudest valmistatud kilede elektrijuhtivuses erinevates gaasikeskkondades (Photoinduced Changes in Electrical Conductivity of Carbon Nanotube Films in Different Gas Environments)“. Eriala: tahkisefüüsika (TÜ FKMF). Juhendaja: Raivo Jaaniso (f.-m.knd, TÜ FI vanemteadur). Oponendid: Ilmar Kink (PhD, TÜ FI vanemteadur), Madis Einasto (f.-m.knd, Evikon direktor).
- **Meelis-Mait Sildoja** „GaAsP-põhise fotodetektori spektraalse peegelduse ja tundlikkuse uurimine ning modelleerimine (Investigation and modelling of the spectral reflectance and spectral transmittance of the GaAsP-based photodetector)“. Eriala: rakendusfüüsika (TÜ FKEF). Juhendaja: Toomas Kübarsepp (tehn.dr, AS Metrosert etaloniteenuste divisjoni juht); Kalev Tarkpea (f.-m.knd, TÜ FKEF dots). Oponendid: Uno Veismann (f.-m.knd, TO vanemteadur), Ilmar Rammo (f.-m.knd, TÜ FKEF spetsialist).

**Tallinna Tehnikaülikooli matemaatika-loodusteaduskonna
magistrikomisjon**

Loodusteaduste magistri kraadi kaitsesid:

- **Mario Kadastik** “Doubly Charged Higgs Boson Decay to Muons at the LHC”. Juhendaja Martti Raidal (KBFI vanemteadur).

Retsensendid Margus Saal (TÜ FI teadur) ja Andi Hektor (KBFI teadur).

- **Mario Mars** „Fotoelektrilisest fotomeetriast Tallinna Tähetornis“. Juhendaja vanemteadur V. Harvig. Retsensendid Enn Kasak (TLÜ dots) ja Vladislav-Veniamin Pustõnski (TTÜ füüs.inst. teadur).
- **Jüri Virkepu** „Lie' teooria ja selle rakendusi“. Juhendaja Eugen Paal (TTÜ mat.inst. prof). Retsensendid Peeter Puusemp (TTÜ matem.inst. prof) ja Rein-Karl Loide (TTÜ füüs.inst. prof).

Tallinna Ülikooli füüsika eriala magistrikraadi kaitsmisnõukogu

- **Rainer Randmeri** „Riia lahe lainekliima kirjeldamine WAM mudeli abil“. Juhendaja Tarmo Soomere (mat.doktor, TTÜ), oponent Sirje Keevallik (f.-m.knd, EMA prof).
- **Marko Reediku** „Turbulentsi tekkepõhjuste uurimine ja turbulentsse difusiooni koefitsentide leidmine Soome lahe suudmes“. Juhendaja Madis-Jaak Lilover (f.-m.knd, TTÜ), oponent Aleksander Toompuu (f.-m.knd, TTÜ).
- **Rando Tuvikene** „Kassari lahe töenduslike punavetika-galaktaanide koostis, struktuur ja ekstraktsioon“. Juhendaja Kalle Truus (PhD keemias, TLÜ), oponent Merike Vaher (PhD keemias, TTÜ).
- **Jaanis Priimets** „Difusiooniteede uurimine kolmekomponentsetes metallisüsteemides“. Juhendaja Ülo Ugaste (f.-m.dr, TLÜ), oponent Tõnu Laas (PhD füüsikas, TLÜ).
- **Kirsti Rääim** „Teaduslike füüsikaliste mõistete kujunemine õpilastel loodusõpetuse ja füüsika õppimisel“. Juhendaja Ülo Ugaste (f.-m.dr, TLÜ), oponent Priit Reiska (Dr. sc. paed. habil, TLÜ).

Tallinna Ülikooli kasvatusteaduste ja pedagoogika magistr tööde kaitsmisnõukogu

- **Kadri-Ly Trahv** (Rakvere Realgümnaasiumi füüsikaõpetaja) „Nüüdisaegne õpe loodusteaduste õpetaja seisukohalt“. Juhendaja Henn Voolaid (TÜ), oponent Ene-Silvia Sarv (TLÜ). Omitatud pedagoogikamagistri kraad, hinnang *cum laude*.

III. ÕPPETÖÖ

- Euroopa Sotsiaalfondi poolt rahastatuna (meede 1.1 – Tööjõu paindlikkust, toimetulekut ja elukestvat õpet tagav ning kõigile kättesaadav haridussüsteem) alustasid tööd kaks materjaliteaduse alast doktorikooli: TÜ poolt koordineeritud „Materjaliteadus ja materjalide tehnoloogia (MMTDK)“ ja TTÜ poolt koordineeritud „Uued tootmistehnoloogiad ja -protsessid (UTPDK)“. Neis mõlemas osaleb partnerina KBFI (kontaktisik Raivo Stern, stern@kbfi.ee), samuti osaleb TÜ partnerina TTÜ doktorikoolis ning TTÜ TÜ omas.
- TÜ doktoriõppesse füüsika erialal võeti järgmised 18 õppurit: Andrei Kärkkänen, Sander Mirme, Sven Lange, Joel Kuusk, Ilmar Ansko, Janek Uin, Irina Kärkkänen, Marina Lulla, Marko Zirk, Kristjan Kannike, Silver Lätt, Elmo Tempel, Aare Floren, Raul Rammula, Lauri J. Liivamägi, Martin Vilbaste, Erik Lenz, Fred Valk.
- TÜ magistriõppesse füüsika erialal (4+2) võeti järgmised õppurid: Alar Ainla, Endel Soolo, Urmo Visk, Tiina Liimets, Argo Lukner, Priit Tuvike, Marika Uustare, Niina Voropajeva, Grigori Savustjan, Karin Laansalu-Veskioja, Roman Sarakvaša, Sergei Vlasov, Aliisi Lokotar.
- TÜ füüsikaosakonna magistriõppesse (3+2) võeti:
 - fundamentaalfüüsika erialal: Aleksandr Borissov, Semjon Galajev, Siim Miller, Ella Pöder, Olga Tarassova;
 - rakendusfüüsika erialal: Martin Kannel, Silver Leinberg, Ivo Pruul, Deivid Pugal, Vahur Zadin, Martin Timusk, Kristi Valdmets.
- Tartu Ülikooli füüsikaosakonna põhiõppe lõpetasid:
 - füüsika erialal:
 - 4-a. bakalaureuseõpe: Alar Ainla – *cum laude*, Igor Bljahnin, Karl Bogdanov, Tiina Liimets, Argo Lukner, Martin Merimaa, Mart Moppel, Lehar Oha, Ivo Pruul, Paavo Pärn, Tarmo Rosenberg, Roman Sarakvaša, Risto Sarv, Grigori Savustjan, Rain Sirendi, Endel Soolo – *cum laude*, Arvo Säilev, Vahur Zadin, Olga Tarassova, Natalia Tšironova, Airi Tullino, Ando Tuul, Priit Tuvike, Irina Vesi, Niina Voropajeva;

- 3-a. bakalaureuseõpe: Martin Kannel, Silver Leinberg, Siim Miller, Margus Pala, Liidia Pogorelova, Deivid Pugal – *cum laude*, Martti Tamm, Martin Timusk, Kristi Valdmets;
- infotehnoloogia erialal:
 - 3-a. bakalaureuseõpe: Raivo Alla, Aleksandr Bogdanov, Liidia Feklistova, Indrek Jaal, Kristo Kõiv, Kauri Kägo, Kaja Liiv, Aleksei Mahhov, Kristo Nikkolo, Anton Ragni, Kurmo Roosimäe, Margus Rosin, Aleksandr Savihhin, Tanel Tetlov, Aleksander Tõnnisson, Hannes Vaher, Aleksandr Vaskin;
 - 3-a. diplomiõpe: Lauri Anton, Merike Hein, Lauri Juhkamsoo, Alari Kruusmaa, Priit Pihlak, Andres Piirsalu, Priit Riislaid, Kristjan Saviauk, Rainer Tikk, Kait-Kaarel Vaino, Raidi Ois;
 - füüsikalise infotehnoloogia erialal:
 - 3-a. diplomiõpe: Maksim Boriskin;
 - materjaliteaduse erialal:
 - 4-a. bakalaureuseõpe: Taavi Audova, Semjon Galajev, Siim Hõdemann, Andres Jürgenson, Kairi Kasemets, Helina Klaassen, Madis Paalo, Jevgeni Šulga, Urmo Visk – *cum laude*, Sergei Vlassov;
 - 3-a. bakalaureuseõpe: Kristjan Jurss, Martin Järvekülg, Margus Kodu, Diana Kohv, Rainer Pärna, Kairit Saarepuu;
 - õpetajakoolituse aasta: Rihet Luikmäe, Reemo Voltri.
- Tartu Ülikooli füüsikaosakonna magistriõppe füüsika erialal (4+2) lõpetasid: Ilmar Ansko, Aare Floren, Kristjan Kannike, Joel Kuusk, Andrei Kärkkänen, Irina Kärkkänen, Sven Lange, Lauri Juhan Liivamägi, Marina Lulla, Silver Lätt, Sander Mirme, Heija Pärtel, Raul Rammula, Marko Zirk, Elmo Tempel, Thea Toomla, Janek Uin, Fred Valk, Martin Vilbaste, Anu Ömblus.
 - Tartu Ülikooli füüsikaosakonna magistriõppe infotehnoloogia erialal (3+2) lõpetasid: Margus Jäger, Kaupo Komsaare, Kristjan Piir, Henri Roostoja, Laas Toom, Aleksandr Tšarnetski.
 - Tartu Ülikooli füüsikaosakonna õpetajakoolituse (3+2) lõpetasid Jekaterina Bobkova ja Siim Oks.
 - Tallinna Tehnikaülikooli füüsikainstituudi juures õppisid tehnilise füüsika erialal:
 - a) doktorantuuris:
 1. Veljo Sinivee (juhendaja prof R.-K. Loide)

2. Andri Jagomägi (juhendaja prof J. Krustok)
 3. Mario Mars (juhendaja vanemteadur V. Harvig)
 4. Mario Kadastik (juhendajad vanemteadur Martti Raidal (KBFI) ja prof R.-K. Loide)
 5. Enli Kiipli (juhendaja prof A. Soesoo)
 6. Tambet Lember (juhendaja prof J. Elken)
 7. Reedik Kuldkepp (juhendaja prof A. Soesoo)
 8. Tõnis Oja (juhendaja prof R.-K. Loide)
 9. Dan Hivonen (juhendajad vanemteadurid U. Nagel ja T. Rõõm (KBFI))
 10. Ove Pärn (juhendaja prof J. Elken)
 11. Jaak Toomela (juhendaja dots M. Klopov)
 12. Gennadi Lessin (juhendaja vanemteadur U. Raudsepp (TTÜ Meresüsteemide Instituut))
 13. Juss Pavelson (juhendaja J. Laanemets (TTÜ Meresüsteemide Instituut))
 14. Evelyn Kalam (juhendaja prof A. Soesoo)
 15. Kristjan Urtson (juhendaja prof A. Soesoo)
 16. Priidik Lagemaa (juhendaja prof J. Elken)
- b) magistrantuuris (4+2): Annika Kriisa, Svetlana Vassiljeva, Ahto Kuusk, Liis Rebane, Edith Soosaar, Madis Tuul ja Jelena Greskosi.
- TTÜ lõpetasid tehnilise füüsika õppesuunal loodusteaduse bakalaureuse kraadiga: Mari Kalda, Radu Prekup, Madis Tuul, Kristi Veski, Robert Hudjakov, Meelis Leivits ja Geramo Väli.
 - Tallinna Ülikoolis õppisid füüsika magistrantuuris:
 - (4+2): Anneli Roode, Erkki Soika, Berit Pärnik ja Tatjana Škled;
 - (3+2): Katrin Teras, Nadežda Leitšenok, Ave Kokka, Alge Ilo Saar ja Gerrit Kanarbik.
 - TLÜ bakalaureuseõppe füüsikaõpetaja erialal lõpetasid (5-a. bakalaureuseõpe): Marek Päästel, Berit Pärnik, Tatjana Škled, Irina Kravtšuk, Artur Stepanov, Siiri Koidla ja Olesja Mertins-Poljanski.
 - TLÜ bakalaureuseõppe füüsika erialal lõpetasid (3-a. bakalaureuseõpe): Katrin Teras, Ave Kokka, Kaupo Kreitsman ja Nadežda Leitšenok.
 - Üliõpilaste teadustööde riikliku konkursi preemiad täppisteaduste valdkonnas said füüsika ja materjaliteaduse alased tööd:

1. rakenduskõrgharidusõppe ja bakalaureuseõppe üliõpilaste astmes:
 - III preemia (3000 EEK) – Alar Ainla (Tartu Ülikool) „Polümeeride algmudeli koostamine ja modelleerimine arvutisimulatsioonis“;
 - Diplom:
 - Deivid Pugal (Tartu Ülikool) „Merepõhja taimestikku uuriva seadme riistvaraline lahendus“;
 - Reeno Reeder (Tallinna Tehnikaülikool) „Mõningate kvantmehaanika ülesannete numbriline lahendamine“;
 - Urmo Visk (Tartu Ülikool) „Sm²⁺ -iooni elektronsiirde ⁷F₀–⁵D₀ faasi- ja energiarelaksatsioon“;
2. doktoriõppe üliõpilaste astmes:
 - II preemia (4500 EEK) – Aleksei Krasnikov (Tartu Ülikool), töödetsükkel „Luminestsentsi ja defektide loomise protsesid pliivolframaatkristallides kui perspektiivsetes stsintillaatormaterjalides“;
 - III preemia (3000 EEK) – Anti Liivat (Tartu Ülikool / Uppsala Ülikool) „Mida teame ioonjuhtivusest kristalsetes polümeerelektrolüütides?“
- Eesti Teaduste Akadeemia üliõpilastööde võistluse auhinnad said füüsika ja materjaliteaduse alased tööd:
 - I auhind (5000 kr) Martin Järvekülg (TÜ) – võistlustöö „Hafnium(IV)butoksiidi kasutamine oksiidsete materjalide väljatöötamisel“ (juhendajad mag Valter Reedo, prof Uno Mäeorg);
 - II auhind (2500 kr):
 - Mart Moppel (TÜ) – bakalaureusetöö „Konfokaalse mikroskoobi arendamine raman- ja mikroluminestsentsspektrite mõõtmiseks“ (juhendajad mag Martti Pärs, dr Ilmo Sildos);
 - Taisia Rõlova (TTÜ) – bakalaureusetöö „Pseudomonas fluorescens OS8-põhiste rekombinantsete raskemetallsensori- te konstrueerimine ja testimine“ (inglise keeles; juhendajad mag Angela Ivask, dr Anne Kahru);
 - Kristi Timmo (TTÜ) – magistritöö „Monoterapulbrilise CuInSe₂ omaduste kujundamine kasvatamisel kaaliumjodiidsulandaja keskkonnas“ (juhendaja juhtivteadur Mare Altosaar);

Niina Voropajeva (TÜ) – bakalaureusetöö „Kramersi kiirus ja Browni osakeste ülekannete tükati konstantsetel perioodilistel potentsiaalidel“ (vene keeles; juhendajad dots Teet Örd, prof Risto Tammelo).

- 10. märtsil võitsid TÜ Füüsika Instituudi magistrandistipendiumi Heli Valtna (juh Peeter Saari ja Kaido Reivelt), Sven Lange (juh Ilmo Sildos) ja Raul Rammula (juh Väino Sammelselg ja Jaan Aarik) ning bakalaureusestipendiumi Martin Järvekülg (juh Valter Reedo), Madis Paalo (juh Tanel Tätte) ja Urmo Visk (juh Artur Suisalu).
- 19. septembril määras Tartu Observatooriumi teadusnõukogu Ernst Julius Öpiku stipendiumi 10 000 EEK TÜ doktorandile Elmo Tempelile. Juhan Rossi nim. stipendiumi said TÜ doktorandid Joel Kuusk ja Silver Lätt (kumbki 7 500 EEK).

IV. TEADUSÜRITUSED EESTIS

- 19.–21. jaan toimus Tallinnas KBFI korraldamisel seminar „2nd Nordic Grid Neighbourhood Workshop“. Ürituse teemaks oli grid-tehnoloogia ja selle rakendused teaduses ning arenduses. Ürituse raames toimus Tallinna IT Kolledžis tudengitele ja teadlastele mõeldud ühepäevane praktiline koolitus. Seminaril osales 34 teadlast ja koolitusel oli 43 osalejat, ürituse peakorraldaja oli KBFI teadur Andi Hektor. Lisainfot Nordic Grid Neighbourhood'i ja selle tegevuse kohta leiab veebilehelt <http://www.nicpb.ee/NordicGrid/>.
- 24.–26. jaan toimus TÜ keskkonnafüüsika instituudis rahvusvaheline seminar pilvede ja tõusvate õhuvoolude teemal (HIRLAM mini-workshop on convection and clouds), kus tähelepanu keskmeks oli nende nähtuste käsitlemine atmosfääri numbrilistes mudelites eesmärgiga parandada ilmaennustuse kvaliteeti. Seminarist võttis osa 31 teadlast 16st Euroopa ja Põhja-Ameerika riigist. Prominentsemad osavõtjad: Paul Schultz (NOAA, USA), Jean Quiby (Šveitsi Ilmateenistus), Jean-François Geleyn (Meteo-France/CHMI, Prantsusmaa/Tšehhi), Per Unden (SMHI, Rootsi). Esitati 23 ettekannet. Korraldajad prof Rein Rõõm ja teadur Marko Kaasik. Üritust toetas Põhjamaade Ministrite Nõukogu

koostööprojekt NetFAM, mille eesmärgiks on arendada atmosfääri modelleerimise alast rahvusvahelist koostööd.

- 22.–23. märtsil korraldas Eesti Füüsika Selts Tartus XXXV Eesti füüsikapäevad ja XXVII Eesti füüsikaõpetajate päevad. Seoses rahvusvahelise füüsika-aastaga 2005 ja andmaks üritusele laiemat kõlapinda toimusid füüsikapäevad seekord koos füüsikaõpetajate päevadega, millest ka harjumuspärasest mõnevõrra erinev toimumisaeg. Traditsiooniliselt kuulusid füüsikapäevade programmi meie füüsikute viimase aja uurimistulemusi tutvustavad ettekanded. Registreerus 165 osalejat, kuulati 23 planeeritud ja ühte erakorralist (Kaido Reivelt) ettekannet, esitati 16 stendiettekannet. Suulisi ettekandeid oli kokku umbes 11 tundi. Päevade raames toimusid EFSi üldkogu, seltsiõhtu ja näitused.
- 25.–29. aprillil toimunud Tartu ettevõtlusnädala raames korraldati Tartu Ülikooli tehnoloogiapäevad. Ürituse eesmärgiks oli tutvustada laiemale avalikkusele uuemaid teadustulemusi ning viia kokku tehnoloogiate loojad ja kasutajad. Parimaks ülikoolidest võrsunud ettevõtteks valiti OÜ Müomeetria. Tegemist on Tartu Ülikooli *spin-off*’iga, mis arendab ja toodab diagnostikaseadet nimega müomeeter, mis on mõeldud skeletilihaste ja pehmete kudede funktsionaalsuse mõõtmiseks. Müomeetri aluseks oleva tehnoloogia on leiutanud ja välja töötanud Tartu Ülikooli eksperimentaalfüüsika ja tehnoloogia instituudi vanemteadur Arved Vain.
- 4. mail korraldasid TÜ keskkonnafüüsika instituut ja TÜ Ajaloo Muuseum muuseumi valges saalis teaduspäeva „Jaan Reinet – 100“. 8. mail 1905 Tarvastus sündinud Jaan Reinet lõpetas Tartu Ülikooli 1935. aastal, töötas siin õppejõuna aastatel 1946–1976, rajas 1964. aastal aeroionisatsiooni ja elektraerosoolide labori ning oli 1971–1975 selle juhataja. Labor kasvas juhtivaks asutuseks atmosfääri ionisatsiooni uurimise ja elektromeetria alase ning aerosooli spektromeetria alase teadusliku aparatuuri konstrueerimise alal NSVLs ja oli tuntud ka välismaal. Töö tulemused leidsid praktilist rakendust meditsiinist naftajääkide põletamiseni. Jaan Reinetile on omistatud üle 30 autoritunnistuse, ENSV teenelise leiutaja aunimetus (1974) ja ENSV riiklik preemia (1967). Teaduspäeval astusid ettekannetega üles endised kolleegid, sõbrad ja õpilased (7 ettekannet). Lisaks sai näha

väljapanekut Jaan Reineti valmistatud aparaatidest ja talle omistatud diplomitest, mille koostas museoloog Toomas Pung. Teaduspäeva organiseerisid Eduard Tamm keskkonnafüüsika instituudist ja Lea Leppik TÜ Ajaloo Muuseumist, osavõtjaid oli 68. Üritus oli pühendatud rahvusvahelisele füüsika-aastale.

- 25.–27. mail toimus Tallinnas EENeti ja KBFI korraldamisel „4th EUGridPMA Meeting“. Koosolek oli juba neljas korraline üritus, kus kohtusid maailma suurimate grid-projektide ja teadusasutuste sertifitseerimiskeskuste esindajad. Koosolekul pandi alus gridi sertifitseerimiskeskuste võrgule „International Grid Trust Federation“. Väga positiivse vastuvõtu leidis Eesti ID-kaardi projekt. Teised võrgustiku partnerid alles unistavad sellisest lähendusest. Üritusel oli 35 osalejat 22 riigist. Ürituse peakorraldajateks olid Lauri Anton (EENet) ja Andi Hektor (KBFI). Täpsem info <http://www.nicpb.ee/NordicGrid/EUGridPMA/Main>.
- 3.–9. juunil oli TÜ FI külaliseks prof Alex K. Müller, Nobeli füüsikapreemia 1987. a laureaat. Prof Alex K. Müller töötab IBMi Zürichi Uurimislaboris Šveitsis. Ta pidas 8. juunil TÜ aulas kõrgtemperatuurset ülijuhtivust tutvustava avaliku loengu „The Development of Superconductivity Research in Oxides“.
- 17.–19. juunil toimus Jänedas Mõisas EFS noorfüüsikute III suvekool. Osalejaid oli 49. Vt. täpsemalt <http://www.fyysika.ee/kool/index.php/Kool/Suvekool2005>.
- 20.–21. juunil toimus Tõraveres Tartu Observatooriumi ja Turu Ülikooli Tuorla Observatooriumi kosmoloogia gruppide ühisseminar „Galaktikatest superparvedeni“. Kahe päeva jooksul kuulati ära 19 ettekannet. Soomest oli 6 osavõtjat.
- 27.–29. juunil toimus Pikajärvel V Soome-Eesti aeroiooniseminar (Finnish-Estonian Air Ion Workshop). Korraldajad: Soome poolt prof Markku Kulmala, Eesti poolt prof Hannes Tammet. Osavõtjaid oli 31, ettekandeid 20, sh 10 ettekannet Soome teadlastelt.
- 15.–19. aug korraldas Tartu Observatoorium Tartus hotellis „London“ rahvusvahelise konverentsi „Täheevolutsioon metallivaesel epohhil: aine väljavool, plahvatused, kosmoloogia“. Teadusliku orgkomitee kaasesimehed olid Henny Lamers ja Norbert Langer Utrechti Ülikoolist (Holland), Tartu Observatooriumi poolt oli liige Enn Saar. Kohaliku orgkomitee moodustasid Kalju

Annuk, Indrek Kolka, Laurits Leedjärv, Tiit Nugis (esimees) ja Mare Ruusalepp, abiks olid Anti Hirv ja Tiina Liimets. Osales 63 astronoomi 15 riigist. Konverentsi avas Riigikogu esimees akadeemik Ene Ergma.

- 11. okt korraldas Anu Reinart Keskkonnaministeeriumi toetusel Tõraveres Eesti teise kaugseireseminari. Osales üle 70 inimese nii teadusasutustest kui ka riigiasutustest ja ettevõtetest. Pikem ülevaade on saadaval veebist aadressil <http://www.aai.ee/kaugseireweb/>.
- 28.–30. okt toimus Kääriku Spordi- ja Puhkekeskuses Eesti Füüsika Seltsi noorte füüsikute VII sügiskool, osavõtjaid oli 70. Organiseerijad: Andi Hektor (KBFI), Ahto Kuusk (TTÜ), Mait Müntel (KBFI), Kaido Reivelt (TÜ FI) ja Margus Saal (TÜ FI).
- 8.–14. nov oli Tartu Ülikooli füüsikahoones ja 21.–30. nov Tallinna Tehnikaülikooli peahoones Euroopa Komisjoni toetatud tuumasünteesienergeetika näitus „Expo Fusion“, mille vahendas Eestisse EFS (siinpoolsed korraldajad Madis Kiisk (TÜ FI) ja TTÜ füüsikainstituut).
- 10. ja 11. nov tähistasid TÜ keskkonnafüüsika instituut, TÜ geograafia instituut, Tartu Observatoorium ning Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut kahe konverentsiga 140 aasta möödumist regulaarse ilmamõõtmise algusest Eestis. 10. nov toimus ajalookonverents „TÜ Meteoroloogia Observatoorium 140“. Ürituse avas TÜ rektor Jaak Aaviksoo, tervitussõnad ütles EMHI peadirektor Jaan Saar. Ettekandega esines WMO peasekretär Michel Jarraud. Järgnesid 6 ettekannet Eesti meteoroloogia algusaastatest, meteoroloogiaobservatooriumi (Metobs) ajaloost ja tähtsusest. Osavõtjaid oli 77. Lisaks oli TÜ raamatukogus üles pandud näitus „Metobs 140“. Korraldati linnaekskursioon observatooriumiga seotud paikadesse (osales 50 inimest). Tähistamine jätkus 11. novembril Tõraveres Tartu Observatooriumi saalis geofüüsikaalase teaduskonverentsiga „Eesti geofüüsika 2005“. Kuulati 13 teadusettekannet eesti meteoroloogidelt, atmosfäärifüüsikutelt, merefüüsikutelt ja geofüüsikutelt. Lisaks oli eksponeeritud 20 stendiettekannet. Osavõtjaid oli 98. Ürituste peorganisatooriks oli Piia Post TÜ keskkonnafüüsika instituudist. Lisainfo: <http://ael.physic.ut.ee/KF.Private/Piia.Post/METOBS/>.

- Novembri alguses toimus TÜ Tehnoloogiainstituudis teaduse ja ettevõtluse koostöö ning tehnoloogiasiirde seminar. Tartu Ülikooli ja Hollandi Kuningliku Suursaatkonna koostöös korraldatud seminaril arutati, kuidas rakendada teadustulemusi äri teenistusse, millised on kasud ettevõtjatele ning millised ülikoolidele. Kogemusi vahendasid tippspetsialistid Hollandist ja Eestist.
- 8. dets toimus Tallinnas KBFI-s Eesti ja Soome teadlaste ühhiseminar, mille teemaks oli võimalik fusioonialane koostöö Euroopa Euratomi EFDA programmi raames. Seminaril osales 18 teadlast, esindatud olid kõik suuremad füüsikaga tegelevad teadusasutused Eestis (KBFI, TÜ, TTÜ) ja suuremad EFDA partnerid Soomes (TUT, VTT). Loodetavasti paneb see seminar aluse mõnele edukale koostööprojektile nii Eesti sees kui ka Soome ja Eesti teadlaste vahel. Täpsemat infot leiab Eesti fusiooni-alaselt veebilehelt: <http://www.nicpb.ee/EstFusion/>.

V. TEADUSTÖÖ

- 24. veebr andis peaminister Juhan Parts Toompeal Teaduste Akadeemia saalis kätte Eesti Vabariigi teaduspreemiad. Auväärse tunnustuse ja 150 000 kroonise preemia said:
 - täppisteaduste valdkonnas KBFI vanemteadur Martti Raisal tööga kvarkide ja leptonite ühendteooriast;
 - tehnikateaduste valdkonnas TTÜ prorektor, materjalitehnika instituudi professor Jakob Kübarsepp (kollektiivi juht), TÜ Füüsika Instituudi madalate temperatuuride labori juhataja, vanemteadur, füüsika-matemaatikakandidaat Ants Lõhmus, TTÜ materjalitehnika instituudi vanemteadur Irina Hussainova ja TÜ Füüsika Instituudi erakorraline teadur, PhD Rünno Lõhmus tööde tsükli eest „Mikro- ja nanotehnoloogiliste uurimismeetodite arendamine tööstuslike materjalide väljatöötamiseks“.
- 23. nov kuulutati välja Sihtasutuse Eesti Rahvuskultuuri Fond stipendiumid. Akadeemik Harald Keres pälvis elutöö tänuauhinna. Heino Eelsalu allfondi stipendiumi (toetamaks teadustegevust paleoastronoomia ja täppisteaduste ajaloo alal) sai Vahur Mägi

uurimustööks teemal „Eesti tehnikaharitlaskonna täppisteadusliku maailmapildi kujunemine 1920.-1930. aastatel“.

- 19. maist kuni 30. juunini oli TÜ raamatukogus avatud näitus TÜ FI teoreetilise füüsika labori teeneka osakesteuuriija Laur Palgi 70nda sünnipäeva puhul.
- Magistrant Martin Järvekülg (TÜ FI) pälvis ettekande eest diplomiga ja auhinna 29. aug – 2. sept Oviedos (Hispaania) toimunud rahvusvahelisel nanotehnoloogia konverentsil „Trends in Nanotechnology, TNT 2005“.
- Doktorant Aleksandr Lisovski (TÜ FI) pälvis diplomiga parima stendiettekande eest 10.-18. sept Tomskis (Venemaa) toimunud konverentsil „International Conference on Atomic and Molecular Pulsed Lasers“.

**Teadus- ja arendusasutuste sihtfinantseeritavaid teadusteemasid
2005. aastal**

- TÜ 0181791s01
Kiirguse, plasma ja tahkise vastasmõju optilis-spektroskoopilised uuringud
Aaviksoo, Jaak 2001–2005, 802 000 kr
- TÜ 0182134s02
Laia keelutsooniga dielektriliste ja optiliste materjalide süntees ja füüsikalised omadused
Pung, Lembit 2002–2006, 870 000 kr
- TÜ 0182133s02
Atmosfääriprotsesside dünaamiline ja statistiline modelleerimine
Rõõm, Rein 2002–2006, 2 435 000 kr
- TÜ 0182529As03
Loodusteadusliku hariduse relevantsuse kontseptsioon ja relevantsust mõjutavad tegurid üldhariduskoolis
Rannikmäe, Miia 2003–2007, 432 000 kr
- TÜ 0182556s03
Protsessid modifitseeritud piirpindadel ja faasides ning nende rakendused uuetüübilistes elektrienergia allikates ning energiasalvestites
Lust, Enn 2003–2007, 2 131 000 kr

- TÜ 0182647s04
Stohhastilised protsessid mittetasakaalulistest füüsilistest süsteemides
Tammelo, Risto 2004–2008, 820 000 kr
- TÜ FI 0382144s02
Eesti keskkonna radioaktiivsus ja kiirgusdoos
Realo, Enn 2002–2006, 735 000 kr
- TÜ FI 0382147s02
Biofüüsilised elementaarprotsessid ja nende dünaamika
Freiberg, Arvi 2002–2006, 1 143 000 kr
- TÜ FI 0382150s02
Valgustundlike materjalide laserspektroskoopia ja nende rakendused
Kikas, Jaak 2002–2006, 2 050 000 kr
- TÜ FI 0382146s02
Laserfüüsika ja laseroptilised tehnoloogiad
Saari, Peeter 2002–2006, 2 145 000 kr
- TÜ FI 0382145s02
Aine süvastruktuuri teooria
Hižnjakov, Vladimir 2002–2006, 2 473 000 kr
- TÜ FI 0382149s02
Nanostruktuursed materjalid
Rosental, Arnold (kuni oktoobrini Haller, Kristjan) 2002–2006, 2 569 000 kr
- TÜ FI 0382148s02
Fundamentaalnähtused laia keelutsooniga materjalides ja nende rakendusperspektiivid
Luštšik, Aleksandr 2002–2006, 3 243 000 kr
- TÜ TI 0182563s03
Vaiksed seadmed: materjalid ja juhtimisalgoritmid
Aabloo, Alvo 2003–2007, 556 000 kr
- TTÜ 0141752s01
Ainete ja materjalide struktuuriuuringud
Kallavus, Urve 2001–2005, 754 000 kr
- TTÜ 0141755Bs01
Gaasiliste, vedelate ja tahkete jäätmete kombineeritud töötlusprotsesside uurimine
Munter, Rein 2001–2005, 1 069 000 kr

- TTÜ 0141754s01
Seire- ja andmehõivesüsteemid: elektroonsed komponendid, tehnoloogia, lülitused; mudelid, algoritmid, süsteemi-integratsiooni meetodid
Min, Mart 2001–2005, 1 813 000 kr
- TTÜ 0142079s02
Metallikomplekside kvantkeemilised mudelid
Tamm, Toomas 2002–2006, 442 000 kr
- TTÜ 0142085s02
Ehituskonstruksioonide ja -materjalide töökindluse, ohutuse ja riski analüüs ehituses
Õiger, Karl 2002–2005, 809 000 kr
- TTÜ 0142084As02
Bioelektriliste signaalide interpreteerimine
Hinrikus, Hiie 2002–2006, 1 004 000 kr
- TTÜ 0142080s02
Elektrit juhtivate polümeeride omaduste ja kasutamismõimaluste uurimine mitmekihilistes struktuurides
Õpik, Andres 2002–2005, 1 305 000 kr
- TTÜ 0142081s02
Eesti energeetilise ressursi säästliku kasutuse teed ja vahendid
Ots, Arvo 2002–2006, 1 392 000 kr
- TTÜ 0142506s03
Mehhatronika- ja mõõtesüsteemide süntees: modelleerimine, optimeerimine ja kvaliteediohje
Tamre, Mart 2003–2007, 347 000 kr
- TTÜ 0142515s03
Nano ja submikroonsete kilede keemia ning tehnoloogia
Krunks, Malle 2003–2007, 646 000 kr
- TTÜ 0142514s03
Vedeliku dünaamiline koostoime piiretega
Metsaveer, Jaan 2003–2007, 719 000 kr
- TTÜ 0812526s03
Disperssete (gaas-tahked osakesed) vooluste teooria arendamine ja rakendused energeetikas
Rudi, Ülo 2003–2007, 1 110 000 kr
- TTÜ 0142505s03
Kulumiskindlad materjalid ja kulumine
Kübarsepp, Jakob 2003–2007, 1 145 000 kr

- TTÜ 0142516s03
Pooljuhtpäikesenergeetika materjalide keemia, füüsika ja tehnoloogia
Mellikov, Enn 2003–2007, 2 288 000 kr
- TTÜ 0142628s04
Kütused ja kütuse komponendid, nende termodünaamilis-füüsikalised omadused
Oja, Vahur 2004–2008, 626 000 kr
- TTÜ 0182644As04
Nanotehnoloogiliste süsteemide molekulaardisain
Karelson, Mati 2004–2008, 696 000 kr
- TTÜ 0142687s05
Sünteesiliste ja looduslike polümeerimaterjalide omadused ja vääristamine
Viikna, Anti 2005–2010, 670 000 kr
- TTÜ KÜB0322521s03
Mittelineaarne dünaamika ja pingeanalüüs
Engelbrecht, Jüri 2003–2007, 2 561 000 kr
- TTÜ MSI 0822522s03
Läänemere vee- ja ainevahetusprotsessid muutuvates kliimatingimustes. Rannikumere dünaamika ja optika
Elken, Jüri 2003–2007, 2 170 000 kr
- TPÜ 0182529Bs03
Loodusteadusliku hariduse relevantsuse kontseptsioon ja relevantsust mõjutavad tegurid üldhariduskoolis
Reiska, Priit 2003–2007, 216 000 kr
- KBFI 0222597s03
Prioriteetsete saasteainete olek ja jaotumine Eesti keskkonnas
Kirso, Uuve 2003–2007, 813 000 kr
- KBFI 0222598s03
Keemiline spektraalfüüsika
Lippmaa, Endel 2003–2007, 5 508 000 kr
- TO 0062466s03
Eesti ning Balti regiooni keskkonna optilise kaugseire alused
Kuusk, Andres 2003–2007, 2 070 000 kr
- TO 0062465s03
Struktuuride areng Universumis kaugest minevikust tänapäevani
Einasto, Jaan 2003–2007, 2 300 000 kr

- TO 0062464S03
Tähtede ehitus, keemiline koostis ja evolutsioon
Kipper, Tõnu 2003–2007, 2 772 000 kr

Eesti Teadusfondi 2005. aastal alanud uurimistoetused

Varasematel aastatel alanud ETF uurimistoetuste nimekirjad on eelmistes EFS aastaraamatutes.

- Spinnorientatsiooni efektid tulevikupõrkuritel standardmudelil ja väljaspool (6216) 2005–2008
Grandihoidja: Stefan Groote, Tartu Ülikool
- Pehme kvantdünaamika ja singulaaroptika teooria (6534) 2005–2007
Grandihoidja: Vladimir Hižnjakov, TÜ Füüsika Instituut
- Uute analüüsimeetodite arendamine keskkonnakiirguse rakendustes (6535) 2005–2008
Grandihoidja: Madis Kiisk, TÜ Füüsika Instituut
- Isolaatorkilede röntgenspektroskoopilised uuringud (6536) 2005–2008
Grandihoidja: Arvo Kikas, TÜ Füüsika Instituut
- Nanomeetriliste pinnastruktuuride formeerimise meetodid ja struktuuride mõned omadused (6537) 2005–2008
Grandihoidja: Ilmar Kink, TÜ Füüsika Instituut
- Fluoriididel ja oksiididel põhinevate optiliste materjalide diagnostika ühe- ja mitmefootonilise vaakumultraviolettspektroskoopia meetodil (6538) 2005–2008
Grandihoidja: Marco Kirm, TÜ Füüsika Instituut
- Ferroelektriliste ja ülijuhtivate kilede omadused elektri- ja magnetväljas ning fotoindutseeritud nähtused (6539) 2005–2007
Grandihoidja: Peet Konsin, TÜ Füüsika Instituut
- Kõrgtemperatuursete ülijuhid mitmetsoonilistes stsenaariumides (6540) 2005–2007
Grandihoidja: Nikolai Kristoffel, TÜ Füüsika Instituut
- Singlett-tripleett siirete terahertsspektroskoopia spinnpiluga ainetes (6138) 2005–2008
Grandihoidja: Urmas Nagel, Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut
- Üksikute footonite allikad ja nende rakendamine kvantoptika eksperimendis (6543) 2005–2008

- Grandihoidja: Viktor Palm, TÜ Füüsika Instituut
- Mitmefootonilised ergastus- ja ionisatsiooniprotsessid mitte-gaussilistes laserkiirtes (6550) 2005–2008
Grandihoidja: Viktor Peet, TÜ Füüsika Instituut
 - Leptogenees, supersümmeetria ja LHC füüsika (6140) 2005–2008
Grandihoidja: Martti Raidal, Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut
 - Ühe molekuli spektroskoopia optiliselt kaksikmurdivas kristallis (6545) 2005–2008
Grandihoidja: Inna Rebane, TÜ Füüsika Instituut
 - Tahkiste, sh valkude struktuuri ja dünaamika optiline seire nanomastaabis (6546) 2005–2008
Grandihoidja: Indrek Renge, TÜ Füüsika Instituut
 - Lokaliseeritud lained ülikiir- ja kvantoptikas (6547) 2005–2008
Grandihoidja: Peeter Saari, TÜ Füüsika Instituut
 - Mitmekvandalised korrelatsioonid dünaamilise ja hüperrotatsiooni tingimustes (6143) 2005–2008
Grandihoidja: Ago Samoson, Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut
 - Lumineentsentsi ja defektide loomise protsessid stsintillatsioonimaterjalides (6548) 2005–2007
Grandihoidja: Svetlana Zazuboviš, TÜ Füüsika Instituut
 - Optiline dünaamiline neeldumine (murdumine) elektrilahendusega pumbatavates inertgaaside keskkondades kõrgel rõhul (6549) 2005–2008
Grandihoidja: Aleksei Treštšalov, TÜ Füüsika Instituut
 - Ionisatsiooni ja saastegaaside osa klastrite ja nanomeeterosakeste tekkimisel ning evolutsioonis atmosfääriõhus (6223) 2005–2008
Grandihoidja: Urmas Hörrak, Tartu Ülikool
 - Kiirgusenergia hajumine ja neeldumine looduslikes ja kultiveeritud taimkatetes (6100) 2005–2008
Grandihoidja: Andres Kuusk, Tartu Observatoorium
 - Täheevolutsioon metallivaesel epohhil: aine väljavool, plahvatused, kosmoloogia (6102) 2005–2005
Grandihoidja: Tiit Nugis, Tartu Observatoorium
 - Suuremastaabilise struktuuri täppiskosmoloogia (6104) 2005–2008
Grandihoidja: Enn Saar, Tartu Observatoorium

- Täheatmosfäärade ja tähetuule ehitus ja spektrid; füüsilised protsessid neis (6105) 2005–2008
Grandihoidja: Arved-Ervin Sapar, Tartu Observatoorium
- Galaktikate evolutsioon gruppides (6106) 2005–2008
Grandihoidja: Jaan Vennik, Tartu Observatoorium
- Eesti füüsikud osalevad järgmistes Euroopa Liidu programmides:
 - EU Education and Culture (Socrates) ERASMUS 3 (thematic network) on Medical Natural Sciences (MedNatNet), programmi juht P. Mager (The Free University of Amsterdam), Eesti koordinaator A. Freiberg (TÜ MRI)
 - Research grant II-03-019 at DESY, Hamburg University (2003–2005) „Optical characterization of metal dioxide films“, finantseerimine EU fondist „Research Infrastructure Action“ (Ilmo Sildos, TÜ FI)
 - Research grant at Angstrom Nano Centre, Uppsala University „Doped metal-oxide nanomaterials for luminescence and gas sensing applications“, finantseerimine EU programmist „Access to Research Infrastructure action of the Improving Human Potential Programme“ (Ilmo Sildos, TÜ FI)
 - EU programmi LASERLAB-EUROPE grant Ilc001119 „Time Resolved Single-Molecule Spectroscopy of Terrylene in Incommensurate Biphenyl“ (Viktor Palm, TÜ FI)
 - Osalus Euroopa Teadusfondi programmis „Nanotribology“, Eesti esindaja Ants Lõhmus (TÜ FI)
 - Osalus Euroopa Teadusfondi programmis „Nonlinear Acoustic Techniques for Microscale Damage Diagnostics“ (NATEMIS), Eesti esindaja Arvi Ravasoo (TTÜ Kübl)
 - Osalus Euroopa koostööprogrammis COST-P13 „MolSimu“, Eesti esindaja Ants Lõhmus (TÜ FI)
 - Osalus programmis COST Chemistry Working Group D35, programmi juht V. Sundström, Eesti koordinaator Arvi Freiberg (TÜ FI)
 - COST projekt P16 „ECOM: Emergent Behaviour in Correlated Matter“, Eesti-poolseteks liikmeteks projekti juhtkomitees (Management Committee) on KBFI vanemteadurid Toomas Rõõm ja Raivo Stern

- Osalus Euroopa koostööprogrammis COST-726 „Long-term changes and climatology of UV radiation over Europe“, Eesti esindaja Kalju Eerme (TO)
- ESF *a la carte* projekt „HFM: Highly Frustrated Magnetism“, Eesti-poolseks koordinaatoriks projekti juhtkomitees (Steering Committee) on KBFI vanemteadur Raivo Stern
- ESF *a la carte* projekt „Experimental and Theoretical Design of Stimuli-Responsive Materials“ (STIPOMAT), Eesti esindaja Alvo Aabloo (TÜ FKEF)
- EU projekt „EU TRAIN – European Training for Student Teachers in Science“, Eestist osaleb Tartu Ülikool (esindajad Jaan Susi ja Ott Krikmann).
- TÜ FIioonkristallide füüsika labor osaleb NATO programmis „Security Through Science“: grant nr. EAPRIG.981411 „Investigation of materials for radiation detection and lighting applications“, grandihoidja V. Babin (TÜ FI), 2005–2007.
- TÜ FIioonkristallide füüsika labor osaleb Põhjamaade koostöövõrgustikus „Nordic research education network: Synchrotron-based electron spectroscopy“ („Sünkrotronkiirgusel baseeruv elektronspektroskoopia“) sünkrotronkiirguse kasutamiseks. Finantseerija NordForsk (endine NORFA). Osalised: Bergeni Ülikool (Norra), Tartu Ülikool, Uppsala Ülikool (Rootsi) ja Aalborgi Ülikooli (Taani), grandihoidja prof. L Saethre (Bergeni Ülikool), 2003–2006.
- TÜ Füüsika Instituuti külastasid mitmel korral Lõuna-Korea suurfirma SAMSUNG SDI esindajad. Visiitide esimeseks tulemuseks oli kahe lepingu sõlmimine: „Uute plasmadispleipaneelides kasutatavate sekundaarseid elektrone emiteerivate kileliste materjalide väljatöötamine ja seni kasutuselolevate parendamine kasutades järgmiseid kiletehnoloogilisi meetodeid – elektronkiir ja laseraurustamine, aatomkiht-sadestamine“ (vastut. täitja M. Kirm, 2005–2006, 12 kuud) ja „Plasmadispleide süütepinge ja kaitsekihi luminesentsomaduste korrelatsiooni uurimine“ (vastut. täitja, E. Feldbach, 05.04.–05.08.2005, 4 kuud).
- Tartu Observatooriumi teadlased said uurimistoetusi järgmiste projektide elluviimiseks:
 - Lageraidesarnaste muutuste kaardistamine satelliidipildidelt. 2005. aasta metsanduse programmi projekt nr 33–SA Keskkonnainvesteeringute Keskus: M. Lang – 201 kEEK;

- Keskkonnaministeeriumi riikliku keskkonnaseire programmi allprogramm „Eesti maastike muutuste uuringud ja kaugseire“: U. Peterson – 200 kEEK;
 - Deklareeritud põllupindade kontroll kaugseirevahenditega – Põllumajanduse Registrate ja Informatsiooni Amet (PRIA): U. Peterson – 20 kEEK;
 - Puude ja põõsaste katvus Saare maakonna põllumassiividel – PRIA: U. Peterson – 55 kEEK;
 - EC Marie Curie reintegratsiooni grant ERG 004401 „Eesti veekeskonna kaugseire Peipsi järve näitel“: A. Reinart, T. Nilson – 40 kEUR;
 - Keskkonnaministeeriumi riikliku keskkonnaseire programmi allprogramm „Eesti rannikumere ja siseveekogude kaugseire meetodite täiustamine“: A. Reinart – 60 kEEK;
 - Keskkonnaministeeriumi riikliku keskkonnaseire programmi allprogramm „Eesti II kaugseire seminari korraldamine“: A. Reinart – 23 kEEK.
- Jätkub kolmepoolne koostööleping (2003–2006) TÜ keskkonnanfüüsika instituudi (FKKF), Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi (EMHI) ning Soome Meteoroloogia Instituudi (FMI) vahel numbrilise ilmaennustusmudeli HIRLAM arendamiseks.
 - Jätkub TÜ keskkonnanfüüsika instituudi (A. Mirme) koostöö maailma juhtiva aerosooli uurimise aparatuuri tootva firmaga TSI Incorporated (USA).
 - TÜ Füüsika Instituudis jätkas tööd spektroskoopiaseminar (toimkond: Arvi Freiberg, Vladimir Hižnjakov, Jaak Kikas, Peeter Saari, Ilmo Sildos, Aleksandr Luštšik).
 - TÜ Füüsika Instituudis taasalustas tööd teoreetilise füüsika labori seminar.
 - Tartu Observatooriumis toimusid regulaarselt astrofüüsika, kosmoloogia ja atmosfäärifüüsika seminarid.
 - TÜ füüsikaosakonnas jätkasid regulaarset tööd teoreetilise füüsika, astronoomia, gaaslahenduse ja keskkonnanfüüsika seminarid.

VI. RAAMATUD JA KOGUMIKUD

1. Ernst Julius Öpik. Meie kosmiline saatus. Sarja „Eesti mõttelugu“ 60. köide. Koostanud ja toimetanud Mihkel Jõeveer, tõlkinud Mihkel Jõeveer, Ruth Lias, Indrek Kolka, Kalju Eerme, Tõnu Viik, Anneli Andresson, Kristin Marmei, Kristin Haljasorg (Sarv), Laurits Leedjärv, Uno Veismann. Ilmamaa, 2005, 496 lk.
2. Universum valguses ja viimas. Universumi-sarja 4. raamat. Koostanud Uno Veismann ja Rein Veskimäe. Reves Grupp, 2005, 344 lk.
3. Loodusainete õpetamisest koolis. II osa (keemia ja füüsika õpetamise metoodika-alased artiklid). Koostajad: Lehho Jõumees, Neeme Katt, Hille Roolaid. Riiklik Eksami- ja Kvalifikatsioonikeskus, Tallinn: Argo, 2005
4. Rein-Karl Loide. Füüsika näidisülesandeid gümnaasiumile. Tallinn: Koolibri, 2005

VII. FÜÜSIKAHARIDUSLIK TEGEVUS

- Tallinnas Akadeemia majas toimusid avalikud akadeemilised loengud:
 - 30. märts – akadeemik Peeter Saari „Füüsika ja turvalisus“;
 - 16. nov – akadeemik Karl Rebane „Foononvabad joned, ühe molekuli spektroskoopia, valguse aeglustamine ja seiskamine“.
- ETV ülipopulaarses saates „Pealtnägija“:
 - 9. veebr esines Tartu Observatooriumi direktor Laurits Leedjärv teemal „Eesti oma kosmoseagentuur?“
 - 7. sept näidati ajakirjanik Mihkel Kärmase reportaaži CERNist. Sealset teadustööd tutvustasid KBFI teadurid Martti Raidal ja Andi Hektor.
- 25. veebr ilmus Õpetajate Lehe füüsika ja keemia lisaleht, milles avaldati järgmised füüsika õpetamisega seotud artiklid:
 - Guido Vegmann (Tallinna Inglise Kolledži füüsikaõpetaja) – Füüsikaõppest neile, kes ise füüsikat ei õpeta;
 - Svetlana Ganina ja Henn Voolaid (TÜ) – TÜ füüsikaõppe motivatsioon ja efektiivsus;

- Enn Pärtel (TÜ füüsika didaktika lektor) – Loodusained vajavad füüsika lähedust;
 - Kadri-Ly Trahv (Rakvere Realgümnaasiumi füüsikaõpetaja) – Nüüdisaegsele õppele on omane integratsioon;
 - Ott Krikmann, Jaan Susi, Henn Voolaid (TÜ) – Eesti õpilaste väärarusaamad kiiruse ja kiirenduse vektorite suundade määramisel;
 - Arne Silas (GAG füüsikaõpetaja) – Ka GAG pöörleb siiski!
 - Mart Kuurme (Tallinna Reaalkooli füüsika ja loodusõpetuse õpetaja) – VIII klassi füüsika kui järg VII klassi loodusõpetusele.
- 21. märtsil korraldasid TÜ füüsikaosakond ja TÜ teaduskool koostöös Eesti Füüsika Seltsiga 3. akadeemilise füüsikaolümpiaadi. Olümpiaadist võisid osa võtta kõik Tartu Ülikooli füüsikaosakonna üliõpilased, eriarvestuses ka õppejõud ja teadustöötajad ning teiste erialade üliõpilased. Ülesanded olid ülikooli üldfüüsika programmi teemadel. Olümpiaad toimus TÜ füüsikahoones (Tähe 4). Osales 11 üliõpilast. Võrdse punktisummaga tulid võitjateks Alar Ainla ja Mihkel Kree.
 - 15. juulil 2005 kanti UNESCO maailmapärandi nimekirja Tartu Ülikooli täheteadlase E.G.W. Struve geodeetiline kaar, mis on 2820 km pikkune meridiaanilõik, ulatudes Põhja-Norrast Musta Mereni. Eestil on tänu Struve kaarele nüüd kaks objekti UNESCO maailmapärandi nimekirjas – teine on Tallinna vanalinn.
 - 10.–15. aug toimus Kaalis Saaremaal astronoomiahuviliste 10. üle-Eesti kokkutulek. Osalejad tutvusid Leo Katugini observatooriumiga Laimjalal, kus peeti ka teleskoobiehituse seminar. 12. augustil oli kokkutulekul Kaali päev, mille raames kuulati ära 6 temaatilist ettekannet, toimus ekskursioon Kaali kraatriväljal ning vaadati Kaali meteoriidile pühendatud filme. 13. augusti ettekanded olid põhiliselt pühendatud päikesesüsteemile, 14. augusti ettekanded – erirelatiivsusteooriale. Urmas Sisask esines Kaali kraatri jalamil kontserdiga „Muusikaline meteoriit“.
 - 4. nov tähistas oma 40. tegevusaastat TÜ Teaduskool. TÜ Ajaloo Muuseumis toimunud kollokviumil oli arutluse all andekate kooliõpilaste motiveerimine ja nende võimete realiseerimise võimalused tavakoolis.

- 25. nov toimus TTÜs traditsiooniline üliõpilaste robotivõistlus „Robotex“, millest käesoleval aastal võtsid osa TÜ, TTÜ, IT Kolledži ja mitme Tallinna gümnaasiumi võistkonnad. Esikoht läks IT Kolledžisse, mille meeskond „Plaat“ (Andres Ernits, Erki Naumanis) kogus teise koha saavutanud TÜ võistkonnaga „Kohuke“ (Janek Uin, Ilmar Ansko, Joel Kuusk, Hannes Vaher) sama arvu punkte, ent kulutas kahe vooru kokkuvõttes ülesande täitmisele vähem aega. Kolmanda koha sai IT Kolledži meeskond „Kitsune“ (Renno Reinurm, Jefim Borissov, Jevgeni Borozna). TÜ võistkond „Kohuke“ pälvis ka kaks eriauhinda – „Kõige taibukam robot“ parima tulemuse eest esimeses võistlusvoorus ja „Parim võistkond Tartu Ülikoolist“. Eripreemia kõige väiksema roboti eest sai TÜ füüsikamagistrant Rainer Paat.
- Õpilaste teadustööde riikliku konkursi preemiad gümnaasiumiastmes pälvisid loodusteaduste alased tööd:
 - I preemia (5500 krooni) – Sven-Erik Enno (Tartu Ülikool, Türi Gümnaasiumi vilistlane) tööga „Pagituulte teke äiksepilvedes“ (juhendaja Ülle Kikas);
 - II preemia (4000 krooni) – Tanel Ainla (Viljandi Paalalinna Gümnaasium) tööga „IPMC kunstlihase mahtuvuslike omaduste määramine ja rakendamine“ (juhendajad Alvo Aabloo, Andres Punning);
 - Eduka teadustöö juhendamise eest premeeriti 2000 krooniga Sven-Erik Enno juhendajat Ülle Kikast (TÜ).
- Tartu Observatoorium on jätkuvalt populaarne ekskursioonide sihtpunkt – 2005. aastal külastas Tõraveret 217 gruppi ligikaudu 5300 külastajaga. Giidid K. Annuk, A. Hirv, I. Kolka, L. Leedjärv, A. Puss, I. Pustõlnik, M. Ruusalepp, E. Tempel, J. Vennik ja T. Viik rääkisid huvilistele astronoomia ja atmosfäärifüüsika põhiteadmisi ja uudiseid. Alates Stellaariumi avamisest 1997. a märtsis alustas TO huviliste täpset registreerimist ning 2005. a septembris täitus 50 000 külastust. Kokku on selle aja jooksul Tõraveres käinud 1882 gruppi 51 940 huvilisega.
- T. Aas, V. Harvig ja M. Mars jätkasid Tallinna tähetornis tööd astronoomiahuvilistega (loodusteaduste huvialaring).
- Tartu Tähetornis on jätkanud tegevust astronoomiaring, kus korraldatakse laiale huviliste ringile mõeldud vaatlusi ja loenguid. Endiselt ilmub 6 korda aastas veebiajakiri

astronoomiahuvilistele „Vaatleja“, mille leiata veebiaadressilt <http://www.obs.ee/>.

- Tartu Observatooriumi teadlased andsid raadio- ja telejaamadele kokku *ca* 35 intervjuud ja pidasid *ca* 30 populaarteaduslikku loengut.
- Kõigile huvilistele on avatud Tartu Observatooriumi Virtuaalne Muuseum, mille rajamisega on tegelenud TO vanemteadur Jaan Pelt: <http://www.aai.ee/muuseum/Main/HTML/index.html>. Muuseumi fondid:
 - Tähetorni Kalender 80. Kõikide Tähetorni Kalendrite sisukorrad ja ajalooliselt huvitavate artiklite võrguvariandid.
 - Uranomeetria. Tähtkujude kirjeldused, ajaloolised taevaatlased.
 - Tartu Observatooriumi Arhiiv. Üle 1500 arhiivilehekülje koopia, koos arhiivi ülevaatega.
 - Tartu Observatooriumi Raamatukogu. Ülevaade raamatukogu huvitavamatest köidetest koos piltide, viidete ja seletustega.
 - Fotod ja graafika. Fotod Observatooriumi ja erakogudest.
 - Reprintid. Observatooriumi ajalugu kirjeldavate artiklite reprintid.
 - Käsikirjad. Ajalugu käsitlevate artiklite preprintid ja avaldamata variandid.
 - Mõttele kaasa. Observatooriumiga seotud inimeste kirjutatud üldhuvitavad esseed.
- 9.–10. aprillil toimus Tartu Ülikoolis Eesti koolinoorte 52. füüsikaolümpiaadi lõppvoor. Füüsikaolümpiaadi lõppvooru žürii otsus:
 - I Autasustada 1. järgu diplomiga:
Gümnaasiumi arvestuses: Aleksandr Morozenko (12. klass, Narva Humanitaargümnaasium) ja Siim Ainsaar (12. klass, Tallinna Reaalkool).
 - II Autasustada 2. järgu diplomiga:
Gümnaasiumi arvestuses: Karel Aru (12. klass, C. R. Jakobsoni nim. Gümnaasium); Ott Rebane (12. klass, Tallinna Reaalkool) ja Meelis Lootus (11. klass, Pärnu Koidula Gümnaasium).

- III Autasustada 3. järgu diplomiga:
Gümnaasiumi arvestuses: Steven Smit (11. klass, Otepää Gümnaasium); Dmitri Derkatš (12. klass, Tallinna Läänemere Gümnaasium); Holger Haas (11. klass, Pärnu Koidula Gümnaasium); Aleksei Vlassov (11. klass, Tallinna Tõnismäe Reaalkool) ja Siim Viilup (12. klass, C. R. Jakobsoni nim. Gümnaasium).
- IV Autasustada järguta diplomiga:
Gümnaasiumi arvestuses: Mihkel Pajusalu (12. klass, Hugo Treffneri Gümnaasium); Vladislav Belous (12. klass, Tallinna Humanitaargümnaasium); Daniel Kaasik (11. klass, Tallinna Reaalkool); Indrek Altpere (12. klass, Nõo Reaalgümnaasium); Martin Lind (12. klass, Hugo Treffneri Gümnaasium); Joonatan Talviste (11. klass, Hugo Treffneri Gümnaasium); Mihkel Heidelberg (11. klass, Gustav Adolphi Gümnaasium); Lauri Kaldamäe (11. klass, Tallinna Reaalkool); Kalle Erme (12. klass, Miina Härma Gümnaasium); Erik Jaaniso (12. klass, Hugo Treffneri Gümnaasium); Egon Elbre (10. klass, Nõo Reaalgümnaasium); Jevgeni Martjušev (10. klass, Tallinna Tõnismäe Reaalkool) ja Aleksei Filippov (10. klass, Narva Pähklime Gümnaasium).
- V Autasustada eridiplomiga:
Aleksandr Morozenko (12. klass, Narva Humanitaargümnaasium) – absoluutvõitja; Siim Ainsaar (12. klass, Tallinna Reaalkool) – parim eksperimentaator; Karel Aru (12. klass, C. R. Jakobsoni nim. Gümnaasium) – parim raskete ülesannete lahendaja; Jaan Vajakas (12. klass, Tallinna Reaalkool) – parim raskete ülesannete lahendaja; Steven Smit (11. klass, Otepää Gümnaasium) – parim võistleja väikelinnast; Meelis Lootus (11. klass, Pärnu Koidula Gümnaasium) – parim mitte-lõpuklassi õpilane; Egon Elbre (10. klass, Nõo Reaalgümnaasium) – parim 10. klassi õpilane; Aleksei Filippov (10. klass, Narva Pähklime Gümnaasium) – 2. koht 10. klassi arvestuses ja Jevgeni Martjušev (10. klass, Tallinna Tõnismäe Reaalkool) – 2. koht 10. klassi arvestuses.
- VI Eriauhinnad toetajatelt:
Aleksandr Morozenko (12. klass, Narva Humanitaargümnaasium) – Füüsika Instituudi eriauhind; Meelis Lootus

- (11. klass, Pärnu Koidula Gümnaasium) – Eesti Füüsika Seltsi eriauhind; Siim Ainsaar (12. klass, Tallinna Reaalkool), Karel Aru (12. klass, C. R. Jakobsoni nim. Gümnaasium), Steven Smit (11. klass, Otepää Gümnaasium), Egon Elbre (10. klass, Nõo Reaalgümnaasium) ja Jaan Vajakas (12. klass, Tallinna Reaalkool) – Hansapanga eriauhinnad.
- VII Žürii avaldab tänu õpilaste hea ettevalmistamise eest õpetajatele:
Nadežda Tšerkašina (Narva Humanitaargümnaasium); Mart Kuurme (Tallinna Reaalkool); Lilian Tambek (C. R. Jakobsoni nim. Gümnaasium); Elmu Mägi (Pärnu Koidula Gümnaasium); Urve Volmer (Otepää Gümnaasium); Olga Astahhova (Tallinna Läänemere Gümnaasium); Tatjana Belousova (Tallinna Tõnismäe Reaalkool); Madis Reemann (Hugo Treffneri Gümnaasium); Robert Štšerbakov (Tallinna Humanitaargümnaasium); Jaak Saukas (Tallinna Reaalkool); Muia Keerutaja (Nõo Reaalgümnaasium); Arne Silas (Gustav Adolfi Gümnaasium); Helle-Kaja Möls (Miina Härma Gümnaasium); Peet-Märt Irdt (Nõo Reaalgümnaasium) ja Mihhail Jemeljanov (Narva Pähklimäe Gümnaasium).
 - VIII Vastavalt olümpiaadi statuudile arvata Eesti võistkonna liikmeks rahvusvahelisel füüsikaolümpiaadil:
Aleksandr Morozenko (12. klass, Narva Humanitaargümnaasium).
 - IX Nimetada rahvusvahelise füüsikaolümpiaadi Eesti võistkonna kandidaatideks:
Siim Ainsaar, Karel Aru, Ott Rebane, Meelis Lootus, Steven Smit, Dmitri Derkatš, Holger Haas, Aleksei Vlassov, Siim Viilup, Mihkel Pajusalu, Vladislav Belous, Joonatan Talviste, Mihkel Heidelberg, Lauri Kaldamäe, Egon Elbre, Jevgeni Martjušev, Mattias Linnap, Aleksei Filippov ja Jaan Katus.

Jaak Kikas
Ly Sõõrd

füüsikaolümpiaadi žürii esimees
komisjoni esimees

Tartus,

10. aprill 2005. a.

- 3.–12. juulil Hispaanias Salamancas toimunud 36. rahvusvahelisel füüsikaolümpiaadil IPhO'XXXVI pälvisid pronksmedali Siim Ainsaar (Tallinna Reaalkool, 12. kl) ning diplomi ja klaasmedali Holger Haas (Pärnu Koidula Güm, 11. kl), Mattias Linnap (Tallinna 21. Kool, 12. kl), Dmitri Derkatš (Tallinna Läänemere Güm, 12. kl) ja Aleksandr Morozenko (Narva Humanitaargüm, 12. kl). Võistkonna esindajatena olid kaasas Jaan Kalda (TTÜ Kübi vanemteadur) ja Jaak Kikas (TÜ prof).
- 25. okt–2. nov Hiina Rahvavabariigis Pekingis toimunud X Rahvusvahelisest Astronoomia Olümpiaadist võttis osa ka Eesti kooliõpilaste 3-liikmeline võistkond. Esindajatena olid kaasas Eesti Maaülikooli dotsent Jaak Jaaniste ja Tartu Observatooriumi töödes aktiivselt kaasalööv TÜ doktorant Tõnis Eenmäe. Parima tulemusena saavutas Tallinna Reaalkooli õpilane Eduard Ljulko III järgu diplomi vanemas vanuserühmas.

VIII. ÜLEMAAILMNE FÜÜSIKA-AASTA 2005

Eestis oli füüsika-aasta koordinaatoriks Eesti Füüsika Selts. Koordineerimise põhiraskus langes peamiselt kolme seltsi liikme õlule: Kaido Reivelt (teadusbuss, füüsikaportaal, TÄPE2005, ETV Teadusminutid), Andi Hektor (ETV Teadusnädal, ETV Teadusminutid, ER Labor, noorfüüsikute suve- ja sügiskool) ja Jaak Kikas (füüsika-aasta akadeemilised loengud). Lisainfot leiab EFSi füüsikaportaalist <http://www.fyysika.ee/>. Olgu siinkohal veel kiire tagasipilk füüsika-aasta tegevustele.

- Füüsika-aastal korraldas Eesti Füüsika Selts avalike loengute sarja, kus juhtivad füüsikateadlased ja sidusalade esindajad rääkisid füüsika arengust, päevaprobleemidest ja tulevikuperspektiividest. Loengud toimusid Tartus ja Tallinnas ülekandega Interneti.
 - Jaan Einasto. Maailma ehitusest. 24. märtsil TÜ aulas.
 - Peeter Saari. Füüsika ja turvalisus. 12. mail TÜ aulas.
 - Alex K. Müller (Nobeli 1987. a. füüsikapreemia laureaat). The Development of Superconductivity Research in Oxides. 8. juunil TÜ aulas.

- Jüri Engelbrecht. Keerukus, terviklus ja füüsika. 12. septembril Tallinnas, Küberneetika Majas, Akadeemia tee 21.
- Henn Käämbre. Albert Einstein kui leiutaja ja eksperimentaator. 9. detsembril TÜ aulas.
- ETV hommikuprogrammis Terevisioon näidati igal reedel kell 6.50–7.00 efektseid füüsikakatseid, mida viisid läbi TÜ füüsikaõppurid koos oma juhendajatega.
- Teadusbuss Suur Vanker on liikuv teaduslabor, mille meeskond koosneb vabatahtlikest – teaduritest ja üliõpilastest. Tehakse teadusteatri: pakutakse noortele võimalust kogeda füüsikat läbi kaasahaaravate eksperimentide, pikituna ladusa jutuga asjade olemusest, ja antakse ettekujutust sellest, milline näeb välja füüsikateadlase igapäevaelu. 2005. a. külastas teadusbuss 99 kooli üle terve Eesti, andes ca 120 teadusteatri etendust ca 20000 õpilasele. Lisaks sellele on esinetud erinevatel messidel ja avalikel üritustel. Projekti juht on Kaido Reivelt (EFS, TÜ Füüsika Instituut, kaidor@fi.tartu.ee).
- 17.–19. juunil toimus Jänedal EFSi noorfüüsikute III suvekool. Selles osales 49 tudengit ja füüsikut. Korraldasid EFS Noorfüüsikud (NoFy): Andi Hektor, Ahto Kuusk ja Mait Müntel.
- 28.–30. juunil toimus Nõos Jaak Jõgi initsiatiivil II EFSi füüsikaõpetajate suvekool. Koolis oli 19 osavõtjat, kes kuulusid loenguid tänapäeva füüsikast ja füüsikaõpetusest ning tutvusid põhjalikumalt TÜ Füüsika Instituudiga.
- 1. juulil esitleti TÜ raamatukogu saalis ajakirja Akadeemia juulikuist numbrit, mis oli tervenisti pühendatud erirelatiivsusteooria loomise sajandale aastapäevale ja kus leidis avaldamist ka Albert Einsteini artikli „Zur Elektrodynamik bewegter Körper“ I osa eestikeelne tõlge. Esitlus toimus kultuuriajakirjanike konverentsi „Borders-Piirid-Übergänge“ raames, sõna võtsid Piret Kuusk (TÜ FI) ja Akadeemia peatoimetaja Toomas Kiho. Sama erinumbrit tutvustas Tallinna avalikkusele Riigikogu esimees akad Ene Ergma Riigikogu Valges Saalis 1. septembril, kui seal toimus Teadusbussi esinemine.
- 28.–30. okt toimus Kääriku Spordi- ja Puhkekeskuses EFSi noorfüüsikute VII sügiskool, mille korraldajateks olid Andi Hektor, Ahto Kuusk, Mait Müntel, Kaido Reivelt ja Margus Saal. Üritusel

osales 59 füüsikatudengit ja 11 vanemat teadlast Eesti ülikoolidest ja teadusasutustest.

- 8.–14. nov korraldati koostöös ETVga teadusnädal. Telesaadetes tutvustati tavapärasest rohkem füüsikat ja füüsikuid. Pühapäevases Täheleavas oli külaliseks akad Endel Lippmaa. Kavas olid tuntud aimefilmid „The Elegant Universe“, „MythBusters“ jt.
- 4.–27. nov toimus teadusnädala raames Tartu Ülikooli Tähe tänavana õppehoones Briti Nõukogu ja Teaduskeskus AHHA koostöös kliimanäitus, kus tutvustati kliimamuutuste mõju meie elukeskkonnale ning võimalusi nende muutuste peatamiseks.
- Novembrikuus oli Tartu Ülikoolis ja Tallinna Tehnikaülikoolis avatud Euroopa Komisjoni poolt toodetud näitus „Expo Fusion“, mis tutvustas termotuumaenergia kasutamise perspektiive ja ülemaailmset termotuumaaprogrammi ITER.
- 12.–13. nov toimusid TÜ füüsikahoones (Tähe 4) Tähe Perepäevad (Täpe'2005). Tehti teadusteatri, vaadati teaduskino, uuriti teadusnäitusi, tegevust jätkus kogu perele kogu majas.
- Ajakiri Horisont avaldas füüsika-aasta igas numbris pikema artikli Eesti füüsikutelt ning intervjuu viimastel aastatel välismaistest teaduskeskustest TÜ Füüsika Instituuti tööle naasnud noorteadlastelt.

* * *

Kroonika koostasid Helle Kaasik (TÜ FI), Anna Aret (TO) ja Piret Kuusk (TÜ FI). Andmeid andsid Virge Anso (TÜ FO dekaanat), Hugo Mändar (TÜ FO magistrikomisjon), Aleksandra Linnas (TÜ FKFF), Rein Rõõm (TÜ FKFF), Andi Hektor (KBFI), Raivo Stern (KBFI), Jaak Jõgi (Lähte Ühisgümnaasium), Lehho Jõumees (Kohtla-Järve Järve Gümnaasium), Ott Krikmann (TÜ FKEF), Tõnu Laas (TLÜ), Pavel Suurvarik (TTÜ). Andmed ETF uurimistoetuste kohta pärinevad ETF koduleheküljelt <http://www.etf.ee/> ja ERISe leheküljelt <http://www.eris.ee/>. Andmed sihtfinantseeritavate teadusteemade kohta ja üliõpilaste teadustööde riikliku konkursi kohta pärinevad Haridusministeeriumi koduleheküljelt <http://www.hm.ee/>. Andmed kooliõpilaste füüsikaolümpiaadide kohta pärinevad TÜ teaduskooli koduleheküljelt <http://www.ttkool.ut.ee/>. Andmed akadeemilise füüsikaolümpiaadi kohta pärinevad TÜ FO uudiste leheküljelt <http://www.physic.ut.ee/uudised/>.

IN MEMORIAM



IRA SAAR

27. II 1943 – 27. II 2006

Oma 63. sünnipäeval lahkus manalateele pika ja raske haiguse tagajärjel Eesti Füüsika Seltsi aastaraamatute kauaaegne tehniline toimetaja ja väljapaistev Eesti orienteerumissportlane Ira Saar. Tugeva tahtejõuga ja alati elurõõmsa inimesena suutis ta säilitada töövõime elu viimaste päevadeni, mil mõningaks valuleevendajaks oli ka soov viia lõpule käesoleva aastaraamatu toimetamine.

Ira Saar sündis kunstniku peres Võrus, ta õpinguaastad möödusid Tartus, kõik oma tööaastad kuulus ta aga Tõraveres astrofüüsikute perre, tegutsedes mitmesugustel teadusega seotud töökohtadel. Ira Saar sängitati Elva kalmistule, oma Jaapanis mereohvriks langenud armastatud poja, andeka noore astrofüüsiku Veikko kõrvale.

Mälestus Ira Saarest kui kollektiivi liitvast, alati energiatulvaga laetud isiksusest jääb püsivalt nende inimeste südamesse, kes teda lähemalt tundsid, koos töötasid või võistlesid orienteerumisrajal. Mälestame sügavas kurbuses Ira Saare kaotust ning avaldame kaastunnet ta perele ja omastele.

SUMMARY

The World Year of Physics 2005 was a worldwide celebration of physics and its importance in our everyday lives. This all was also explained to the Estonian public. Both moral and material support for this effort was provided by participation in the European Commission's 6th framework programme's project "World Year of Physics 2005".

In the opening article of the 16th Annual of the Estonian Physical Society, Kaido Reivelt vividly describes the organization of the events of the Year of Physics in Estonia. Then follows the programme of the 35th Estonian Days of Physics (22–23 March 2005) and two reports presented at the Days of Physics: the report of the laureate of the EFS Annual Prize 2005 Dr. Jaan Aarik, and a report by Dr. Matti Selg.

In the third part of the Annual, the programme of the 36th Estonian Days of Physics, to be held on 21 and 22 March 2006, is published, together with the abstracts of the reports.

In the Estonian Physical Society's section, official documents of the Society are presented. The EFS Annual Prize and the Medal of the Society were given to Dr. Jaan Aarik, the Honorary Citation winners were Jaak Kikas, Henn Voolaid and Koit Timpmann. The Estonian Physical Society elected its member Dr. Henn Käämbre as an honorary member of the Society. For the first time, the High School Student Award was granted – to the students of the Rakvere Gymnasium (*Rakvere Reaalgümnaasium*) Jaan Suve, Madis Liiva, Rain-Eric Selli, Rivo Uibo and Ülar Nurmits, whose thesis was completed under supervision of their teacher Kadri-Ly Trahv. The award for the best student poster of the Days of Physics 2005 went to Lauri Aarik. The Society section includes also the association agreement between the Estonian Academy of Sciences and the Estonian Physical Society, the Annual Report for the year 2005, and the list of Board members and new members of the Society. At the end of the section, the programmes of the Young Physicists' Summer and Autumn Schools and of the Summer School of Teachers of Physics for the year 2005 can be found.

The Annual ends with the physics chronicle of 2005, which includes a summary of the events of the World Year of Physics in Estonia.