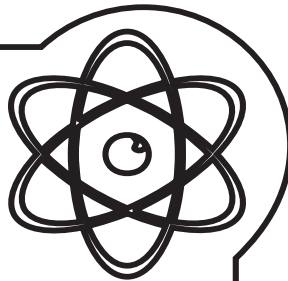
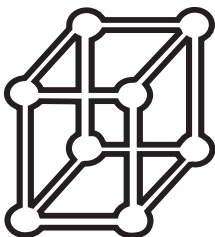


EESTI FÜÜSIKA SELTS



**EESTI  
FÜÜSIKA SELTSI  
AASTARAAMAT  
2004**

XV  
aastakäik



TARTU 2005

Toimetajad: Anna Aret ja Piret Kuusk  
Tehniline toimetaja: Ira Saar  
Kaanekujundus: Uku Lõhmus

© Eesti Füüsika Selts 2005

ISSN — 1406–0574

See raamat on kujundatud küljendusprogrammiga  $\text{\TeX}$ .  
 $\text{\TeX}$  on Ameerika Matemaatikaseltsi kaubamärk.

2004. aastal toimus kaks Eesti riigi jaoks väga olulist sündmust.

10. märtsil ratifitseeris Riigikogu NATO Põhja-Atlandi lepingu koos kõigi lisadega. 29. märtsil deponeeriti Põhja-Atlandi leping Washingtonis ning anti hoiule USA Riigidepartemangu. Deponeerimise hetkest alates on Eesti NATO täieõiguslik liige.

1. maist alates on Eesti Euroopa Liidu täieõiguslik liige. Sel kuupäeval lisandus senisele 15 liikmesriigile (Prantsusmaa, Saksamaa, Itaalia, Belgia, Holland, Luksemburg, Taani, Rootsi, Soome, Inglismaa, Iirimaa, Hispaania, Portugal, Austria, Kreeka) 10 uut liikmesriiki: Eesti, Läti, Leedu, Poola, Tšehhi, Slovaki, Ungari, Sloveenia, Malta ja Küpros.

Füüsikute kogukonna tähelepanu väärrib ka 17. detsember, kui Tartu Ülikooli nõukogu kinnitas TÜ füüsikumi statuudi. TÜ füüsikum on TÜ füüsikaosakonda ja TÜ Füüsika Instituuti ühendav struktuuriüksuste ühendus. Statuudi kohaselt on füüsikumi juhatuse põhiülesandeks „füüsika-alase õppe-, teadus- ja arendustöö koordineerimine ning selle töö järjepidevuse tagamine füüsika instituudi ja füüsika osakonna integreerimise teel“.

Eesti Füüsika Seltsi 15. aastaraamatu avaartiklid kõnelevad eesti füüsikast ja füüsikutest, aga ka 2004. a Nobeli füüsikapreemia laureaatidest. Sellele järgneb 22. ja 23. märtsil 2005 toimuvate Eesti XXXV füüsikapäevade kava ja ettekannete tutvustus. Aastaraamatu lõpetavad Eesti Füüsika Seltsi rubriik ja 2004. a füüsikakroonika.

Piret Kuusk

## SISUKORD

<b>Ivar Piir</b>	
Teoreetilise füüsika ajaloost Tartus (1921–1960): õppeainest uurimisobjektiks . . . . .	5
<b>Piret Kuusk, Indrek Martinson</b>	
Eesti füüsikud võõrsil IV . . . . .	35
<b>Ilmar Ots, Hannes Liivat</b>	
Asümptootiline vabodus kvantkromodünaamikas . . . . .	46
<b>FÜÜSIKAPÄEVAD 2005</b> . . . . .	59
Kava . . . . .	60
<b>Kalle Kepler, Antti Servomaa, Irina Filippova</b>	
Patsiendidoosi optimeerimine röntgenuuringutel . . . . .	64
<b>Enn Lust</b>	
Kütuselementide ja vesinikuenergeetika hetkeseis . . . . .	76
Ettekannete sisukokkuvõtted . . . . .	79
<b>EESTI FÜÜSIKA SELTS 2004</b> . . . . .	101
EFS aukirjad . . . . .	102
EFS üliõpilaste stendipreemiad . . . . .	102
EFS auliikme tunnistus . . . . .	104
EFS õpilaspreemia statuut . . . . .	104
EFS juhatuse aruanne . . . . .	105
EFS laiendatud juhatuse 2004 . . . . .	107
EFS uued liikmed . . . . .	108
XXVI füüsikaõpetajate päev Tartu Ülikoolis . . . . .	109
EFS noorfüüsikute II suvekool . . . . .	110
EFS noorte füüsikute VI sügiskool . . . . .	111
EFS füüsikaõpetajate suvekool . . . . .	112
<b>FÜÜSIKAKROONIKA 2004</b> . . . . .	113
Töökorraldus . . . . .	114
Väitekirjade kaitsmine . . . . .	115
Õppetöö . . . . .	120
Teadusüritused Eestis . . . . .	125
Teadustöö . . . . .	128
Raamatud ja kogumikud . . . . .	142
In memoriam . . . . .	142
Füüsikahariduslik tegevus . . . . .	145
Summary . . . . .	152

# TEOREETILISE FÜÜSIKA AJALOOST TARTUS (1921–1960): ÕPPEAINEST UURIMISOBJEKTIKS

*Ivar Piir*

## **1 Harald Perlitz ja teoreetilise füüsika institutsioonide tekkimine**

Teoreetilise füüsika esimese dotsendi ja hilisema professori Harald Gottfried Perlitza<sup>1</sup> (1889–1972) elust ja tegevusest on olemas hea ülevaade [2], seetõttu piirdun siin vaid teemakohaste põhifaktidega ja paari omapoolse kommentaariga.

Eesti Vabariigi Tartu Ülikoolis, mis alustas tegevust 1919. a hilissügisel, oli ette nähtud avada füüsika-alase õppetöö läbiviimiseks üldfüüsika professor ja füüsika dotsentuur. Üldfüüsika professoriks ja füüsika instituudi juhatajaks valiti Johan Vilip (1870–1942). Tema algatusel muudeti füüsika dotsentuur teoreetilise füüsika dotsentuuriks, et ülikoolis saaks õpetada selle aja mõttes moodsat füüsikat. Märkigem, et tsariaegses Tartu ülikoolis selline ametikoht puudus, kuigi viimane füüsikaproffessor Aleksandr Sadovski (1859–1923) luges lisaks I ja II semestri füüsika üldkursusele, mille sisuks oli mehaanika, optika, gaaside kineetiline teooria, elekter ja magnetism, veel V ja VI semestril füüsika eriala üliõpilastele termodünaamika ja elektri teoreetilisi erikursusi.

Esimeseks teoreetilise füüsika dotsendiks valis matemaatikaloosteaduskonna nõukogu 3. juunil 1921. a Harald Perlitza. Tegelikult valiti ta dotsendi kohusetäitjaks, kuna tal puudus nõutav teaduskraad. H. Perlitz oli lõpetanud 1918. a Peterburi ülikooli I järgu diplomiga, mis pärast diplomitöö esitamist kindlustanuks talle vaid kandidaadikraadi. Ta jäeti küll füüsika kateedri juurde valmistuma õpetlase

---

<sup>1</sup>Tartu Prantsuse Teadusliku Instituudi väljaandel 1936. a ilmunud Emil Picardi raamatu „Lühike ülevaade teaduste ja füüsikaliste teooriate ajaloost“ tõlkija Harald Perlitz kirjutab saatesõnas: „Tõlkija võlgneb tänu pr A. Perlitz’ale . . .“, ja kuigi ametlikud paberid [1] olid enamasti Perlitz’i kohta, on siinses tekstis eelistatud tema enda poolt kasutatud käändelõppu.

kutsele, kuid ta töötas samal ajal füüsikuna veel mitmes teises teadus-asutuses. 1914. a kevadsemestril oli ta ennast täiendanud Müncheni ülikoolis Arnold Sommerfeldi (1868–1951) juures, oli seal lahendanud ühe soojustehnika teoreetilise küsimuse ja publitseerinud 2 selleteemalist lühikest artiklit.

1922. a kinnitatud õppekava kohaselt oli kahesemestriline teoreetilise füüsika kursus (nädalas 4 tundi loenguid ja 2 tundi harjutusi) kohustuslik matemaatika, füüsika ja kosmograafia õpetajakutse taotlejatele [3]. Järgmisel aastal nimetati harjutused ümber seminariks ja loodi füüsika instituudi iseseisev allüksus – teoreetilise füüsika seminar. Sellele eraldati 2 ruumi ja väike eelarve. Esialgul oli H. Perlitz allüksuse ainuke töötaja. 1929. a sügissemestrist määrati ajutiseks abijõuks Aleksandra Sprantzman (aastast 1936 Link) (1899–1977).

H. Perlitz valiti dotsendi kohale 24. oktoobril 1924. a. Umbes samal ajal alustas ta metallide ja nende sulamite struktuuri alast uurimistööd röntgenspektroskoopia meetoditega ning ülikoolile vastava aparatuuri hankimist. 3. veebruaril 1932. a kaitses ta teaduskonna nõukogu ees selleteemalise doktoritöö ja 17. jaanuaril 1935 valiti Harald Perlitz teoreetilise ja tehnilise füüsika professoriks. Veidi varem, 7. detsembril 1934, oli haridusministeerium kinnitanud teoreetilise füüsika seminari ümbernimetamise teoreetilise ja tehnilise füüsika laboratoriumiks. Täiendsõna „tehniline“ osutas Tartu ülikooli tollastele taotlejatele hakata siin arendama ka tehnilist kõrgharidust. Selline allüksus töötas aastail 1934–1944. Kuni 1940. a sügissemestri alguseni juhatas seda H. Perlitz. Sama aasta varasuvel, toetudes veel enne riigipööret ülikoolilt saadud teaduskomanderingule, õnnestus H. Perlitzal koos abikaasaga sõita Rootsi. Hinnates õigesti teda siin ähvardavaid ohte jäigi ta ühe esimese Eesti pagulasena Rootsi. 1940. a sügissemestrist oli laboratoriumi juhataja kohusetäitjaks füüsikainstituudi juhataja professor Villem Koern (1903–1973). Juhataja kõrval oli laboratoriumi ainsaks koosseisuliseks töötajaks endiselt A. Sprantzman-Link, kes pärast magistratöö kaitsmist 1931 oli edutatud assistendiks. 1939./40. õppeaastast alates jäi laboratoriumi nimest välja sõna „tehniline“. Laboratoriumi dokumentatsioon lõppes 1944. a suvel, mil nii V. Koern kui A. Link lahkusid Eestist.

Nii arenes aastatel 1921–1944 teoreetilise füüsika dotsentuur professuuriks ja selle juurde tekkis õppe- ja teadustööd korraldav samanimeline ühe abitöötajaga laboratorium. Kogu tegevust kujundas

ainuisikuliselt H. Perlitz. Tema lahkumisel 1940 jäi professori vakantsiks ja nelja aasta pärast likvideerus ka laboratoorium.

Teadustöös oli H. Perlitz eksperimentaator. Röntgenogrammide interpreteerimise meetodika oli juba varem välja töötatud, kuigi see nõudis sageli üsna mahukat arvutustööd. Teadustöös oli H. Perlitz edukas, tema juhendamisel valmis ja kaitsiti aastatel 1931–1942 kuus magistritööd.

Teoreetiline füüsika jäi sel ajal ainult õppeaineks, mille maht sõltus parajasti kehtivast õppekavast. Kõige väiksem oli see 1928. a sügissemestril kehtestatud õppekavas – nädalas 6 tundi loenguid (koos harjutustega) kas VI või VII semestril. Siis sätestati matemaatikaosakonnas ühtne õppekava, kus süvenemine kitsamasse erialasse oli võimalik ainult pärast ülikooli lõpetamist kas diplomeeritud edasiõppijana või magistrikraadi taotlemise teel. Kuid ka magistriastmel (*mag sci math*) ei täpsustatud kitsamat eriala. H. Perlitza taotlustest teoreetilise füüsika õpetamisel annavad parima ettekujutuse 1938. a sügisel kehtestatud matemaatika-loodusteaduskonna matemaatiliste teaduste osakonna õppekavad [3]. Need viisid sisse hiljemalt V semestri alguseks üliõpilaste kohustusliku spetsialiseerumise kas matemaatika, astronoomia, füüsika või meteoroloogia erialale. Teoreetilise füüsika osa oli siin küllalt mahukas. Üldkohustuslikud olid kolm esimest osa: termodünaamika (III semestril), optika (IV) ja hüdrodünaamika (V), sisuliselt kuulub siia ka V semestri teoreetilise mehaanika kursus, mis tol ajal oli traditsiooniliselt mehaanika ja rakendusmatemaatika professori pärusmaaks. Füüsika eriala tõi juurde veel kolm osa: elektrodünaamika (VI), kineetiline teooria (VII) ja aine struktuur (VIII). Kõik kuus osa olid enamvähem võrdse mahuga: nädalas 4 tundi loenguid (koos harjutustega).

Meenutame, et selleks ajaks olid formuleeritud XX sajandi füüsika kahe suure teooria – kvantteooria ja relatiivsusteooria – alustõed, mitterelativistlik kvantmehaanika ja erirelatiivsusteooria olid omandanud peaaegu täiusliku füüsikateooria staatuse. Need mõlemad jäid aga välja H. Perlitza viimasestki õppekavast. Kuid samal ajal oli füüsikainstituudi raamatukogu, vaatamata tagasihoidlikele majanduslikele tingimustele, korralikult komplekteeritud kvantmehaanika ja kvantteooria alase kirjandusega. Siin olid olemas peaaegu kõik klassikalised monograafiad: M. Born „Vorlesungen über Atommechanik“ (1927), W. Heisenberg „Physikalische Principien der

Quantenmechanik“ (1929), A. Sommerfeld „Atombau und Spektrallinien II. Wellenmechanische Ergänzungsband“ (1929), saksakeelses tõlkes ka L. de Broglie’ „Uurimused kvantteooriast“ (1923, tõlge 1927) ja P. Diraci „Kvantmehaanika printsiibid“ (nii originaal kui tõlge 1930), kättesaadav oli samuti ajakirjas „Annalen der Physik“ 1926.a ilmunud E. Schrödingeri kapitaalne artiklite seeria „Quantisierung als Eigenwertproblem I–IV“. Lisaks oli veel pool tosinat õpikulaadset käsitlust nii saksa (autorid A. Lande (1926), A. Haas (1928), K. Darrow (1929)) kui inglise keeles (autorid P. Mott (1930), H.T. Flint ja O. Richardson (1930), O.W. Curney (1934)). Enamik neist oli muretsetud teoreetilise füüsika seminari raamatukogule. Aga ometi ei riskeerinud H. Perlitz lülitada teoreetilise füüsika kursusesse kvantmehaanikat, vaid piirdus enda jaoks kindlasti mugavama kursusega „Aine struktuur“.

Põhjuseks võib olla asjaolu, et kvantmehaanika ei sobi kuidagi klassikalise füüsika maailmapilti, mille H. Perlitz oli omandanud juba stuudiumipäevil Peterburi ülikoolis. Kvantmehaanikale omase uue maailmanägemisega kaasnevatele raskustele osutas korduvalt oma loengutel kümmeaastat hiljem A. Kipper (meile, tema kuulajatele, jäi see väide küll üsna ebausutavaks, sest tema esituses oli kõik üpris arusaadav). H. Perlitz oli küll varem, viimati 1927. a kevadsemestril, lugenud kursust „Atomistika“, mille aluseks oli Bohri aatomiteooriale toetuv Arthur Haasi „Atomtheorie (in elementarer Darstellung)“. Olugi et selleks ajaks oli see üsna põhjalik ja hästi kirjutatud raamat juba aegunud (puudus näiteks spinn ja Pauli keeluprintsiip), andis ta H. Perlitzale ilmselt piisava taustüsteemi teadustööks, seetõttu polnud tal ka sisemist vajadust edasi minna keeruka kvantmehaanika juurde.

Relatiivsusteooriaga on olukord teistlaadne. Sellise tiitliga õppeaine ei kuulu veel tänapäevalgi alati teoreetilise füüsika põhikursuste hulka. Eirelatiivsusteooria aluseid on sageli tutvustatud optika kursuses. Põhjalikumalt on seda meilgi tehtud elektrodünaamika kursuses, sest on ju Maxwelli elektromagnetväljateooria olemuslikult relativistlikult invariantne füüsikateooria. Üldrelatiivsusteooria detailsem tundmaõppimine eeldab aga täpsemalt määratletud huvidega üliõpilasi. Enne II Maailmasõda tundus relatiivsusteooria kui ruumi ja aja füüsikaline teooria olevat reafüüsikute enamusele kasutu ning nende arvates huvitusid sellest peamiselt filosoofid ja matemaatikud. Nii on mõistetav, et H. Perlitza loengukursuste annotatsioonides puuduvad



viited nii eri- kui üldrelatiivsusteooriale ja füüsikainstituudi raamatukogus pole isegi lihtsamaid sellealaseid käsitlusi (M. Born, M. Laue jt). Seevastu Tartu Tähetorni raamatukogus olid olemas kõik olulisemad relatiivsusteooria-alased raamatud (H. Weyl, A. Eddington, M. Born, M. Laue, F. Klein, P. Eisenhardt jt) [4].

## 2 Kvantteooria ja relatiivsusteooria algusaastad Tartus

Kuigi H. Perlitza teoreetilise füüsika kursustest jäid välja nii kvantteooria kui ka relatiivsusteooria, saabusid need tol ajal ikkagi Tartusse, kuid peamiselt üksikute uurijate teaduslike huvide kaudu. Kvantteooria ideed tulid siia kahest suunast, füüsikalise keemia ja astrofüüsika kaudu [5]. Keemias oli kvantteooria väga oluline, sest juba esialgne Bohri teooria selgitas üldjoontes elementide perioodilisuseaduse (Mendelejevi tabeli) füüsikalise tausta. Täieliku seletuse andis sellele kvantmehaanika, samuti pani see ka aluse valentssideme mõistmiseks. Kvantteooriast huvituski noor Tartu ülikooli keemik Adolf Gustav Parts (1904–1996) [6, 7, 8], kes oli siin 1929. a omandanud doktorikraadi. 1931–32 töötas ta Göttingeni ülikooli füüsikalise keemia instituudis professor Arnold Euckenil (1884–1950) juures. Göttingeni ülikoolis töötas tol ajal ka kvantmehaanika üks loojaid Max Born (1882–1970) oma kolleegide ja õpilastega. Göttingenis A. Euckeni juures mõötis A. Parts lihtsamate süsivesikute moolsoojusi erinevatel temperatuuridel. Juba sajandi alguses oli selgunud, et isegi toatemperatuuril ei saa gaasi molekuli käsitleda jäiga pöörleva kehakesena, vaid tuleb arvestada ka energia osalist jaotumist võnkumise vabadusastmetele, või nagu tänapäeval öeldakse, temperatuuri tõesustes toimub võnkumise vabadusastmete järkjärguline lahtisulamine. Võnkumise vabadusastmete lahtisulamist arvestav teooria on heas kooskõlas katseandmetega. Seda kinnitasid ka A. Eucken ja A. Parts oma ühisartiklis [9]. 1932. a ilmus ka A. Partsi eestikeelne gaaside moolsoojuse probleemi tutvustav artikkel [10]. Kahjuks jäi selles moolsoojuse temperatuurilise sõltuvuse füüsikaline olemus avamata. Autor piirdus ainult viitega, et teooria tulemused on esitatud standardtabelina, mille alusel toimubki võrdlus katseandmetega.

Järgmisel aastal (1933) töötas A. Parts Madridis Rahvuslikus Füüsika ja Keemia Instituudis. Seal avaldas ta koos matemaatik Arnold Tudebergiga (a-st 1936 Humal) (1908–1987) artikli süsihappegaasi ( $\text{CO}_2$ ) murdumisnäitaja sõltuvuse kohta valguse lainepikkusest

infrapunases spektrialas [11]. Selleks arvutati võnkumisest tingitud perioodiliselt muutuva dipoolmomenti ruudu keskvaartused üle võnkeperioodi. Vaatluse all olid peale sümmeetrilise normaalvõnkumise, mille korral dipoolmoment ei muutu, kõik ülejäänud kolm normaalvõnkumist. Keskvaartused arvutati kahel meetodil: 1) võnkumine toimub klassikalisest füüsikast tuttava siinusseaduse järgi, ainult amplituud omandab võnkumise energiatele  $E_n = h\nu(n + \frac{1}{2})$  vastavaid diskreetseid väärtusi; 2) võnkumisi kirjeldab kvantmehaanikast tuntud harmoonilise ostsillaatori lainefunktsioon. Mõlemal meetodil saadi sama keskvaartus, mis nagu ostsillaatori energiagi on võrdeline kvantarvuga  $(n + \frac{1}{2})$  (vt ka [12]).

1936. a asus A. Parts tööle vastasutatud Tallinna Tehnikaülikooli, esialgu füüsikalise keemia erakorralise ja seejärel (1939) korralise professorina. Vaatamata pingelisele administratiivsele tööle pidas ta veel 1936.–38. õppeaastatel õppeülesande korras loenguid ka Tartu Ülikoolis. Oma loengukursustes „Aatomid ja molekulid“ ning „Polaarsed molekulid“ käsitles ta aatomite ehitust, kvantteooriat, lainemehaanika ideid, molekulaarspektreid, keemilise sideme teooriat, molekulide polarisatsiooni jt aktuaalseid küsimusi [7]. Esimese kvantmehaanika kursuse luges ta Tallinna Tehnikaülikoolis 1941./42. õppeaastal [5,6].

XIX sajandi teisel poolel hakati astronoomias rakendama visuaalsete vaatluste kõrval fotograafia ja spektroskoopia meetodeid ning huvituti astronoomiliste objektide ehitusest ja neis toimuvatest protsessidest – hakkas arenema astrofüüsika. Tartus oli selle suuna pioneeriks Ernst Julius Öpik (1893–1985) [5]. Ta rääkis oma kuulajatele, et astrofüüsika rajaneb rohkem teoreetilisele füüsikale kui klassikalisele astronoomiale, pidades silmas eeskätt moodsat aatomi- ja kvantfüüsikat, aga ka relatiivsusteooriat. E. Öpiku kompetentsus kaasaegses teoreetilises füüsikas ilmneb tema uurimuses (1938) tähtede siseehituse, energiaallikate ja arenemiskäigu kohta [13]. Ta selgitas, toetudes massidefektide analüüsile, et tähtede energiaallikaks saab olla ainult aatomituumade süntees: vesiniku muundumine (põlemine) heeliumiks, liitiumiks, süsinikuks jne kuni rauani. Tuumaprotsesside tähtsusele tähtede energiabilansis, küll ilma konkreetsete hinnanguteta, oli juhtinud tähelepanu juba 1920. a Arthur Eddington (1882–1944). Ka E. Öpik ei näidanud konkreetseid tuumareaktsioone, mille kaudu toimub vesiniku põlemine heeliumiks. Seda tegid aasta hiljem (1939) Hans Albrecht Bethe (sünd 1906) ja Carl Friedrich von

Weizsäcker (snd 1912). E. Öpik pole ise kvantmehaanikast loenguid pidanud, kuid Aksel Kipper (1907–1984) meenutustest võib aru saada, et ta oma kuulajatelt nii astrofüüsika loengutel kui ka seminaridel eeldas teadmisi, mida ei võinud saada tollastest ülikooli kursustest ning mis nõudsid iseseisvat tööd kirjandusega [14].

Näib, et Tartus muutus teoreetiline füüsika just astrofüüsikute jaoks oluliseks instrumendiks nende teadustöös. A. Kipper doktoriöö „Gaasi liikumisest pulseerivate tähtede atmosfääris“ (1938) on ilus näide hüdro- ja aerodünaamika ning termodünaamika, seega küll klassikalise teoreetilise füüsika meetodite ja tulemuste rakendamisest täheprotsessidele. Ta leidis, et tiheduslained pulseeruva tähe (tsefeidi) väliskestas, jõudes tähe atmosfääri hõredasse väliskihti, lähevad üle lööklaineteks, mis kuumutavad tähte ümbritsevat gaasi ja põhjustavad nii kiirgusjooni nende tähtede spektris. Meenutame, et Aksel Kipper lõpetas Tartu Ülikooli 1930. a magistriraadiga ja töötas seejärel Tartu Tähetorni abiassistendina (1930–1932), assistendina (1932–1938) ja vanemassistendina (1938–1940) [15, 16].

1940. a alguses valmis A. Kipperil lühike uurimus „Nullpunkti energia kui valgete kääbuste kiirgusallikas“ [17]. Ta ise tunnistas hiljem [14], et võttis Öpiku loenguid väga tõsiselt ja „selle tulemusena ilmus mul töö valgetest kääbustest – see on fermi gaas, tüüpiline kvantmehaanika meetoditega käsitletav füüsikaprobleem“. Seda tööd võib pidada A. Kipper esimeseks kvantteooriaga seotud publikatsiooniks. See oli mõeldud habilitatsioonitööks *venia legendi* (loengupidamise õiguse) saamiseks astrofüüsika ja teoreetilise füüsika alal. 1940. a juunipöörde järel see tava kaotati ja jaanuaris 1941 nimetati A. Kipper teoreetilise füüsika professori kohusetäitjaks. Kevadsemestril luges ta uut, päris mahukat (6 tundi nädalas) loengukursust „Aatomifüüsika“.

Saksa okupatsiooni ajal, juulist 1941, sai A. Kipperist taas Tähetorni vanemassistent. 1942./43. ja 1943./44. õppeaastatel anti talle õppeülesanne lugeda sügissemestril teoreetilise füüsika II osa ja kevadsemestril IV osa [18]. 1938. a õppekava kohaselt tähendanuks need optikat ja elektrodünaamikat. Üliõpilaste vähesuse tõttu nendega tegelikult õppetööd ei toimunud. A. Kipper enese kinnitusel [14] luges ta tol ajal statistilist füüsikat ja termodünaamikat, kuulajateks kolleegid füüsikakateedrist. Päevakorda tõusis nullpunkti energiat käsitleva habilitatsioonitöö [17] esitamine ja loengupidamise (eradotsendi)

õiguse vormistamine. See toimus 27. aprillil 1943, komisjonis professorid V. Koern ja T. Rootsmäe [18].

A. Kipper on meenutanud [14]: „Okupatsiooni tingimustes oli ülikooli õppejõududel küllalt aega, kui nad parajasti polnud kohustatud metsatöödel või turbarabas olema“ (hankimaks eeskätt kütet ülikoolile, aga ka enesele). „Kasutasin seda aega mikrofüüsika ja statistilise füüsika süstemaatiliseks uurimiseks. Mulle puutus ajakirjas „Zeitschrift für Physik“ silma Goeppert-Mayeri artikkel teist järku protsessidest. Goeppert-Mayer oli uurinud teist järku protsesse, hajumisprotsesse, ja need olid väga hästi rakendatavad astrofüüsikalistes tingimustes. Rakendatavad nimelt planetaarsete udukogude korral, kus tingimused teist järku protsessideks olid ideaalselt täidetud. Planeetaarsetes udukogudes on tihedus nii väike, et metastabiilsetes seisundites aatomid on püsivad ja vesinikus toimub keelatud üleminek  $^2\text{S}$  seisundisse teist järku protsessi kaudu. Üldteooria oli Goeppert-Mayeri poolt antud. Arendasin seda edasi ja sellest sai võib-olla minu kõige õnnestunud töö.“ Lisame veel, et ameerika füüsik Maria Goeppert-Mayer (1906–1972) oli pärit Lõuna-Poolast Katovicest ja lõpetanud Göttingeni ülikooli (1930). Siinmainitud tööd teist järku protsessidest on pärit aastatest 1931–35, kui ta töötas juba USA-s. Koos Hans Jenseniga (1907–1973) sai ta 1963. a Nobeli füüsikapreemia tuuma kihilise mudeli loomise eest.

Elmise tsitaadi täienduseks on A. Kipper hiljem lisanud [19]: „Töö kosmiliste udude spektrite pidevast tagapõhjast ja kahefootonilisest kiirgusprotsessist valmis 1943. aasta algul. Selle trükis avaldamine fašistliku okupatsiooni tingimustes ei saanud kõne alla tulla. Sõjategevuse lähenedes 1944. aasta kevadel Tartule tekkis oht, et käsikiri võib hävida, ja tuli leida teid selle säilitamiseks. Neil kaalutlustel tehti käsikirjast mitu ära kirja, millest ühe võttis hoiule E. Öpik. Kahefootonilise protsessi osa udukogude füüsikas näitasid hiljem, 1952. aastal, L. Spitzer ja J. Greenstein.“ (Artiklis [20] on nende töö ilmumisaastaks antud 1951). „Kuid tänu E. Öpikule, kes vahepeal oli siirdunud Irimaale, taastati käesoleva artikli autori prioriteet selles küsimuses.“ A. Kipper ise avaldas täielikult oma uurimuse samuti 1952. aastal [20]. Korrektoori lugemisel lisatud märkuses viitas ta Lyman Spitzeri ja Jesse L. Greensteini artiklile „Continuous Emission from Planetary Nebulae“, Ap. J. 114, 407 (1951). Siiski, juba 1950. a oli ilmunud A. Kipperi lühike käsitlus kahefootonilisest üleminekust kui

planetaarsete udukogude pideva spektri tekkemehanismist [21]. Nagu ta ise on hiljem tunnistanud, olevat tolles töös üleminekutõenäosus  $2\pi^2$  korda suurem õigest tulemusest.

Kui kvantteooria jõudis Tartusse ja Eestimaale keemiku ja astrofüüsikute kaudu, siis XX sajandi teine alusteooria, relatiivsusteooria, jõudis siia matemaatikute, eeskätt geomeetrite kaudu [5, 22]. Teerajajaks oli kõigest uuest huvituv matemaatikaprofessor Jaan Sarv (1877–1954). Juba 1914. aastal, olles alles Tartus Eesti Noorsoo Kasvatuse Seltsi tütarlaste gümnaasiumi õpetaja, pidas ta Loodusuurijate Seltsis ettekande valguse kiirusest liikuvates keskkondades. 1922–23 avaldas ta kaks aimeartiklit relatiivsusteooriast ajakirjas „Eesti Loodus“. Neis jäi siiski tähelepanuta relatiivsusteooria pöördeline tähtsus ruumi ja aja mõtestamisel, ka on tunda ettevaatlikku hoiakut teooria alustõdede ja põhiliste järelduste suhtes. Geomeetrina hindas J. Sarv hiljemgi kõrgemalt üldrelatiivsusteooriat, pidades erirelatiivsusteooriat praktilise väärtuseta vaheproduktiks.

1928. a sügissemestril asus matemaatikadotsendina ülikoolis tööle Jüri Nuut (1892–1952) [23, 24, 25], kes oli samas kahe aasta eest omandanud doktorikraadi. Ta huvitus tõsiselt relatiivsusteooriast, kevadsemestril 1930 luges ta lühikese valikkursuse mitteeukleidilisest geometriast, samal aastal ilmus temalt asjalik aimeraamat „Millest kõneleb Einsteini relatiivsuseõpetus“ – esimene põhjalikum eestikeelne relatiivsusteooria käsitus. 1932./33. õppeaastal luges ta kahesemestrilist valikkursust (nädalas 2 tundi loenguid) „Relatiivsusteooria matemaatilised alused“. Umbes samal ajal hakkas J. Nuut arendama paisuva universumi kosmoloogiat. Ta võttis aluseks välisgalaktikate spektraalse punanihke kinemaatilise tõlgenduse Doppleri efektina ja 1929. a formuleeritud Hubble'i seaduse punanihke võrdelise sõltuvuse kohta kaugusest. Paisuva universumi võimalikkuse Einsteini üldrelatiivsusteooria võrrandite lahendina oli juba 1922. a tõestanud Peterburi teoreetik A. Friedmann. J. Nuudi paisuv universum pole saanud Einsteini võrrandite lahendina, vaid on konstrueeritud fenomenoloogilise mudelina, mille aluseks on Hubble'i seadus kui vaatluslik fakt. Viimast tõlgendas ta üldise kõikide epohhide samaväärsuse printsiibi-na. Neljamõõtmelise mitteeukleidilise aegruumi – sündmuste maailma – foonil konstrueeris ta hetkelised eukleidilised kolmruumid, mille mistahes punktpaari vaheline kaugus kasvab ajas lineaarselt. Oma uurimuse esialgse versiooni avaldas J. Nuut 1935–36 TÜ Toimetistes

ning pärast asumist Tallinna Tehnikaülikooli matemaatika ja mehaanika professori kohale (1936) Tehnikaülikooli toimetistes. Mõlemaid väljaandeid levitati peamiselt trükiste vahetamise korras ja üldiselt jõudsid nad asjast huvitatuteni.

Ka pärast siirdumist Tallinna luges J. Nuut veel kahel semestril sisuliselt teoreetilisele füüsikale suunatud valikkursusi „Lorentzi teisen-dused“ (1937) ja „Aatomifüüsika matemaatilised alused“ (1938). Kahjuks puuduvad andmed kuulajaskonna kohta, tol ajal piisas, kui koos lektoriga oli auditooriumis vähemalt kolm inimest. Seetõttu on problemaatiline ka nende loengute tähendus teoreetilise füüsika arengule Tartus.

Oma paisuva universumi teooriaga jäi J. Nuut elu lõpuni üksikuu-rijaks. Teise maailmasõja ajal evakueerus ta Nõukogude Liidu taga-lassse, töötas seal 1941–44 matemaatika professorina. Ta oli 1944–46 ENSV hariduse rahvakomissar ja 1946–49 vastloodud ENSV Teaduste Akadeemia akadeemik-sekretär, kust vallandati süüdistatuna kodanlikus natsionalismis. Kahel viimasel eluaastal 1950–52 oli ta TA Füüsika, Matemaatika ja Mehaanika Instituudi vanemteadur. Paisu-va universumi mudelile toetuva nn hüperboolse dünaamika abil püüdis ta, jõudmata küll veenvatele tulemustele, põhjendada päikesesüsteemi arengu seaduspärasusi ning täpsustada vesinikusarnase aatomi spektraalseeriade teooriat. 1951. a oktoobris sai tal valmis kaheosalise venekeelse monograafia „Lobatševski geomeetria ja selle mõningaid rakendusi füüsikas“ käsikiri. Monograafia I osa ilmus postuumselt 1961. a Moskvast NSVL TA kirjastuse väljaandel („Geometria Lobatševskogo v analititšeskom izložeenii“), II osa kui aktuaalsuse kaotanu jäi käsikirja ja on hoiul Tõravere observatooriumi raamatukogus.

Tuleb märkida, et kaasaegse teoreetilise füüsika põhitõdesid valdas ja rakendas oma töödes ka Minskist pärit astrofüüsik Wilhelm Anderson (1880–1940) [26, 27]. Ta oli omandanud Tartu Ülikoolis magistri- (1923) ja doktorikraadi (1927) uurimuste eest Päikese krooni füüsika kohta. Ta tegutses põhiliselt vabakutselise uurijana ja 1931–36 oli eradotsent. 1939. a läks ta koos rahvaluuleteadlasest venna Walter Andersoniga (1885–1962) Saksamaale. Wilhelm Anderson formuleeris ühena esimestest valgete kääbuste olekuvõrrandi ja osutas relativistlike efektide tähtsusele astrofüüsikas. Ta on uurinud ka paisuva univ-ersumi Milne'i tüüpi kosmoloogilist mudelit. Viimases, nagu ka J. Nuudi mudelis, on välditud üldrelatiivsusteooriat.

Relatiivsusteooriast oli huvitatud Oskar Silde (1900–1996), kes 1925–27 töötas Tartu Tähetornis nooremassistendina ja pidas E. Öpiku seminaris rea ettekandeid Einsteini ühtse väljateooria ühest tol ajal uuest variandist. Asunud seejärel tööle Tallinna, jäi see huvi püsima ja 1974. a ilmus temalt originaalse lähenemisviisiga raamat „Relatiivsusteooria põhiküsimusi geomeetria valguses“.

Ja lõpuks, 1939. a paiku hakkas iseseisvalt relatiivsusteooriale spetsialiseeruma Harald Keres (sünd 1912) [4]. Tööst sellealase kirjandusega kasvas välja valikkursus „Tensorarvutus“ (sügissemester 1939) ning kahesemestriline valikkursus „Relatiivsusteooria“ (I osa „Eriline relatiivsusteooria“ kevadesemestril ja II osa „Üldine relatiivsusteooria“ sügissemestril 1940). On teada, et neid loenguid on kuulanud Raimund Preem (1918–1988). Vaatamata rasketele ja keerukatele sõja-aastatele valmis juba suve hakul 1942 H. Kerese doktoritöö „Ruum ja aeg üldises relatiivsusteoorias“. Töö edukas kaitsmine toimus 12. detsembril 1942. Oma doktoritöös püstitas ta ülesande selgitada, miks relatiivsusteooria 4-mõõtmeline aegruum võimaldab 1+3 lahutust ajaks ja ruumiks ning kuidas seda lahutust korrektselt realiseerida. Analüüsis Newtoni teooria aja ja ruumi mõõtmismenetlusi jõudis ta nende elementideni, millistest on konstrueeritavad ka Einsteini üldrelatiivsusteooria ajalisi-ruumilised süsteemid. See lubas rangelt eristada füüsikalist taustsüsteemi ja selles antud koordinaatsüsteemi.

### **3 Aastad 1944–1960 – õppetöö kaasajastamine**

Sõda veel kestis, kui 1944. a hilissügisel pooleldi varemetes Tartus alustas ülikool taas tegevust, seekord Tartu Riikliku Ülikooli nime all. Eesti Vabariigi aegse füüsikainstituudi õppekoosseisust oli Tartus tagasi vaid assistent Aleksander Pae (1916–2001), doktorikraadiga oli vaid füüsikateoreetiku huvidega astrofüüsik Aksel Kipper. Tema määrati professoriks ja füüsikakateedri juhatajaks ning lisaks ka õppeosakonna ülemaks (1945–46). Füüsikakateedri pidi ta põhiliselt komplekteerima keskkooli (gümnaasiumi) õpetajatest. Staažikad pedagoogid Juhan Lang (1888–1977) ja Anatoli Mitt (1909–1980) olid küll juba kevadesemestril 1941 olnud õppejõud ülikoolis. Keskkoolis olid töötanud ka assistendid Hugo Marran (1902–1968), Liidia Tanimäe (1912–1982) ja Herman Mürk (1908–1988). Kateedri algkoosseisu kuulusid veel assistendid Harald Lepik (1918–?) ja Raimund Preem.

Kümmekond aastat oli professor Aksel Kipper ülikooli füüsikaosakonna vaieldamatuks liidriks. Tagasi vaadates neile aastatele ta meenutas [14]: „Füüsikaproffessoritest ei olnud meile jäänud mitte ühtegi. Nii et füüsika tuli rajada täiesti otsast peale. Ja sel ajal hakkasin siis esimest korda esinema füüsikuna.“ 1946. a aprillis sai A. Kipper vastutatud ENSV Teaduste Akadeemia akadeemikuks ja asus täiskohaga tööle akadeemia liinis, oli 1946–50 TA asepresident, seejärel Füüsika ja Astronoomia Instituudi, mis 1947–52 kandis nime Füüsika, Matemaatika ja Mehaanika Instituut, direktor. Viimane töökoht oli talle kõige südamelähedasem ja kui 1950ndate aastate teisel poolel algas ettevalmistav töö uue astronoomia rajamiseks, siis nõudis see temalt täit pühendumist.

Jaanuaris 1945 loodi astronoomia ja geofüüsika kateeder, mille juhatajaks määrati professor Taavet Rootsmäe (1885–1959), sinna viidi füüsikakateedrist H. Mürk. Hariduse rahvakomissari (J. Nuut) käskkirjaga moodustati arvates 15. maist 1945 teoreetilise füüsika kateeder, samast kuupäevast kinnitati selle juhatajaks professor A. Kipper ja viidi sinna üle assistent R. Preem. Füüsikakateedri, täpsemalt üld- ja eksperimentaalfüüsika kateedri juhatajaks määrati võimekas organisator ja hea lektor Anatoli Mitt, kes edutati dotsendiks. Teoreetilise füüsika kateedri oleks eraldatud peahoone II korrusel füüsika üldpraktikumi ruumist kahe kõrge musta raamatukapiga eraldatud nurgake, sisustuseks kirjutuslaud ja paar tooli. Ühe kapi külgeinal ilutses silt kateedri nimega. Nagu selgub „Üldise ja eksperimentaalse füüsika kateedri päevaraamatust“, mida peeti 15. maist 1945 kuni 16. septembrini 1948, toimusid sel ajal harilikult nende kolme kateedri ühised koosolekud. Lisaks rangelt kohustuslikele üritustele, kus õpiti tundma stalinlikku konstitutsiooni, Suurt Isamaasõda, viisaastakute plaane jms, peeti ka ettekandeid füüsika probleemidest: R. Preem „Valguse mõõtmise alused“ (30. VI 1945), A. Kipper „Neutriino“ (27. II 1946), R. Preem „Oleku kõikumise nähtus ja Browni liikumine“ (28. III 1946), P. Kard „Vedeliku isothermid“ (15. V 1946), G. Bichele „Reaktiivlennu probleem“ (26. XII 1946).

Füüsika restaureerimisel Tartu ülikoolis pidas A. Kipper oluliseks Leningradi ülikooli dotsendi Fjodor Klementi (1903–1973) külaskäiku Tartusse detsembris 1946 ning järgmisel kevadsuvel toimunud tartlaste (A. Kipper, A. Mitt, J. Lang jt) üle nädala kestnud vastuviisi Leningradi. Seal võeti osa ülikooli teaduslikust sessioonist, külastati



kateedreid ja laboratooriume. Vestlustest akadeemik Vladimir Fockiga (eesti keeles varem ka Fok, 1898–1974) ja sealsetest õppekavadest sai A. Kipper kinnitust oma mõtetele hakata Tartu ülikoolis tingimata õpetama nii relatiivsusteooriat kui ka statistilist füüsikat ja kvantteooriat.

1944. a lõpul jõudis tagasi Tartusse mobilisatsiooniga Venemaale läinud ja pärast sõjaväest vabastamist (1942) Siberis kooliõpetajana töötanud Paul Kard (1914–1985). Ta sooritas kiiresti viimased eksamid, lõpetas 1945 ülikooli matemaatikaosakonna. Järgmisel, 1946. aastal sai temast teoreetilise füüsika kateedri ja A. Kiperi esimene aspirant.

Õppetöö alguseks hilissügisel 1944 tulid matemaatiliste teaduste osakonnas õppetööle vaid üksikud vanemate kursuste üliõpilased. Regulaarne õppetöö teoreetilisest füüsikast algas alles siis, kui 1944. a ülikooli esimesele kursusele vastuvõetud (Leon Tuvikene, René Loskit jt) olid jõudnud vähemalt kolmandale kursusele. Esimesed sissekanded kateedri eksamiraamatus: Ülo Lepik (astus ülikooli 1940) sooritas A. Kipperile 5. III 47 optika ja 15. V 47 termodünaamika erikursuse eksami. Siis jaanuaris 1948: A. Kipper eksamineeris IV kursuse üliõpilasi L. Tuvikest ja R. Loskitit „Termodünaamikas ja statistilises füüsikas“. Tõenäoliselt olid selles aines toimunud ka loengud, kuna kursusel oli 4–5 üliõpilast.

Kuni 1949. a sügiseni asus teoreetilise füüsika auditoorium peahoone füüsikapoole kolmanda korruse nurgaruumis, kaks akent tänavapoolsele ja kaks akent avanesid kahekorruselise tiibhoone katusele. Praegu asub sealkandis usuteaduskonna dekanaat. Sealgi oli paari kõrge kapiga eraldatud nurgake, kus oli füüsikakateedri elatanud valvuripapi (ametliku tiitliga valvur-tuletõrjuja) Mihkel Selgise ase ja kapike. Vahel tuli kapi tagant loenguruumi tagasihoidlikke toidulõhnu või kostis lõunauinakuga kaasnevaid häälightsusi. Aga tol ajal olid inimesed vähenõudlikud, ei seganud vanapapi üliõpilasi ega üliõpilased teda. 1947./48. õppeaastal luges seal siis veel aspirant P. Kard oma esimest loengukursust „Elektromagnetvälja teooria koos elektronteooriaga“. Nagu meenutas L. Tuvikene, olnud P. Kard tol ajal lausa häbelik, alustanud loenguid tavapärase pöördumisega „Lugupeetud kuulajad“ ja esitanud seejärel tahvli juures oma materjali, käes kaustik loengutekstiga, heitmata pilku kuulajatele. Kord ilusal kevadpäeval roninud meesüliõpilased (neid oli 3–4) lahtise akna kaudu päikest võtma. Kohale jäänud ainult ainus naisüliõpilane (Linda Meiel). Kui L. Tuvikene

kümnekonna aasta pärast seda seika, mida hiljem on mälestusteraamatust kinnitanud ka Ü. Lepik, P. Kardi juuresolekul meenutas, pareeris viimane: „See ei olnud võimalik, ma oleksin seda näinud.“ Iga tahe sooritasid 23. juunil 1948 kolm katusekangelast (Lepik, Loskit, Tuvikene) eksami selles aines hindede „väga hea“.

Kuna toleaeagne füüsika üliõpilaspere hakkab tasapisi ajaloo horisondi taha kaduma, siis on siinkohal sobiv nimetada igast lennust paar inimest, kes teoreetikuna on tegutsenud või vähemalt Tartus pikemat aega elanud-töötanud. Esimesel neljal aastal 1944–1947 toimus vastuvõtt füüsika ja matemaatika liiterialale, spetsialiseerumine füüsikale või matemaatikale algas neljandal semestril. 1944. a vastu võetud I lend oli väike, füüsikuna lõpetas vaid L. Tuvikene. Järgmised lennud olid suuremad, igas lennus oli kümnekond lõpetajat. II lend (vastu võetud 1945): Ilse Kuusik, Harry Õiglane; III lend (1946): Ruth Lias, Juhan Ross, Hilja Õiglane; IV lend (1947): Aksel Haav, Karl-Samuel Rebane, Leo Sorgsepp, Ivar Piir; V (1948): Jaak Kirs, Madis Kõiv; VI (1949): Ivar Jaek, Olev Saks, Heino Tooming; VII (1950): Nikolai Kristoffel, Uno Nõmm, Valdur Tiit.

Termodünaamikat ja statistilist füüsikat luges A. Kipper veel 1948./49. õppeaastal (II lennule), seejärel P. Kard ning aastatel 1955–1958 Leningradi ülikooli lõpetanud ja seal kandidaadikraadi omandanud Karl Rebane (snd 1926), pärast teda Ivar Piir (snd 1929). Seda ainet loeti kas III või IV kursuse üliõpilastele kahel semestril 3–4 tundi nädalas.

P. Kardi põhiliseks loengukursuseks sai elektrodünaamika. See oli mahukas kahesemestriline kursus (4–5 loengut nädalas 5. ja 6. semestril), eksamid tuli sooritada harilikult kummagi semestri lõpul. Kursuse oluliseks osaks oli erirelatiivsusteooria. Teist korda luges P. Kard seda 1948./49. õppeaastal korraga II ja III lennu üliõpilastele, sügissemestril „Elektromagnetvälja teooria“, kevadsemestril „Elektronteooria“. Ühel õppejõudude ja üliõpilaste ühisel igasemestrilisel ajuloputuskoosolekul, mida nimetati tootmisnõupidamiseks, kurdeti, et P. Kardi loengutel on pikad tuletuskäigud raskesti jälgitavad, polevat selge, millise valemil abil üks või teine teisendus on tehtud. P. Kard reageeris sellele kogu kursust läbiva valemite nummerdamisega, millele jäi truuks elu lõpuni. Tema eksamitel valitses tol ajal suhteliselt leebe kord, üliõpilane võis mälu värskendamiseks välja küsida. Mõni spetsialist kirjutas ka maha. Juhtus vahel sedagi, et suures

töötuhinas kirjutati eksamilehele valemid koos numbritega. P. Kardi imestavale pärimisele vastas üliõpilane, et ta ongi ära õppinud valemid koos numbritega. Sellele järgnes õppejõu peaaegu märkamatu muigega esitatud soov kirjutada üles mõni teine valem, näiteks valem (235). Eksam lõppes sellisel juhul õpinguraamatu tagasiandmisega ja vahel lisati: „Ma näen, et Te olete asjata tulnud.“

Füüsikute õppekavva ilmus nüüd lõpuks ka „Kvantmehaanika“. Seda hakkas lugema professor A. Kipper, nimetades ainet „Kvantide mehaanikaks“. Kursust loeti edaspidi 7. ja 8. semestril 4 nädalatunniga. A. Kipperi loenguid iseloomustas pisut pidulik üldistav aine käsitus ilma liigsete peensusteta. Detailset loengukonspekti kasutas ta harva. Harilikult tuli ta loengule kaenla all mõni soliidne raamat, sagedamini A. Sommerfeldi kuulsat monograafia „Atombau und Spektrallinien“ kvantmehaanikale pühendatud lisaköide („Ergänzungsband“), mille esmatrükk ilmus 1929. a. Nii võis juhtuda, et mõnikord tekkisid tahvilile üksikud näpuvead, kord pidi ta pikema tuletuskäigu lõpus tunnistama: „See on nüüd Diraci võrrand, kui konstante ja märke mitte arvestada.“

Ta ise on meenutanud [14]: „Minu loenguid kvantteooriast võiks nimetada kvantteooria algkursuseks. Et ametlikku programmi ei olnud, lugesin enda koostatud programmi põhjal, mis järgis sedasama teed, mille ise olin läbi teinud kvantfüüsika õppimisel. Üks kolmandik kursusest oli matemaatiline ettevalmistus ja kaks kolmandikku kvantfüüsika otseses mõttes. Täiendav matemaatiline ettevalmistus oli minu arvates tol korral tingimata tarvilik. Olgugi, et matemaatika õpetamise tase oli Tartu Riiklikus Ülikoolis kahtlemata kõrge, ei olnud see ilma teatava ümbertöötamiseta füüsikule kasutatav. Näiteks maatriksalgebrat pidasin siiski vajalikuks uuesti esitada, kuid juba sellises vormis, nagu see on kasutatav kvantfüüsikas. Edasi operaatorarvutus. Jälle matemaatikakursus. Pidin ka selle teataval määral kohandatud ette kandma kvantteooria algkursuses. Mehaanikat loeti Tartu Riiklikus Ülikoolis õige põhjalikult, kuid rohkem matemaatika kui füüsika distsipliinina. Seepärast pidin ka mehaanikat kvantteooria algkursuses uuesti esitama. Erilist rõhku tuli seejuures panna variatsiooniprintsiipidele, sest Hamiltoni-Jacobi teooriat käsitleti mehaanikakursuses rohkem arvutusvõttena kui füüsikalise sisuga õpetusena. Kaanonilised paarid ja kõik muu sellega seotud sügav füüsikaline sisu matemaatikute loengutes mehaanikast esile ei tulnud ja ma pidasin vajalikuks

ka sellest rääkida. Pealegi tuli ju variatsiooniprintsiipe laiendada elektrodünaamikagi valdkonda, sest muidu ei ole võimalik käsitleda kvant-elektrodünaamikat. ... Pärast seda sissejuhatavat osa järgnes kvant-teooria algkursus, milles ma katsusin, niipalju kui ise oskasin ja kui kaugel selle aja teadus oli, oma kuulajatele põhiprintsiipe selgitada. Minu loengukursuse peamine eesmärk oli arendada kuulajais füüsiku mõtteviisi, kusjuures ma matemaatilise ranguse peale tihti erilist tähelepanu ei pööranud. Selles osas olid mu loengud võib-olla puudulikudki.“ A. Kipper lõpetas ise kvantmehaanika lugemise 1955. a kevadsemestril. Siis võttis kursuse üle Ruth Lias (snd 1926), kes jätkas seda kuni pensioneerumiseni 1981.

1949. a sügiseks olid keemikud peahoonest välja kolinud ja teoreetilise füüsika kateeder sai põhjapoolse tiibhoone esimesel korrusel kaks tänavaäärset ruumi: peahoone keskosa poolne kahe aknaga nurgatuba ja selle kõrval väiksem ühe aknaga tuba. Aasta pärast saadi sinna lähedale auditoriumiks nn klaaskapp: tiibhoonesse viiva koridori avaneva seksega ja sisseehitatud klaaskappidega koridorist eraldatud ruum. Selle kõrval oli tookord eesti keele kateeder. Nüüdseks on see kant põhjalikult ümber ehitatud. Kunagise auditoriumi ukse lähedal on nüüd veel teine uks, millel ilutseb Laplace'i operaator ( $\Delta$ ), nagu meenutamaks füüsikateoreetikuid.

Samast sügisest tuli teoreetilise füüsika kateedri juhatajaks Harald Keres [4], olles samal ajal ka TA Füüsika, Matemaatika ja Mehaanika Instituudi teadussekretär (1947–1950) ja seejärel sama instituudi astronoomia observatooriumi juhataja. Ta tõi kaasa matemaatilise füüsika meetodite nime kandva kursuste tsükli, mida ta oli lugenud ka paaril eelneval aastal matemaatikutele ja füüsikutele koos. Nüüd sai ta rohkem arvestada füüsika eripära. Tol ajal kuulusid tsüklisse kompleksmuutuva funktsioonide teooria, sissejuhatuse variatsioonarvutusse, osatuletistega diferentsiaalvõrrandid ja üksikküsimusi integraalvõrrandite teooriast. Lisaks pidi ta üle võtma teoreetilise mehaanika kursuse IV lennule. Esimese poole kursusest oli lugenud dotsent Alma Ruubel (1899–1990) ja talle oli sooritatud ka pool eksamit. Mõnede üliõpilasaktivistide nurina tõttu vahetati õppejõud. H. Kerese loengut külastas kord ka teoreetilise mehaanika kateedri juhataja professor Gerhard Rägo (1892–1968), kes jäi loenguga ülimalt rahule ja selle lõpus tänas lektorit tunnustava käesurumisega. Siiski jäi teoreetilise mehaanika kursus nii kateedri kui H. Keresele episoodiliseks,

viimast korda luges ta seda 1951. a sügissemestril. Matemaatika osakonnas oli ikkagi teoreetilise mehaanika kateeder, kus hakkas tänu Ülo Lepikule (snd 1921) kujunema uus kaasaegne elastsus-plastsusteooria uurimissuund. Näib, et H. Kerese eeskujul hakati ka edaspidi teoreetilise mehaanika kursuses pöörama suuremat tähelepanu analüütilisele mehaanikale ja variatsioonprintsipidele. See, nagu ka matemaatilise füüsika meetodite kursus, lahendas suure osa A. Kippereri muredest kvantteooria õpetamisel.

Nii kujunes teoreetilise füüsika kateedris üleliidulise õppeplaani alusel ajakohane kolmeosaline teoreetilise füüsika põhikursuste süsteem: elektrodünaamika, termodünaamika ja statistiline füüsika ning kvantmehaanika. Iga kursus oli kahesemestriline, keskmiselt 4 tundi nädalas. Eraldi õpetati teoreetilist mehaanikat, mis hakkas tasapisi arvestama füüsika vajadusi. Oluliselt täiendas neid põhikursusi matemaatilise füüsika meetodite tsükkel. See oli jaotatud samuti kahele semestrile, enamasti 5. ja 6., vahel ka 4. ja 5. semestrile, ikka keskmiselt 4 tundi nädalas. Õppetöös domineerisid loengud, harjutustunde vähemalt teoreetilises füüsikas oli harva, vähe oli ka koduseid ülesandeid. Mõnevõrra kompenseerisid seda kursusetööd: 6. semestril oli kursusetöö elektrodünaamikas, 8. semestril olid teemad seotud erikursuste kaudu antava kitsama erialaga. 1950ndatel aastatel jõudsid kohale ka üleliidulised aineprogrammid, mis olid ülimahukad. Need olid koostatud Landau ja Lifšitsi monograafiate alusel, mis olid pigem teoreetilise füüsika entsüklopeedia köited kui õpikud.

Noil aastail muutus sisukamaks ka füüsika üldkursus (koos praktikumidega) füüsika osakonnale, neli semestrit (harilikult 2.–5. semestril): mehaanika ja soojus, elekter ja magnetism, optika, aatomi- ja tuumafüüsika. Iga osa lõppes eksamiga. Alates 1956. a sügissemestrist hakkasid selle viimast osa – aatomi- ja tuumafüüsikat – lugema teoreetikud, alguses R. Lias ja 1960. aastast Jüri Lembra (snd 1933). 1949. a sügissemestril peale hakati keemikutele lugema kvantkeemiale ja aine ehitusele suunatud teoreetilist füüsikat, esimesel aastal luges Raimund Preem, seejärel Leon Tuvikene (1924–1992), paar aastat hiljem muutus see kursus „Aine ehituseks“ ja siis „Molekuliehituseks“. Õppetöö maht kateedris hakkas alates 1956. a sügissemestrist kiiresti suurenema, sest 1954 alustasid tööd vene õppekeelega rühmad.

Oluline osa õppetöös oli kitsamat spetsialiseerumist andvatel nn erikursustel. Neid loeti peamiselt 8. ja 9. semestril, kuna viimane 10. semester oli ette nähtud diplomitööks. Kuni eksperimentaalfüüsika kateedri loomiseni (1958) tulid kõik erikursused füüsikutele teoreetilise füüsika kateedrist. Füüsikaosakonnas võis spetsialiseeruda ka astronoomia ja geofüüsika kateedri kaudu geofüüsikale, seda võimalust kasutas umbes kolmandik üliõpilastest. 1950ndate aastate teisel poolel loeti neile teoreetilist füüsikat ja matemaatilise füüsika meetodeid eraldi ning mugandatud ja mõnevõrra kärbitud programmi järgi.

Esimese erikursuse „Täiendavaid peatükke statistilisest füüsikast“ luges II lennu üliõpilastele 1948. a kevadsemestril A. Kipper, kes oma hilisema meenutuse [14] kohaselt käsitles seal „statistilist füüsikat selles vormis, nagu see tuleneb kvantfüüsikast. Seega siis mitte lihtsalt Boltzmanni statistikat, vaid juba füüsikat, mille aluseks on ka Bose, Einsteini, Fermi-Diraci ja teised kvantstatistikad.“ Pärast hakkas seda lugema P. Kard ja kursuse nimeks sai „Kvantstatistika“. Temalt ilmus 1964. a ka sellenimeline õppevahend. Teiseks erikursuseks samale II lennule oli „Kvantelektrodünaamika“, mida sama aasta sügissemestril luges P. Kard. Järgmisel aastal võttis selle kursuse üle A. Kipper, kes luges seda kuni oma lõpliku lahkumiseni ülikoolist pärast 1956. a sügissemestrit. Talle omase tagasihoidlikkusega meenutas ta 1976. a, oma 70ndal sünnipäeval [14]: „Lugesin veel statistilist füüsikat, kvantelektrodünaamikat, isegi väljade kvantteooria põhiküsimusi ja kõiki kvantfüüsika algdistsipliine. Muidugi, võrreldes tänapäevaste loengukursustega paistavad need ehk kaunis naiivsed või mittetäielikud. Kuid arvestada tuleb seda, et näiteks kvantelektrodünaamika loenguid pidasin ajal, mil ilmusid Schwingeri, Feynmani jt tööd. Minu loengud pärinevad nende originaalartiklitest ajakirjas „Physical Review“ ja mul ei olnud tollal kasutada neid laialdasi ning väga mitmekülgeid kommentaare ja töötlusi, mis on praegustel kolleegidel.“ Siis võttis kursuse üle Harry Õiglane (1927–1999), kes lisaks luges veel erinevate nimetustega erikursusi: „Tuuma struktuur“, „Tuuma ja elementaarosakeste teooria“. Neist kasvas lõpuks välja üldistav kursus „Kvantväljateooria“.

1952. a sügissemestril hakkas lugema erikursust „Üldrelatiivsusteooria“ H. Keres, kes jätkas seda kuni oma lahkumiseni ülikoolist 1. septembril 1960. Nii oli kujunenud teoreetilisele füüsikale spetsialiseerumiseks põhiline erikursuste süsteem, seda täiendasid mitmesugused matemaatilised abidistsipliinid, eeskätt rühmateooria

(täpsemalt, esituste teooria), esialgu luges sedagi P. Kard. Hiljem õpetas seda R. Lias, kes pööras suuremat tähelepanu pidevatele rühmadele, eriti Lorentzi ja Poincaré rühmadele. Ja lõpuks, kateedri erikursuste spekter täienes oluliselt 1956. aasta sügissemestril, mil Karl Rebane hakkas lugema erikursust „Tahke keha teooria“.

Kateedri kaudu spetsialiseerusid üliõpilased eeskätt teoreetilisele füüsikale. Esimeseks erandiks oli IV lend, keda hakati 1950. a sügissemestril ette valmistama optikale. Võibolla pidas A. Kipper silmas Fjodor Klementi oodatavat asumist ülikooli rektori kohale, oma osa võis olla ka kavadel rajada Tartusse luminesentslampide tehas. See oli kateedri hüpe tundmatusse. Üleliidulises optika eriala õppekavas oli küll olemas erikursuste loetelu, kuid sealt tuli teha sobiv ja jõukohane valik. Oli ka üks õppejõud, Paul Kard, kes pidi kõiki neid erikursusi lugema tollase IV kursuse üliõpilastele. 1950. a sügissemestril oli tunniplaanis kaks uut kursust, tollase tava kohaselt kumbagi 4 tundi nädalas, need olid „Elektroonika“ ja „Võnkumiste teooria“. Esimese sisuks oli elektronkimpude teooria, nende käitumine mitmesuguse konfiguratsiooniga elektri- ja magnetväljades ning eriti kimpude fokuseerimise probleem. Järgmisel semestril tuli mahukam (6 tundi nädalas) „Teoreetiline optika“ ja tavalise mahuga „Aatomspektroskoopia“, lisaks veel kursusetöö teoreetilisest optikast. Eelviimasele, 1951. a sügissemestrile jäi tõsine kursus „Molekulspektroskoopia ja luminesents“ ning optika seminar, mida juhatas L. Tuvikene. Tuleb märkida, et lisaks nendele uutele loengukursustele jätkas P. Kard ka loenguid elektrodünaamikas, termodünaamikas ja statistilises füüsikas ning kevadsemestril rühmateooria erikursuses. Polnud ime, et paaril korral sai P. Kardil ettevalmistatud materjal enne loengutunni lõppu otsa. Veidi kohmetult pani ta kinni oma kaustiku ja teatas: „Siin pole enam midagi.“ Siis pisut punastades täpsustas: „Tähendab, täna ei ole siin enam midagi, järgmisel loengul jätkame.“

Umbes samal ajal hakkas Leon Tuvikene korraldama peahoone keldris endise keemikute põrgu ruumides teoreetikutele mõeldud eri-praktikumi. Oli olemas korralik kvartsoptikaga spektromeeter koos spektrijoonte atlasega, mille abil üritati analüüsida mitmesuguseid kaarleegi spektreid. Lisaks olid veel Fabry-Pérot' ja Lummeri-Gehrcke interferomeetrid, mille abil püüti esialgu mõõta elavhõbeda spektrijoonte peen- ja ülipeenstruktuuri. Paari aasta pärast hakati mõõtma ka esimesi kombinatsioonhajumise spektreid.

Süstemaatiliselt hakati optikale spetsialiseerima hilisemate kursuste üliõpilasi, alates 1952. aastal vastuvõetutest. Ära jäid nüüd „Elektronika“ ja „Võnkumiste teooria“, alles jäi „Teoreetiline optika“, millest eraldus „Valguse elektromagnetiline teooria“. Lisandusid „Luminestsents“ (Tšeslav Luštšik) ja „Tahke keha teooria“ (Karl Rebane). Pärast eksperimentaalfüüsika kateedri loomist (1958) läks see eriala uude kateedrisse.

Lõpuks kokkuvõtlikult teoreetilise füüsika kateedri õppekoosseisus toimunud muutustest. Kohakaasluse alusel (s.t poole koormusega) 1949. a sügisest kateedri juhatajana töötanud H. Keresele omistati sama aasta novembris dotsendi ja 1954. aastal professori kutse. Mee-nutame, et nõukogude ajal andis neid kutseid Moskvas asuv Kõrgem Atestatsioonikomisjon (harilikult kasutati venekeelset lühendit VAK – Vöššaja Attestatsioonaja Komissija). Ka teaduskraadi omanikuks saadi alles siis, kui pärast kohapeal toimunud kaitsmist oli VAK selle kinnitanud. 1. septembril 1951 asus H. Keres põhikohaga kateedri juhataja kohale, jäädes poole koormusega TA FAI vanemteaduriks. Sel ajal oli kateedris veel kaks õppejõudu: vanemõpetaja P. Kard (dotsent 1955) ja assistent L. Tuvikene (van õp 1957). Kateedri esimene assistent R. Preem (van õp 1949) pidi ideoloogilise puhastuse käigus augustis 1950 „omal soovil“ töölt ülikoolis lahkuma, ei tea, kas oli põhjuseks napilt aastane teenistus saksa sõjaväes või koguni saksa ja ingliskeelse kirjanduse soovitamise üliõpilastele seminari- ja kursusetööde koostamiseks. Vanemõpetajana asusid pärast aspirantuuri lõpetamist sügissemestri keskel (16. oktoobril) tööle Ruth Lias (1954) ja Karl Rebane (1955). Ivar Piir lõpetas samuti aspirantuuri 1955. a, kuid pidi enne koha saamist kateedris töötama poolteist semestrit üldfüüsika kateedris assistendina. Sügisel 1958 määrati K. Rebane vastasutatud eksperimentaalfüüsika kateedri juhatajaks, temaga koos läks uude kateedrisse ka L. Tuvikene. 1959. a sügisel tuli kateedrisse Leningradis TA Rakendusfüüsika Instituudis (Füüsika ja Tehnika Instituudis) aspirantuuris olnud Jüri Lembra. Aprillis 1958 määrati H. Keres ülikooli teadusala prorektoriks, jäädes küll vormiliselt edasi kateedri juhatajaks. Tegelikult jäi kateedri juhtimine P. Kardi hooleks. 1. septembril 1960 lahkus H. Keres töölt ülikoolist ja läks tagasi TA FAI-sse, kus sai samal ajal moodustatud teoreetilise füüsika sektori juhatajaks.



#### 4 Teadustööst aastatel 1945–1960

Asudes 1944. a lõpukuudel Tartu ülikooli füüsikaosakonda uuesti käivitama, sai Aksel Kipper teadustöös pöörata tähelepanu ikkagi ainult teoreetilisele füüsikale. Siit otsis ta lahendusi oma astrofüüsika probleemidele. Vesinikuaatomi kahefootonilise ülemineku  $2s \rightarrow 1s$  uurimisega lahendas ta ka ühe uue konkreetse kvantmehaanika ülesande. Kahjuks ei laabunud tal koostöö noore kolleegi Raimund Preemiga. See töökas ja võimekas teoreetik oli teadustöö osas täiesti juhitamatu. Ta tegeles ainult sellega, mis teda sügavalt huvitas. Tol ajal ei kõitnud teda mitte kvantteooria, vaid füsioloogiline optika, eriti värvitaju probleem. Ta süvenes sellesse suure põhjalikkusega ja aastatega hakkas probleem üha enam laiali valguma. A. Kipperi korduva soovitus hakata otsi kokku tõmbama ja väitekirja koostamisele mõtlema jättis ta vaigse jonnakusega ikka tähelepanuta.

Seevastu aspirant Paul Kard oli õnnestunud leid. Oma stuudiumi ajal oli see napsõnaline, tagasihoidlik ja võimekas töömees küll rohkem orienteeritud matemaatikale. Kõigiti sobiv väitekirjaks oli ka teema „Vesinikusarnane aatom kvanditud ruumis“ valik. Vähemalt parkümmend aastat olid füüsikateoreetikud üritanud elektroni klassikalise raadiuse suurusjärgus oleva elementaarpikkuse sissetoomise teel kõrvaldada elektrodünaamika hajumisraskusi, eelkõige elektroni lõpmatut omaenergiat. Ühe meetodi – ruumi kvantimise meetodi – algvariandi olid 1930. a esitanud Leningradi teoreetikud Viktor Ambartsumjan ja Dmitri Ivanenko (*Zeitschrift für Physik* 64, 583 (1930)). P. Kard pidigi uurima, kuidas muudab see hüpotees vesinikusarnase aatomi energia omaväärtusi. Esialgne (1930) ruumi kvantimise meetod oli algeline, ei olnud invariantne ruumi pöörete ega paralleelnihete suhtes. Pole selge, kas oleks P. Kard siin omapoolse lahenduse välja pakkunud, aga juba 1947. a oli ameerika füüsik Hartland Snyder esitanud relativistlikult invariantse ruumi kvantimise meetodi (*Phys. Rev.* 79, 38 (1947)). Sellele toetuski P. Kard oma väitekirjas, mille kaitsmine toimus 27. juunil 1949.

Samal kevadsuvel lõpetas 1944. aastal sisseastunud ülikooli füüsikuna ainult Leon Tuvikene, kes määrati esialgu teoreetilise füüsika kateedri vanemlaborandi kohale. A. Kipperi juhendamisel valminud diplomitöös oli ta uurinud diafragmeerimise mõju pikksilma lahutusvõimele. Probleemi aluseks oli astronoomide tähelepanek, et juba

lihtne ribadiafragma suurendab riba ristsihis mõnevõrra pikksilma lahtusvõimet ja lubas nii eristada kaksiktähti, mis diafragmeerimata pikksilmas jäid eristamata. L. Tuvikene jätkas tööd oma probleemi kallal ja 1963. a kaitses ta kandidaadiväitekirja „Amplituudfiltrite ja diafragma mõjust difraktsioonpildile“. Järgmistel aastatel kasvas kateedris valminud diplomitööde arv kiiresti. Tööd olid põhiliselt referatiivsed, nende teemad vastasid rohkem juhendaja kui diplomandi huvidele. Pole märgata, et diplomitöö võinuks olla eeltöök võimalikule kandidaadiväitekirjale. Öeldu illustreerimiseks olgu toodud valik esimeste diplomitööde teemasid aastate ja juhendajate kaupa (sulgudes on diplomandi nimi).

1950. H. Keres: „Kahe keha probleem üldrelatiivsusteoorias (V. A. Focki järgi)“ (Harry Õiglane), „Gravitatsioonivälja kvantiseerimine“ (Erna Pihl), „Termodünaamilised protsessid atmosfääris pilvede tekkimisel“ (Ilse Kuusik); A. Kipper: „Elementaarosakesed kosmilistes kiirtes“ (Aleksandra Kilkson); P. Kard: „Skalaarne mesonväli“ (V. Paju).

1951. A. Kipper: „Neutriinovälja kvantiseerimine“ (R. Lias), „Tuuma liikumise mõju heeliumi aatomi energiaseisunditele“ (J. Ross), „Uuest meetodist heeliumi aatomi omafunktsioonide määramiseks“ (M. Jaagus); H. Keres: „Inertsiaalsüsteemi mõiste üldistamine V. A. Focki poolt“ (Hilja Õiglane).

1952. A. Kipper: „Molekulaarse Starki efekti mõjust spektrijoonte kontuurile“ (I. Piir), „Elektroni täiendav magnetmoment“ (L. Sorgsepp); P. Kard „Heeliumi aatom impulssruumis“ (K.-S. Rebane).

1953. A. Kipper: „Neutron magnetiväljas“ (J. Kirs), „Zeemani efekt ülipeenstruktuuris“ (M. Kõiv), „Thomas-Fermi statistiline aatomimudel ja tema rakendamine aine oleku uurimisel kõrgete rõhkude ja temperatuuride juures“ (E. Timma), (kokku 6 teemat).

Järgmistel aastatel tõmbus A. Kipper diplomitööde juhendamisest tagasi. Valmisid veel vaid paar tööd kahefootonilise ülemineku kohta: V. Tiit (1955), A. Sapar (1957). P. Kard hakkas diplomitöödeks sobivaid arvutuslikke teemasid valima optikast. N. Kristoffel (1955) korras Kardi enese arvutusi ja siis tulid esimesed teemad interferentskilede alalt: J. Lembra, L. Lubi (1956), samalt alalt pakkus teemasid ka K. Rebane (Einar Tamm, 1958). Diplomitööde kaudu hakkas võimalikke koostööpartnereid otsima Harry Õiglane: Erna Roots-Kõiv (1956), A. Koppel (1957), E. Vesman (1958), Eve Tamm (1959) jt. Esimesi

diplomitöid hakkasid juhendama ka R. Lias (A. Oja 1956, V. Unt 1957, K. Pukk 1958) ja I. Piir (U. Hiie 1957).

Tegelikult iseloomustavad selle perioodi diplomitööd rohkem õppe- kui teadustööd, vaid ühe, N. Kristoffeli diplomitöö tulemused publitseeriti, küll ainult TRÜ üliõpilastööde kogumikus. Kuid teiselt poolt, nende diplomandide seast kasvas välja esimene põlvkond sõja-järgseid füüsikateoreetikuid. 1950. a lõpetajate hulgast leidis A. Kipper oma kaks järgmist aspiranti, kes seekord kuulusid TA FAI perre. Üks oli kursuse vaieldamatu liider Harry Õiglane, kes, jõudnud teisele kursusele, organiseeris üliõpilaste füüsikaringi ja ringi vanemana rakkendas selle edukalt tööle: igal nädalal toimus referaatkoosolek, tegutsemisvõimalusi pakkusid demonstratsioonikabinet ja praktikumid. Teine aspirant Ilse Kuusik (1921–1981) oli samuti tugev ja hoolas üliõpilane. Võrreldes P. Kardi väitekirja temaga olid nendele pakutud teemad mõneti ebamäärasemad. Esialgse idee kohaselt pidid nad uurima mittelineaarse (H. Õiglane) ja kõrgemate tuletistega (I. Kuusik) elektrodünaamika rakendusvõimalusi kvantteoorias. Töö käigus jäi H. Õiglasel mittelineaarsus tahaplaanile ja töö pealkirjaks sai „Elektroniteooria vaakumparandused“. I. Kuusik jäi esialgse sõnastuse juurde: „Kõrgemat järku tuletistega elektrodünaamika rakendusi elektroniteoorias“. Mõlemad tööd valmisid aspirantuuriaja lõpuks ja kaitsmine toimus 1954. a varakevadel.

Järgmisel, 1951. aastal lõpetasid samuti kaks võimekat füüsikateoreetikut. Juhan Rossi (1925–2002) organisaatoritalendile leidis A. Kipper hea rakenduse, suunates teda taasorganiseerima aktinomeetria-alast vaatlus- ja uurimistööd Tartus. Ka tema teoreetiku võimetele avanes seal avar tegevusväli. Teoreetilise füüsika kateedri teiseks ja H. Kerese esimeseks aspirandiks sai Ruth Lias, kes oli samuti füüsikaringis tublit tööd teinud füüsika uudiseid tutvustavate lühietekannete ettevalmistamisel. Oma juhendajale avaldas ta soovi tegeleda kvantteooria probleemidega ja teemaks sai „Gravitatsioonivälja kvantiseerimine mittelineaarses lähenduses ja elektronide liikumine kvantiseeritud mittelineaarses gravitatsiooniväljas“. Alguses fikseeriti teema esimene pool, teema täpsustamine toimus aspirandi ettepanekul kolmanda semestri lõpus.

1952. a lõpetanutest suunati tõsiste teoreetiku huvidega Leo Sorgsepp (1928–2003) õpetajaks Rakvere Pedagoogilisse Kooli ja H. Kerese teiseks aspirandiks sain mina, kuigi kolmandal kursusel

õppiv füüsikaosakonna komsomolisekretär märkis oma iseloomustuses, et „ühiskondlikke ülesandeid täidab lohakalt, on veidi saamatu. Oma arvamus ta peaaegu ei avalda.“ Teemaks sain „Mittelineaarsed efektid footonite liikumisel kvantiseeritud gravitatsiooniväljas“. Siingi täpsustus teema *footonite* osas kolmanda aspirantuurisemestri lõpus. Ise ma püüdsin seda valikut juhendajale põhjendada väitega, et üldrelatiivsusteooria kolmest tollal tuntud vaatluslikust efektist on kaks seotud valgusega. Lõpuks, kui töö sai valmis, tahtsin ma küll pealkirjast mittelineaarsuse ära jätta, aga plaani oli nii kirjutatud ja plaan oli püha. H. Öiglase ja I. Kuusiku dissertatsioonid olid venekeelsed, meil R. Liasega eestikeelsed, vene keeles avaldasime aga lisaks autoreferaadile veel lühikesed artiklid FAI Toimetistes (nr 5, 1957). Kindlasti oleksin pidanud paar küsimust veel põhjalikumalt läbi töötama ja eraldi publitseerima. Aga kogemused ja oskused olid napid, eriti kvantväljateooria osas, ning õppetöö nõudis palju aega ja jõudu.

1953. aastal oli kateedril kavatsus aspirandiks võtta Madis Kõiv (sünd 1929). Tema vastuvõtmine otsustati ülikooli aulas toimunud koosolekul, mida värvikalt on kirjeldanud H. Keres [28]<sup>2</sup>: „Esitan teda aspirandi kandidaadiks teoreetilise füüsika erialal. Kandidaati palutakse end tutvustada. Sattunud äkki üldise tähelepanu keskpunkti, tunneb ta end ilmselt ülimalt ebamugavalt. Ühte õlga teise järele kehitades veab ta end vaevaliselt püsti. Sellepeale käratab H. Moosberg, muidu igati heatahtlik inimene, et tema on niisuguse kandidaadi vastu, kes ei mõista korralikult püstigi tõusta. Rektor F. Klement nõustub, asi lõpetatakse ja meist ei tehta enam väljagi.“ M. Kõiv suunati tööle Tallinna Polütehnilise Instituudi füüsikakateedrisse. Järgmisel aastal sai temast ikkagi teoreetilise füüsika kateedri aspirant, sedapuhku küll mittestatsionaarne. Juhendaja P. Kard koostas detailse tööplaani, mille kohta ma vaikselt mõtlesin, et küll on selle järgi hea töötada. M. Kõivu sõnul kulges töö ikkagi plaanist sõltumata ja 1959 kaitses ta TPI nõukogu ees kandidaaditöö „Mesonite ja hüperonide süstemaatika ja selle rakendusi“.

Kvantteooria alase temaatika esialgsele kujunemisele Tartus avaldas minu meelest küllalt suurt mõju eespoolmainitud Dmitri

---

<sup>2</sup>Veelgi värvikamalt on sellesama stseeni oma mälestustesse kirjutanud Erich Kukk, bioloogia üliõpilane 1948–53 [29].

Ivanenko (1904–1994), siis juba Moskva ülikooli professor. Nagu hiljem selgus, oli ta nähtavasti omaalgatuslikus korras, küll ministeeriumi ja Moskva ülikooli nõusolekul, võtnud enesele n.ö sotsialistliku kohustuse osutada erialalist abi Tartu ja Tbilisi ülikoolidele. H. Õiglase päeviku sissekannest 23. detsembril 1955 selgub, et Tartu ülikooli küllastas ta esimest korda kas 1946. või 1947. a kevadtalvel. Kui mu mälu ei peta, küllastas ta Tartut minu ülikooliõpingute ajal. Seda pidanuks küll H. Õiglase päeviku sissekande ajal paremini mäletama, kuid pole võimatu, et D. Ivanenko esimene ja 1940-ndate aastate ainus Tartu-küllastus toimus kas 1948. või 1949. a kevadtalvel. Nii tookord kui ka hilisemate külaskäikude ajal esines ta füüsika auditooriumis ettekandegas õppejõududele ja üliõpilastele. Teemaks olid elementaariosakese füüsika ja väljateooria uudised ning esimestel kordadel ka gravitatsioonivälja kvantiseerimine, gravitonid ja elektron-positron paari transmutatsioonid gravitonideks. Viimane, kaduvväikese tõenäosusega protsess pakkus talle võimalusi spekulatsioonideks nii materiaalsuse kui ruumi ja aja olemuse ümber. Vaevalt tema ettekanne üliõpilaste mõtteid kuhugi suunas, rohkem võis see inspireerida meie juhendajaid. D. Ivanenko oli juba siis innustunud mitmesugustest väljateooria üldistustest. See võis olla ka A. Kipperile täiendavaks argumentiks I. Kuusiku ja H. Õiglase uurimisteema valikul. Ja kvantgravitatsioon jõudis siia kindlasti D. Ivanenko kaudu.

Igatahes oli D. Ivanenko ligi tosinaks aastaks ainuke nimekas füüsikateoreetik, keda me isiklikult tundsimis- ja teadsime. Ta suhtus meisse sõbralikult, ehkki kergelt patroneerivalt. Ta oli vahendajaks veebruaris 1949, kui Moskvas kõrgema hariduse ministeeriumis toimus H. Kerese doktoritöö järelkaitsmine. Meil oli ka väike lootus saada D. Ivanenkolt konsultatsiooni ja asjalikke näpunäiteid oma uurimistööks. See lootus peaaegu ei täitunud. Kõigepealt sõitis Moskvasse komandeerin-gusse 1953. a alguses Ruth Lias, kuid Ivanenko leidis aega vaid põgusaks mittemidagipakkuvaks vestluseks. Põhiliselt töötas R. Lias raamatukogus, luges ja konspekteris uuemat välismaist perioodikat, mis oli siis Tartus peaaegu kättesaamatu. Sama aasta kevadel sõitis Moskvasse H. Õiglase. Ivanenko seminaris ta kandis ette oma esimesed tulemused, tema ettekanne käsikirja luges hoolikalt läbi sealne doktorant Mirianašvili, professor vaid kergelt lehitses, tekkis ka väike diskussioon elektroni täiendava magnetmomendi klassikalise iseloomu kohta.

Oma valminud väitekirjad tõlkisid I. Kuusik ja H. Õiglane vene keelde ja saatsid Ivanenkole retsenseerimiseks. Tuli küll teade tööde kättesaamise kohta, kuid retsensioonid jäid tulemata. Kaitsmise tulemust see siiski ei mõjutanud, sest siis ei nõutud välisretsensioone ega asutuse arvamust.

Ka P. Kard soovis D. Ivanenkot oma doktoritöö juhendajaks-konsultandiks. Ta jätkas otsinguid ruumi kvantimise idee edasiarendamise kallal ja püüdis seda rakendada elementaarosakeste teoorias. 1954. a avaldas ta sel teemal üleliidulises ajakirjas „Žurnal eksperimentalnoi i teoretitšeskoj fiziki“ lühikese artikli „Elementaarosakeste masside spektrist“. Kui Ivanenko veebruaris 1956 Tartus käis, leppisid nad kokku P. Kardi astumise asjus Moskva ülikooli juurde doktorantuuri. P. Kard vormistas kõik vajalikud dokumendid ja detailse tööplaani kolmeks aastaks ja sügissemestri alguses sõitiski Moskvasse. Ootamatult tuli ta pärast aastavahetust Tartusse tagasi ja asus kevadsemestril taas õppetööle. Meil noorematel kolleegidel ei sobinud tema Moskva muljeid pärida ja ise ta neist minu kuuldes kunagi juttu ei teinud.

Tartu teoreetikute hulgas olid sel perioodil õige populaarsed D. Ivanenko ja A. Sokolovi kaks venekeelset monograafiat „Klassikaline väljateooria“ (1. tr 1948, 2. tr 1951) ja „Kvantväljateooria“ (1952). Neist esimese eest, märkides eriti seal arendatud sünkrotronkiirguse teooriat, said nad 1950. a Stalini preemia. Meie jaoks olid ehk olulisemad rida Ivanenko toimetamisel avaldatud tõlkekogumikke välisperiodikas ilmunud tähtsamatest teadusartiklitest. Üpris põhjalikes eessõnadest andis ta viiteid ka meie publikatsioonidele, tutvustades neid niiviisi laiemale lugejaskonnale.

Hiljem selgus, et D. Ivanenko on vastuoluline ja vahest mitte nii särav teadlasisiksus, nagu alguses paistis. Ta oli lõpetanud Leningradi ülikooli, muide koos Lev Landauga, 1927, esialgu vahetas töökohti iga paari aasta tagant: Leningradi ja Harkovi Rakendusfüüsika instituudid, Kiievi, Tomski ja Sverdlovski ülikoolid, stabiilse töökoha leidis ta alles 1943, kui sai Moskva ülikooli professoriks. Tema teaduslikud huvid olid mitmekülgsed, kuigi vist mitte eriti sügavad. Noorusaastatel avaldas ta rea ühiseid publikatsioone V. Focki, V. Ambartsumjani ja I. Tammega, hiljem ka I. Pomerantšuki ja V. Ginzburgiga. Kõigis välisautorite vene keelde tõlgitud raamatutes, kus oli juttu W. Heisenbergi aatomituuma prooton-neutron mudelist, oli toimetaja või tõlkija

märkus, et sellise mudeli esitas samal 1932. aastal ka nõukogude füüsik D. Ivanenko. Kõnekas on ehk seegi, et kõik tema eespoolnimetatud kaasautorid said Nõukogude Liidu akadeemikuteks. D. Ivanenko kandideeris 1950ndatel aastatel korduvalt akadeemia korrespondeerivaks liikmeks, kuid jäi akadeemikute poolt valimata. Vähemalt ühel korral saatis Tartu ülikool talle oma toetuse, mille teksti koostas P. Kard.

Tuleme nüüd tagasi Tartu füüsikateoretikute juurde. Ülikoolis oli töösse rakendunud väike, kuid töövõimeline teoreetilise füüsika kateeder. Vaadeldava perioodi lõpu eel oli lisaks kateedri juhatajale professor H. Keresele veel kolm kandidaadikraadiga õppejõudu: P. Kard, R. Lias ja I. Piir, nende dissertatsioonid olid pühendatud kvantteooriale. 1959. a sügisel tuli kateedrisse vanemõpetajaks Leningradi TA Rakendusfüüsika Instituudis aspirantuuri lõpetanud Jüri Lembra, kaasa tõi ta valmimisjärgus väitekirja „Osakeste kimbu väljaviimise teooriast asimutaalselt varieeruva magnetväljaga fasotroni korral“. Selle teemaga jäi J. Lembra kateedris üksikuurijaks. Tema suunamine Leningradi aspirantuuri oli seotud toleaege kavaga muretseda Tartusse väiksem elementaarosakeste kiirendi, kuigi ühe aspirandi ettevalmistamine kiirendite teooria alal vaevalt oleks lahendanud kiirendi tegeliku tööse rakendamise seotud kaadri probleeme. J. Lembra tagasituleku ajaks Tartusse oldi siin kiirendi kavast loobutud (see ehitati Riiga).

Sügisel 1957 võttis H. Keres oma juhendada kaks värsket ülikoolilõpetajat. Kateedri juurde jäi Aare Koppel (1934–1991), teine, Väino Unt (snd 1932) suunati rohkem füüsikavälistel kaalutlustel FAI-sse aspirantuuri. Nende uurimisteedad kuulusid traditsioonilisse üldrelatiivsusteooriasse.

Füüsika ja Astronoomia Instituudi füüsikasektoris hakkas samuti kujunema väike välja- ja elementaarosakeste teooria töörühm. Lisaks kandidaadikraadiga vanemteaduritele I. Kuusikule ja H. Õiglasele tuli 1955. a sügisel tagasi Tartusse Rakverre kooliõpetajaks suunatud Leo Sorgsepp, temast sai esialgu FAI-s A. Kipperri aspirant teemaga kvantväljateooria alalt. 1957. a tuli FAI-sse nooremteaduriks vahepeal Võrus kooliõpetajana töötanud R. Preem. Tundub, et juba Võrus oli ta hakanud otsima lõplike vahede meetodi kaudu omalaadset lähenemisviisi kvantmehaanikale, mis mõneti meenutab ruumi kvantimise ideed. Samal aastal võeti instituuti tööle ka äsjane ülikooli lõpetaja Arved Sapar (snd 1933), kes esialgu hoidus rohkem teoreetikute rühma juurde. Loominguline kontakt oli H. Õiglasel tekkinud

Tallinnas TPI-s õppejõuna töötava Madis Kõivuga ja 1958 ülikooli lõpetanud ja P. Kardi aspirandiks saanud Laur Palgiga (snd 1935). Silmapaistlikult olid kerkinud ka mitu andekat vanemate kursuste üliõpilast (A. Ainsaar, J. Lõhmus jt). Uurimistemaatika hakkas avarduma: relativistlikult invariantset võrrandid, osakeste süstemaatika ja rühmateoreetilised meetodid jne [5].

Nii hakkas Tartus kvantteooriaga tegelevate inimeste hulk nagu lähenema edukaks tööks vajalikule minimaalsele kriitilisele massile. Tegelikult oli see siiski heterogeenne, praktiliselt tosina aasta jooksul tühjale kohale moodustunud uurijate pere, sellel puudus tugev, kasvõi Nõukogude Liidu piires tunnustatud liider. See oli mure, mis vaevas A. Kipperit, kui ta ülikoolist lõplikult tagasi tõmbus ja täielikult astronoomia observatooriumi rajamisele pühendus. Välja löid ka esimesed mõrad. Kvantgravitatsioon jäi episoodiliseks ja tol ajal minu meelest perspektiivituks uurimissuunaks. Mina hakkasin referatiivsele ajakirjale kaastööd tehes otsima jõukohaseid üksikprobleeme tavalisest üldrelatiivsusteooriast. R. Lias hakkas eeskätt õppetöö huvides süvenema kvantväljateooria matemaatilistesse probleemidesse ja jäi nendega omaette tegutsema. L. Sorgsepp ei jälginud oma juhendaja esialgseid soove. Tema nagu ka I. Kuusik ja A. Sapar liitusid astrofüüsika suunaga.

Ja lõpuks Paul Kard – teda kõitsid endiselt kvantväljateooria ja elementaarosakeste teooria; mingit edu ise ta siin ei saavutanud, kuigi oma aspirantide M. Kõivu ja L. Palgi jaoks pidas ta seda temaatikat ainvõimalikuks. Tema enese tegelikuks uurimissuunaks oli juba 1950. aastate alguses kujunenud teoreetiline optika. 1952. a esitas ta uue meetodi valguse täieliku peegeldumise uurimiseks ja ennustas lisaks tuntud valguskiire pikinihkumisele uue efekti – kiire ristnihke – olemasolu. Retsensentide vastuseisu tõttu ei õnnestunud tal oma tulemusi Nõukogude Liidu kesketes füüsika-ajakirjades avaldada. Põhitulemused publitseeris 1956. a N. Kristoffel TRÜ üliõpilastööde kogumikus. Ristnihke ennustas uuesti P. Kardi omast erineval meetodil 1955. a F. Fjodorov ja eksperimentaalselt avastas selle 1968–69 C. Imbert. P. Kardi arvutusmeetodi taasavastas 1964 R. Renard [30]. Selleks ajaks oli P. Kard ise süvenenud mitmekihiliste optiliste katete teooriasse. Esimese artikli sel teemal avaldas ta 1956, sellele järgnes umbes 4–5 publikatsiooni aastas, kõik üleliidulistes füüsika-ajakirjades. Ise pidas ta neid töid esialgu sobivateks vaid



publikatsioonide plaani täitmiseks. Rektor F. Klementi tungival soovitusel hakkas ta alles 1960. aastate alguses sel teemal doktoritööd koostama.

Füüsika ja Astronoomia Instituudis moodustati direktori käskkirjaga 25. juulil 1960. a teoreetilise füüsika ja matemaatika sektor [5]. Selle koosseisu kuulusid kaks gravitatsiooniteoreetikut (H. Keres ja V. Unt) ja H. Õiglase juhitud elementaarosakeste töörühm, aga ka samuti kvantteooriat rakendav tahkiseteoreetikute töörühm, mille tekelugu väärib omaette käsitlemist. 1. septembril 1960 määrati sektori juhatajaks H. Keres.

### Kirjandus

1. RAKA, f 2001, n 2, sü 825.
2. P. Kuusk, I. Martinson. Eesti füüsikud võõrsil II. *Eesti Füüsika Seltsi aastaraamat 1997*. Tartu, 1998, lk 4–18.
3. I. Piir. Füüsika eriala Tartu Ülikoolis aastatel 1919-1940 (õppeplaanide alusel). *Tartu Ülikooli ajaloo küsimusi XXIII*. Tartu, 1989, lk 23–5.
4. I. Piir. Harald Keres – õpetaja ja õpetlane. *Teaduse ajaloo lehekülgi Eestist XIII*. Tartu, 2004, lk 176–210.
5. J. Lõhmus. Teoreetilise füüsika labori minevik ja tänapäev. *Eesti TA Füüsika Instituudi Uurimused*. Tartu, 1989, kd 64, lk 10–44.
6. E. Lippmaa, H. Õiglase. Kvantmehaanika algusest Eestis. *Tehnilise mõtte ja tehnikahariduse ajaloo probleeme Eestis II*. Tallinn, 1985, lk 37–41.
7. V. Past, M. Oopkaup. Väljapaistev eesti füsikokeemik Adolf Gustav Parts. *Insenerikultuur Eestis I*. Tallinn, 1992, lk 116–129.
8. V. Past. Professor Adolf Gustav Parts teadlasena ja õppejõuna. *Tartu Ülikooli ajaloo küsimusi XXVII*. Tartu, 1993, lk 135–144.
9. A. Eucken, A. Parts. Die Molarwärme und Normalschwingungen des Äthans und Äthylens. *Zs. phys. Chem.* 1933, Bd. B20, S. 184–194.
10. A. Parts. Gaaside erisoojuste arvutamisest. *Keemia Teated*. 1932, kd 1, nr 2, lk 37–41.
11. A. Parts, A. Tudeberg. La dispersión ultraroja del dióxido de carbono. *An. Soc. Esp. Fis. Quim.* XXXI. 1933, lk 319–324.
12. A. Parts. Aatomite vahelistest võnkumistest põhjustatud dipoolmomentidest. *Keemia Teated*. 1937, kd 2, nr 4, lk 184–195.

13. E. Öpik. Stellar structure, source of energy, and evolution. *Tartu AO Publ.* 1938, kd 30, nr 3, lk 1–115.
14. A. Kipper. Mälestuskilde kvantteooria õpetamisest neljakümendate aastate lõpul. *Eesti Loodus.* 1977, nr 11, lk 713–716.
15. A. Kipper. Personaalnimestik. Tallinn, 1981.
16. A. Sapar, U. Uus. Akadeemik Aksel Kipper 1907–84. *Tähetorni Kalender 1986. aastaks.* Tartu, 1985, lk 29–38.
17. A. Kipper. Die Nullpunktsenergie als Quelle der Strahlung der weissen Zwerge. *Tartu AO Publ.* 1940 (1941), kd 30, nr 7, lk 37–43.
18. RAKA, f 2001, n 2, sü 339.
19. A. Kipper. Killukesi Tartu Tähetorni ajaloost. *Tartu Tähetorni Kalender 1984. aastaks.* Tartu, 1983, lk 29–43.
20. A. Kipper. Valguskvandi kaksikemissiooni teooria vesiniku aatomi jaoks. *Tartu AO Publ.* 1952, kd 32, nr 2, lk 63–94 (vene keeles).
21. A. Kipper. Planetaarsete udukogude pidev spekter. *Nõukogude teaduse arengust Eesti NSV-s 1940–1950.* Tallinn, 1950, lk 316–327 (vene keeles).
22. P. Kuusk, P. Müürsepp, I. Piir. Akadeemik H. P. Keres ja relatiivsusteooria Eestis. *ENSV TA Füüsika Instituudi Uurimused.* Tartu, 1987, kd 62, lk 7–20 (vene keeles).
23. G. Kangro, Ü. Lumiste, E. Tamme. Jüri Nuut – elu ja teaduslik pärand. *Matemaatika ja kaasaeg XIII.* Tartu, 1967, lk 85–108.
24. I. Piir. Looking back beyond a half century. *Eesti TA Toimetised.* 2001, kd 50, nr 4, lk 187–194.
25. Ü. Lumiste. Aegruumi geomeetriast ja selle ajaloost. *Akadeemia.* 2005, nr 2, lk 332–353.
26. P. Kuusk, I. Martinson. Wilhelm Anderson (1880-1940). *Eesti Füüsika Seltsi aastaraamat 1994.* Tartu, 1995, lk 16–38.
27. P. Kuusk, I. Martinson. Tartu astrofüüsik Wilhelm Anderson. *Akadeemia.* 1997, nr 2, lk 358–375.
28. H. Keres. Madis Kõiv 60. *Eesti TA Füüsika Instituudi Uurimused.* Tartu, 1989, kd 64, lk 7–9.
29. Erich Kukk. Lugu sellest, kuidas üks Haanja poiss Tartus bioloogiks õppis. *Hillar Palamets: Lugusid Vanast Tiigist.* Kleio, 2004, lk 137–148.
30. I. Piir. Professor P. G. Kardi töödest valguse täieliku peegeldumise kohta. *TÜ ajaloo küsimusi XX.* Tartu, 1987, lk 141–153 (vene keeles).

## EESTI FÜÜSIKUD VÕÕRSIL IV

*Piret Kuusk<sup>1</sup>, Indrek Martinson<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Tartu Ülikooli Füüsika Instituut, <sup>2</sup>Lundi Ülikool

Eelmisel kümnendil avaldasime Eesti Füüsika Seltsi aastaraamatutes neli artiklit eesti füüsikutest, kes lahkusid kodumaalt Teise maailmasõja lõpul ja hiljem said jätkata oma teaduslikku tööd võõrsil. Meie tähelepanu all on olnud Villem Koern (1993.a aastaraamat, lk 16–23), Ernst Kilkson, Endel Aruja, William Muld, Evald Pääsuke, Muusa Punnis ja Harry Kord (1996, lk 4–18), Harald Perlitz ja Aleksandra Link (1997, lk 24–40) ning Boris Punnis, Richard Härm ja Einar Hinnov (1998, lk 6–22). Silmapaistev eesti soost füüsik Rein Silberberg kirjeldas meie palvel ise oma elu ja teadustööd (1999, lk 6–13).

Kõigist nimetatutest vaid kaks noorimat, Einar Hinnov (1930–1995) ja Rein Silberberg (1932–2001), ei jõudnud enne Eestist lahkumist ülikoolini, kõik teised aga olid lõpetanud Tartu Ülikooli ja töötasid siin juba füüsika alal.

Seekord kirjutame kolmest eesti soost füüsikust, kes said kõrge-  
ma hariduse ja teaduskraadid paguluses. Need on Hinrek Neuhaus (snd 1924), Uuno Öpik (snd 1926) ja Olev Mathiesen (snd 1928). Kõik nad lahkusid Eestist sügisel 1944. Kõik nad jõudsid doktori-  
kraadini (PhD): U. Öpik Belfastis 1954, H. Neuhaus Stockholmis 1959 ja O. Mathiesen Lundis 1965. Seejärel jätkasid nad kõrgetasemelist teaduslikku tööd headel ametikohtadel kuni pensioneerumiseni ja kauemgi veel. H. Neuhaus ja O. Mathiesen elavad praegu Rootsis, U. Öpik Inglismaal. Meie artikkel toetub paljuski nendega hiljuti aset leidnud kirjavahetustele ja telefonikõnedele.

**Hinrek Neuhaus** sündis 23. augustil 1924 Tallinnas. Ta lõpetas 1943. a Gustaf Adolfi Gümnaasiumi Tallinnas. Noorena oli ta huvitatud geoloogiast ja avaldas „Loodussõbras“ (1940) kirjutise fossiilsest hiid-  
ürgvähilisest nimega Eurypterus. Perekond Neuhaus saabus Rootsi sügisel 1944. Hinrek hakkas edasi õppima Stockholmi Tehnikainstituudis (STI), mille lõpetas 1947. a masinatehnika insenerina. Taolise ametitunnistusega oli tol ajal võimalik leida üsna head töökohta,

kuid Neuhaus astus siiski Stockholmi Ülikooli, kus õppis matemaatikat, füüsikat ja astronoomiat. Ta omandas fil knd kraadi 1952. a kevadel. Samal aastal alustas ta teadustööd Stockholmi Ülikooli eksperimentaalfüüsika instituudis. Selle juhatajaks oli professor Erik Hulthén (1891–1972), kes oli olnud kuulsa Janne Rydbergi õpilane Lundi Ülikoolis. (Võib märkida, et Stockholmi Ülikooli teoreetilist füüsikat juhatas tol ajal Oskar Klein (1894–1977).) Tervelt 30 aastat (1929–59) juhtis Hulthén Stockholmi Ülikoolis uurimusi molekulaarspektroskoopia alal. Pearõhk oli asetatud kaheaatomiliste molekulide (esmajoones hüdriidid, karbiidid ja oksiidid) struktuuri kaardistamisele optilise spektroskoopia abil. Sel alal kuulus instituut juhtivate hulka maailmas, oli võrreldav isegi Gerhard Herzbergi (1971. a Nobeli laureaat keemias) instituudiga Ottawas. Neuhaus töötas Hulthéni juures assistendina seitse aastat, 1952–59.

Molekulide vibratsioonide ja rotatsioonide tõttu on spektrid üsnagi keerulised ja koosnevad paljudest spektrijoontest. Edukaks analüüsiks on muu hulgas vaja maksimaalselt suure lahutusvõimega spektrograafe. Hulthén ja Neuhaus leidsid selle jaoks elegantse lahenduse nn immersioonispektrograafi näol. Võrele, mida tavaliselt kasutati kiirguse difraktsiooniks, lisati klaasprisma, kusjuures nende vahel oli õhuke õlikiht, näiteks seedriõli. Lahutusvõime muutus seetõttu mitu korda paremaks võrreldes sellega, mida ainult võre abil oli võimalik saavutada. Sellist tehnikat on juba ammu rakendatud mikroskoopias, kus objektiivi ja katseklaasi vahele pannakse õlikiht. Idee kasutada õlikihti ka molekulide spektroskoopias esitas suuremate kogemustega Hulthén, kuid alles Neuhausil kui suurepärasel eksperimentaalfüüsikul õnnestus see realiseerida, sest tehnika praktiline osa on keeruline ja nõuab äärmist täpsust.

Nende esimene artikkel ilmus ajakirjas „Nature“ [1]. Sellele järgnes pikem ülevaade rootsi ajakirjas „Arkiv för Fysik“ [2]. Selgus, et immersioonimeetodi abil oli võimalik uurida isegi molekulide ülipeenstruktuuri. Aatomite puhul oli seda struktuuri juba varemgi uuritud, näiteks Fabry-Pérot' interferomeetrite abil (praegu on muidugi laserite meetodid ja *Fourier-transform*-spektromeetrite rakendamine veelgi tõhusamad), kuid molekulide uurimiseks Fabry-Pérot' instrumendid enamasti ei sobinud väga tihedalt asetunud spektrijoonte tõttu. Neuhaus kasutas immersioonitehnikat edukalt selliste kaheaatomiliste molekulide korral nagu indiumhüdriid InH [3] ja indiumdeutriid InD [4].

Koostöös kaasmaalase William Mullaga, kelle elu ja tegevust oleme kirjeldanud EFSi aastaraamatus 1996, uuris Neuhaus ka talliumdeutriidi TID struktuuri. Siin ei olnud küll võimalik ülipeenstruktuuri näha, kuid ka selle uuringu tulemus oli teatud mõttes oluline [5]. Hinrek Neuhaus kaitses oma doktoriväitekirja „Bandenspektroskopische Untersuchungen über die Hydride und Deutride der Elemente Ga, In, und Tl und über die Hyperfeinstruktur der Bi- und In-Hydride“ 9. mail 1959. Doktoritöö põhines viiel ülalnimetatud artiklil ja veel kolmel publikatsioonil.

Doktoritöö sai kõrge hinnangu ja H. Neuhausile anti kohe ka dotsendi kutse. Ta sai dotsendi ametikoha Stockholmi Ülikooli juures. Niisugused ametikohad olid tookord tähtajalised ja ei kestnud tavaliselt rohkem kui 6–7 aastat. Neuhaus jätkas oma head koostööd Hulthéni järeltulija, professor Albin Lagerqvisti (1915–1991) ja viimase kaastöölisega. Ühes huvitavas artiklis on uuritud ülipeenstruktuuri, magnetilisi efekte ja mitmesuguseid seostusi InH molekul juures [6]. Ametiaja lõppedes pakuti Neuhausile Rootsi teadusfondi „Naturvetenskapliga forskningsrådet“ poolt uut tähtajalist uurijadotsendi töökohata aastaks 1967–73. Ideerikka ja haruldaselt osava füüsikuna arendas Neuhaus edasi eksperimentaalset meetodikat, uurides näiteks spektrijärkude eraldamist, mis tunduvalt kergendab spektraalanalüüsi [7]. Ühtlasi arendas ning täiendas ta selliseid spektroskoopia valgusallikaid nagu õõnes katood (*hollow cathode*) ja Kingi ahi (*King's oven*) [8]. Neuhaus tegeles ka spektroskoopiateooriaga, pakkudes võimalusi parandada Fabry-Pérot' interferomeetrite omadusi [9,10], ning tundis huvi plasmafüüsika ja selle võimalike rakenduste vastu spektroskoopias [11].

Kui 1973. aastal seegi tööleping lõppes, võttis Neuhaus vastu uurimisinseneri koha Rootsi Rahvuslikus Katsetusinstituudis (*Statens Provningsanstalt*, Borås), kus töötas seksioonijuhatajana seitse aastat. Ta tegeles meetri prototüübi ja kilogrammi prototüübi probleemidega. Pikkuste mõõtmisel laserinterferomeetria abil jõudis ta täpsuseni  $4 \cdot 10^{-6}$  ehk  $4 \mu\text{m}$  1m kohta. Hiljem osales ta olulise aruande kirjutamises Rootsi etalonkilogrammide võrdluse kohta USA firmas Voland valmistatud kaal-komparaatori abil. Aastast 1980 oli ta taas Stockholmis, kus töötas Töökaitseametis (*Arbetskyddstyrelse*) teadlase ja büroodirektori (*byrådirektör*) ametikohal. Selle riikliku institutsiooni ülesannete hulka kuulus niisuguste riskide kaardistamine

ja teaduslik uurimine, mis võiksid esineda mitmesugustel töökohtadel ja ohustada personali. Siin tegeles Neuhaus laserite, elektromagnetkiirguse ja valgustuse probleemidega ning kõrgsageduslike elektromagnetväljade mõju kaardistamisega. Hinrek Neuhaus töötas Töökaitseametis kuni pensionile minekuni augustis 1989.

Neuhaus jõudis oma teadusliku tegevuse kõrval huvituda paljustki: klassikaline muusika viis teda kokku Neeme Järviaga, ajaloohuvi ärgitas hiljuti toetama nii vaimselt kui majanduslikult raamatu „Vaba Eesti tähistel“ väljaandmist, kus taastrükitud enam kui sada aastail 1948–64 ilmunud artiklit eesti pagulaste suhteliselt radikaalsest kultuuri ja poliitika ajalehest „Vaba Eesti“.

**Uuno Õpik** sündis 18. oktoobril 1926 Tartus. Ta isa oli kuulus astronoom Ernst Õpik (1893–1985). Uuno lõpetas Tartu 1. gümnaasiumi 1943 ja saabus koos vanemate ja õega Saksamaale sügisel 1944. Uuno Õpik meenutab: „Saksamaale põgenenud Baltimaade ülikoolide õpejõudude ja nende perekondade vastuvõtt oli Saksa ülikoolide poolt väga hästi korraldatud. Nende hoolitsuse all elasime mitmetes kohtades: Danzig-Langfuhr (Danzigi nimi on nüüd Gdańsk), Swinemünde Oderi suudmes (Swinoujście), Sielbeck-Uklei (Schleswig-Holsteinis Eutini lähedal). 1. jaanuarist 1945 kuni sõja lõpuni töötasin Hamburg-Bergedorfi observatooriumis arvutajana. Pärast sõja lõppu elasime Hamburgis.“

1946. a astus U. Õpik Balti ülikooli (see asus alguses Hamburgis ja hiljem Pinnebergis) ja õppis seal kuni 1948. aasta kevadeni. Varasuvel 1948 kolis Uuno ühes vanematega Põhja-Iirimaale ja sama aasta sügisel jätkas õpinguid Belfasti ülikoolis (*The Queen's University of Belfast*). Selle lõpetas ta 1950. aastal B.Sc. eksamitega matemaatikas ja 1951. aastal B.Sc. eksamitega füüsikas. Doktorikraadi (Ph.D) sai ta juba aastal 1954, samuti Belfasti ülikoolist. Doktoritöö pealkiri oli „Quantal investigations of certain excitation and ionization processes“, juhendajaks kuulus Iiri aatomifüüsik Sir David Bates (1916–1994). Seejärel töötas U. Õpik uurimisassistendina Bristolis ülikoolis (1955–56) ja 1956–60 lektorina mitmes ülikoolis – *University College, Wales* 1956–60, *University of Reading* 1960–62, *The Queen's University of Belfast* 1962–68. Siis sai ta samas ülikoolis vanemlektori (*reader*) koha, kelleni töötas ligi kakskümmend aastat, 1968–1986. Õppeaasta 1965–66 veetis U. Õpik USA-s *Oak Ridge National Laboratory's*. Õpiku alaks oli põhiliselt teoreetiline aatomifüüsika. 1960ndate aastate lõpul ilmunud

ja eksperimentaalfüüsikute tähelepanu äratanud töödes [12,13] uuris ta, kuidas aatomi elektrone ühes täidetud kihis polariseeritakse kõrgemale ergastatud elektroni poolt.

Õpik huvitus mitte ainult aatomite struktuurist, vaid ka dünaamikast, nimelt aatomite ja ionide vahelistest pörgetest. Detailsemalt uuris ta laengu ülekande protsesse taolistes pörgetes. Pörgete kirjeldamiseks tuleb kasutada ajast sõltuvat Schrödingeri võrrandit, mille lahendamine on päris keeruline, eriti kui mängus on mitu elektroni. Koos H.G. Morrisoniga esitas Õpik uue meetodi selle võrrandi lahendamiseks lainefunktsiooni arendamise teel suureks arvaks alusfunktsioonideks. Viimased on defineeritud just selliselt, et saaks kirjeldada ühe elektroni liikumist kahe tuuma vahel [14]. Teooria abil kirjeldati kõigepealt pörkeid  $\text{He}^{2+}$  ja H vahel ning leiti, et teooria tulemused on heas kooskõlas katsetega. Edasi rakendasid autorid seda formalismi pörgetele  $\text{H}^+$  ja H vahel [15] ning isegi selles suhteliselt lihtsas süsteemis oli võimalik varasemaid teooriad tunduvalt parandada. Mõned aastad hiljem olid Morrison ja Õpik oma teooriat veelgi viimistlenud ja nüüd võis  $\text{He}^{2+}$ -H pörgete uurimisel näha suurepärasest kooskõla teoreetiliste arvutuste ja peenete, kuid üsnagi aeganõudvate katsete vahel [16].

Selle teooria saatusel on Õpik meile kirjutanud: „Ma kulutasin väga palju aega, et programmi, millega Morrison ja mina olime neid arutusi teinud, publitseerimiseks ette valmistada. Selle ettevalmistuse töö tegin mina üksi, sest siis töötas Morrison juba kooliõpetajana ja hiljem ülikooli pedagoogikaosakonnas, ja tal ei olnud enam võimalik programmi kallal töötada. Programm on küllaltki keeruline ja see tuli nii läbi töötada, et keegi, kes ei ole programmiga nii tuttav kui meie, kes me olime programmi koostanud, seda ikkagi kasutada saaks. Tuli kirjutada palju seletusi, kuidas programmi tarvitada, ja tuli sisse ehitada mitmeid kontrolliprotseduure, mille abil programmi tarvitaja saab programmi proovida ja vigu kõrvaldada, kui ta programmis vastavalt oma vajadustele muudatusi teeb. See töö sai valmis ja programmi kirjeldav artikkel ilmus trükis aastal 1993 [17]. Praegused kompuutrid on palju võimsamad kui need, mis meil olid kasutada, kui me Belfastis seda tööd tegime, mistõttu praegu peaks selle programmiga olema võimalik saada üsna häid tulemusi, ja seda mitte väga suure kompuutriaia (*central processing time*) kuluga. Kas aga keegi pärast meid on seda programmi kasutanud? Vist mitte, sest programmi kasutajal

arvatavasti oleks tekkinud – programmi keerulisuse tõttu – raskusi, ja siis ta oleks täiendavate seletuste saamiseks minu poole pöördunud. Keegi ei ole minu poole pöördunud.“

1965/66. a Oak Ridge'i laboratooriumis olles tegeles Öpik ka tahkiseteeoriaga, uurides koos R.F. Woodigaioonkristallide (nt KCl, KBr, KI, NaCl) elektronstruktuuri ja punktdefekte [18–20]. Autorid tõestasid, et dielektriline polarisatsioon on oluline tegur, mida peab teoorias arvesse võtma, selleks et tulemused oleksid kooskõlas katseandmetega. See temaatika haakub TÜ Füüsika Instituudis tehtud uurimustega, mis käsitlevadioonkristalle nii eksperimentaalselt kui teoreetiliselt.

Praegu elab Uno Öpik Melkshamis, väikeses linnakeses Lõuna-Inglismaal, mitte väga kaugel Bristolist ja Bathist. Öpik on alati olnud väga huvitatud muusikast. Ta laulab kohalikus kooris, käib tihti kontsertidel ja mängib kodus klaverit.

Uno Öpiku poeg Lembit Öpik (snd 1965) on Inglismaa parlamenti liige ja esindab Liberaalset parteid.

Torontos 1991. a ilmunud raamatus „Balti Ülikool“ (toimetaja Elmar Järvesoo) on U. Öpik avaldanud artiklid „Esiageeid muljeid Põhja-Iirimaa ülikoolist“ ja „Mõtteid Balti Ülikoolist ja muudest asjadest“.

**Olev Mathiesen** sündis 30. mail 1928 Sindis. Perekond põgenes Rootsi 1944 ja jõudis kõigepealt Gotlandi saarele. Hiljem koliti Lundi, kus Olev lõpetas gümnaasiumi (*Lunds privata elementarskola*) kevadel 1950. Veebruaris 1951 hakkas ta õppima Lundi Ülikoolis. Ta sooritas fil. mag. eksami (füüsika, keemia, matemaatika) märtsis 1956 ja fil. lic. eksami aprillis 1963. Aastail 1954–65 töötas ametnikuna ja assistendina Lundi Ülikooli füüsika instituudis, kus hakkas uurima kosmilist kiirgust.

Aastal 1912 oli austerlane Victor F. Hess (1883–1964, Nobeli preemia 1936) avastanud kiirguse maailmaruumist, mida hakati nimetama kosmiliseks kiirguseks. Ta uuris seda mäetippudelt ja kuni 5 km kõrgusel õhupallide abil. Hiljem selgus, et mida kõrgemal katseid teha, seda rohkem kiirgust registreeritakse (maakera atmosfääril on nõrgendav efekt kiirgusele). Nüüd on teada, et osakeste kiirguse koosseisus on elektronid, protonid,  $\alpha$ -osakesed ja raskemad tuumad (kuni  $Z = 28$ , s.t kuni niklini Ni) vahekorras umbes 1:100:10:1.

Lundis alustas kosmilise kiirguse uurimisprojekti tuumafüüsika professor Sten von Friesen (1907–1996). Vesinikuga täidetud



ja fotograafiliste emulsioonidega varustatud õhupallid saadeti üles stratosfääri umbes 30 km kõrgusele, selleks et registreerida kosmilist kiirgust ja määrata, missugused tuumad ja osakesed selles esinevad. Alguses tehti mõõtmisi Texasas (*US Naval Research*) ja hiljem Põhja-Kanadas Fort Churchillis Hudsoni lahe kaldal, mis on magnetpooluse lähedal. Texases sai põhiliselt mõõta relativistliku kineetilise energiaga osakesi, katsed Kanadas võimaldasid registreerida ka palju madalama energiaga tuumi. Õhupallid olid plastist, ca 25 m kõrged ja ruumalaga ca 1000 m<sup>3</sup>. Emulsioonid olid tavaliselt väikestes alumiumikarbiketes. Õhupallid viibisid kõrgustes 8–10 tundi ja nii pikk oli ka fotoplaatide ekspositsioonaaeg. Siis langetati õhupallid maapinnale ja emulsioonid ilmutati laboris. Kiirguse jälgi uuriti mikroskoobi abil. Lundis konstrueeriti efektiivne fotomeeter, mille abil oli võimalik määrata osakeste kineetilist energiat, massi ja laengut. Alates aastast 1960 avaldas Mathiesen koos oma juhendaja Krister Kristianssoni (snd 1922) ja teistega mitu artiklit kosmilise kiirguse kohta. Ühes esimestest töödest, mis tehtud Texases (geomagnetiline laius 41°), uuriti relativistlikke tuumi, mille laengud  $Z$  olid intervallis 3–14 [21]. Laengute jaotuse määramine on väga tähtis, selleks et leida, kust on osakesed pärit, ja teada saada mehhanism, mis neid kusagil kaugel kiirendab. Deltakiirte osatähtsust osakeste laengu määramisel võrreldi fotomeetriliste meetoditega [22]. Mathiesen leidis lahendusi ka probleemile, kuidas saaks mitterelativistlike osakeste jälgi emulsioonidel uurida fotomeetria abil [24]. Erilist rõhku pandi raskete osakeste mõõtmisele, artiklites oli tulemusi tuumade kohta  $Z = 4$  (Be) kuni  $Z = 26$  (Fe) [23, 25]. Mathiesen ja Stenman [26] esitasid mõõtmisandmeid ka Guami saarelt Vaikses ookeanis, mis asub geomagnetilise ekvaatori lähedal. Tulemused jaotati kolme gruppi:  $Z = 3 - 5$ ;  $Z = 6 - 9$  ja  $Z = 10$ , ning nende vahekorrad määrati küllalt suure täpsusega.

Mathiesen kaitses doktoriväitekirja mais 1965. Selle pealkiri oli „Den relativa förekomsten av atomkärnor med kärnladdningstal  $Z = 3$  i den primära kosmiska strålningen“ [27] ja ta koosnes ülalnimetatud kuuest trükis avaldatud artiklist. Pärast edukat kaitsmist töötas O. Mathiesen ühe aasta teadurina USAs Minnesota Ülikoolis ja tuli siis tagasi Rootsi, kus sai dotsendi koha Lundi Ülikoolis (1966–74).

Kahjuks ei kohtunud omavahel kaks eesti soost kosmiliste kiirte kõrgtasemel uurijat, Olev Mathiesen ja Rein Silberberg. Ka ei olnud Mathieseni sellealased teadustulemused Eestis tuntud ja ta jäi

Silberbergi kõrval nimetamata hiljuti ilmunud raamatus „Universumi mikromaailm“ (Tallinn, 2003).

Alates 1974. aastast pühendus Olev Mathiesen metroloogiale ja asus tööle Rootsi Rahvuslikul Katsetusinstituudis (*Statens Provningsanstalt*, Borås), kus samal ajal (1973–80) töötas ka Hinrek Neuhaus. Aastail 1974–77 oli Mathiesen vanemspetsialist, 1977–89 metroloogiakeskuse juhataja, 1989–94 kvaliteedijuht ja rahvusvahelise koostöö spetsialist. Ta on olnud paljude standardimise ja tehnilise kontrolli komiteede liige nii Rootsis kui Euroopas, muu hulgas Rahvusvahelise Standardimisorganisatsiooni ISO töögrupi „Technical Advisory group – 4 Metrology“ liige 1985–96, Lääne-Euroopa Kalibreerimisalase Koostööorgani WECC sekretär 1989–94 ja WECC töögrupi „Task Force for revision of WECC Doc 19–1990“ esimees 1994–99. Nimetatud töögrupp töötas välja juhendi „Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration“ (*EA 4/02, European Co-operation for Accreditation*, Paris, 1999). Mathieseni juhendamisel on välja töötatud ISO eeskirjad „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ (ISO, Genève, 1993; ee „Mõõtemääramatuse väljendamise juhend“, tlk V. Vabson, Tartu: Riigi Metroloogiakeskus, 1996) ja mitmeid teisi dokumente.

Iseseisva Eesti riigi loomine tähendas seni siin kehtinud riikliku standardite süsteemi GOST lõppu. Kui NLiidus oli kvaliteedi garanteerijaks riik, siis Euroopas on vastutus pandud tegijatele endile ja nende taset peab tunnustama akrediteerimine. Vastavad struktuurid oli tarvis üles ehitada ka Eestis. Olev Mathiesen tuli siia, et oma teadmiste ja kogemustega pakkuda abi metroloogia-alases koolituses ning standardimise ja akrediteerimise täiesti uue süsteemi loomisel. Majandusministeeriumi vahendusel pidas ta arvukalt loenguid ja juhatas kursusi siinsete spetsialistide koolitamiseks. Tema projektide kohaselt asutati Sihtasutus Eesti Akrediteerimiskeskus, väga palju on ta nõustanud sertifitseerimiskeskust OÜ Kserteks ja Eesti metroloogia keskasutust AS Metrosert. Olev Mathiesen on nii oma ametliku kui ka mitteametliku tegevusega aidanud luua Eestile omast mõõtmisealast infrastruktuuri. Tema osalus Eesti metroloogias tõstis selle kiiresti usaldusväärseks ka Euroopa tasemel. AS Metrosert kuulub Eesti esindajana Euroopa metroloogia ühendusse EUROMET.

1990ndatel algas Olev Mathieseni viljakas koostöö Tallinna Tehnikaülikooli metroloogiaprofessori Rein Laaneotsaga. ETF grantide

toetusel on avaldatud kaks raamatut: „Mõõtevahendite kalibreerimine“ [28] ja „Mõõtmise alused“ [29]. Neist esimese autorite kollektiiv esitati 2004. a Eesti riigi teaduspreemia kandidaadiks tehnikateaduste alal. Teise saateks ütlevad autorid: „Antud töös on koondatud ühiste kaante vahele kõik see, mis puudutab mõõtmise põhitõdesid, tänapäevast eestikeelset mõõtmisealast terminoloogiat, mõõtühikuid, mõõtmisega seonduvat matemaatilist statistikat, mõõtmise üldistatud mudeleid, mõõtemääramatuse hindamise ja selle väljendamise põhialuseid ning mõõtetulemuse jälgitavuse tagamise viise.“ See on kindel käsiraamat kõigile, kel tegemist mõõtmise, ekspertiisi või vastavushindamisega ning kes soovivad oma tööst kõnelda selges eesti keeles.

Koos abikaasa Innaga on Olev Mathiesen annetanud Eestis töötavale sihtasutusele Eesti Rahvuskultuuri Fond suurema summa omanimelise allfondi moodustamiseks, et toetada Eesti lähiajaloo uurimist. Oma erialatöö kõrval on Olev Mathiesen võtnud aktiivselt osa ka mitmete Rootsis asuvate eesti organisatsioonide tegevusest nagu Eesti Rahvusfond jt.

Täname Hinrek Neuhausi, Leslie Pandrilli, Uuno Öpikut, Olev Mathieseni, Toomas Kübarseppa ja Rein Laaneotsa väärtusliku materjali eest, mida oleme saanud kirja teel ja telefonikõnede kaudu.

#### Kirjandus

1. E. Hulthén, H. Neuhaus, *Diffraction gratings in immersion*, Nature 173, 442 (1954).
2. E. Hulthén, H. Neuhaus, *Diffraction gratings in immersion*, Arkiv Fysik 8, 343 (1954)
3. H. Neuhaus, *Die Hyperfeinstruktur der Indiumhydrid-Banden*, Z. Physik 150, 4 (1958).
4. H. Neuhaus, *Über die Indiumdeutrid- und hydridbanden und deren Hyperfeinstruktur*, Z. Physik 152, 402 (1958).
5. H. Neuhaus, W. Muld, *Das Bandenspektrum des Thalliumdeutrides*, Z. Physik 153, 412 (1959).
6. T. Larsson, H. Neuhaus, *Magnetic effects in the spectrum of indium hydride and their relevance for the coupling problem*, Arkiv Fysik 27, 275 (1964).
7. K. Schmidt, H. Neuhaus, L.-E. Lundh, *An order sorter of prism type in Vacuum-UV range*, Physica Scripta 9, 197 (1974).

8. N. Elander, H. Neuhaus, *Various types of hollow cathodes and absorption devices in optical spectroscopy*, Physica Scripta 10, 130 (1974).
9. H. Neuhaus, P. Nylén, *On the Loaded Fabry-Perot Cavity with finite Aperture*, J. Modern Optics 22, 185 (1975).
10. H. Neuhaus, *Zur Theorie der Vielstrahlinterferometer einschließlich Betrachtungen über das Theoretische Auflösungsvermögen des Pérot-Fabriscchen Etalons*, Arkiv Fysik 31, 91 (1966).
11. S. Ahlbom, H. Neuhaus, *Einige nicht-lineare Erscheinungen in Hochfrequenz-Gasentladungen*, Arkiv Fysik 29, 455 (1965).
12. H. Eissa, U. Öpik, *The polarization of a closed-shell core of an atomic system by an outer electron. I. A correction to the adiabatic approximation*, Proc. Phys. Soc. 92, 556 (1967).
13. U. Öpik, *The polarization of a closed-shell core of an atomic system by an outer electron. II. Evaluation of the polarizabilities from observed spectra*, Proc. Phys. Soc. 92, 566 (1967).
14. H.G. Morrison, U. Öpik, *An impact-parameter method for heavy-particle collisions involving one electron. I. Theory and sample results on  $H^+ - H$  and  $H^{2+} - H$  collisions*, J. Phys. B: Atom. Molec. Phys. 11, 473 (1978).
15. H.G. Morrison, U. Öpik, *Excitation and charge transfer to the 2s and 2p states in  $H^+ - H$  collisions in the energy range 49 to 125 keV*, J. Phys. B: Atom. Molec. Phys. 12, L685 (1979).
16. H.G. Morrison, U. Öpik, *An impact-parameter method for heavy-particle collisions involving one electron. II. Attempts to improve the accuracy, and results on  $He^{2+} - H$  collisions*, J. Phys. B: Atom. Molec. Phys. 17, 857 (1984).
17. Morrison, U. Öpik, *A program for ion-atom collisions involving one electron*, Computer Phys. Commun. 77, 403 (1993).
18. R.F. Wood, U. Öpik, *Electronic Structure of the U Center. I. Absorption and Lattice Relaxation*, Phys. Rev. 162, 736 (1967).
19. U. Öpik, R.F. Wood, *Point Defects in Ionic Crystals. I. Methods of Calculating the Electronic Structure*, Phys. Rev. 179, 772 (1969).
20. R.F. Wood, U. Öpik, *Point Defects in Ionic Crystals. II. The F Center in KCl, KBr, KI, and NaCl*, Phys. Rev. 179, 783 (1969).
21. B. Waldeskog, O. Mathiesen, *Photometric charge determination of relativistic heavy primaries in cosmic radiation*, Arkiv Fysik 17, 427 (1960).

22. O. Mathiesen, *Determination of the charge of relativistic heavy primaries in cosmic radiation by  $\delta$ -ray counting and a comparison with photometric identification*, Arkiv Fysik 17, 441 (1960).
23. K. Kristiansson, O. Mathiesen, B. Waldeskog, *The abundance of nuclei heavier than oxygen in the primary radiation*, Arkiv Fysik 17, 455 (1960).
24. K. Kristiansson, O. Mathiesen, B. Waldeskog, *Identification of non-relativistic heavy primaries in cosmic radiation by photometric measurements in nuclear emulsions*, Arkiv Fysik 17, 485 (1960).
25. K. Kristiansson, O. Mathiesen, A. Stenman, *The relative abundance of nuclei heavier than lithium in primary cosmic radiation*, Arkiv Fysik 23, 479 (1963).
26. O. Mathiesen, A. Stenman, *The relative abundance of nuclei heavier than helium in primary cosmic radiation near the geomagnetic equator*, Arkiv Fysik 29, 145 (1965).
27. O. Mathiesen „Den relativa förekomsten av atomkärnor med kärnladdningstal  $Z = 3$  i den primära kosmiska strålningen“ (Lund, 1965).
28. E. Kulderknup, R. Laaneots, O. Mathiesen, M. Nanits, „Mõõtevahendite kalibreerimine“, TTÜ Kirjastus (Tallinn, 2000).
29. R. Laaneots, O. Mathiesen, „Mõõtmise alused“, TTÜ Kirjastus (Tallinn, 2002).

ASÜMPTOOTILINE VABADUS  
KVANTKROMODÜNAAMIKAS  
Nobeli 2004. aasta füüsikapreemia  
elementaarosakeste füüsika teoreetikutele

*Ilmar Ots, Hannes Liivat*

TÜ Füüsika Instituut

Nelja-aastase vaheaja järel anti Nobeli füüsikapreemia jälle elementaarosakeste füüsika teoreetikutele. Ja jälle, nagu füüsikapreemiatega sageli kombeks saanud, juba aastatetaguste tegude eest. Kas ei suudeta tehtu tähtsust temale lähemas tulevikus õigesti hinnata või siis pole Nobeli preemiade määramise aegu lähiminevikust väärilisi töid võtta ja neid tuleb paratamatult kaugemast möödanikust otsida? Nii või teisiti, Rootsi Kuninglik Teaduste Akadeemia jagas 2004. aasta Nobeli füüsikapreemia USA teadlaste David J. Grossi, H. David Politzeri ja Frank Wilczeki vahel „asümptootilise vabaduse avastamise eest tugevas vastastikmõjus“.

Nobeli preemia omistamise aluseks olevad põhitööd trükiti ajakirjas *Physical Review Letters* 1973. aastal. Toome nad siinkohal ka ära: D.J. Gross and F. Wilczek, „Ultraviolet Behaviour of Non-Abelian Gauge Theories“ („Mitte-Abeli kalibratsiooniteooriate ultravioletne käitumine“), *Phys. Rev. Letters* 30, 1343 (1973) ja H.D. Politzer, „Reliable Perturbative Results for Strong Interactions“ („Usaldusväärsed häiritusarvutuslikud tulemused tugevates vastastikmõjudes“), *Phys. Rev. Letters* 30, 1346 (1973). Niisiis ilmusid tähtsad artiklid ajakirja ühes ja samas numbris, üksteise järel, kusjuures Politzeri artikli käsikiri olevat ajakirja toimetusse jõudnud Grossi ja Wilczeki omast vaid kuus päeva hiljem. Artiklite ilmumise ajal olid Politzer ja Wilczek alles doktorandid, doktoritööd kaitsesid nad järgmisel aastal. Gross on nendest kümme aastat vanem ja oli oma doktoritöö kaitsnud 1966. aastal.

Mis oli siis üle 30 aasta tagasi tehtud ja nüüd Nobeli preemia väärinud avastuse sisuks? Kvantväljateooriates on  $\beta$ -funktsiooniks

nimetatav suurus, mis muu hulgas määrab olulises osas ka elementaarosakeste vastastikmõjude tugevuse mõõdu – vastastikmõju konstandi – sõltuvuse osakeste energiast. Nobeli preemia saajad näitasid, et tugevat, kvarkide vahelist vastastikmõju kirjeldavas kvantväljateoorias kvantkromodünaamikas on  $\beta$ -funktsioon negatiivne – vastupidi tolle ajani üldiselt kehtivale tõekspidamisele, et tõesistes teooriates peab  $\beta$ -funktsioon olema positiivne. Negatiivne  $\beta$ -funktsioon viib üsna kummalisena tunduvale nähtusele: kvarkide vaheline vastastikmõju nõrgeneb kvarkide vahelise kauguse vähenemisega ja muutub üsna nõrgaks väga väikestel, nukleoni mõõtmetest vähematel kaugustel. Nähtus, mida nimetataksegi asümptootiliseks vabaduseks, võimaldab analoogiliselt elektromagnetilise vastastikmõju kvantväljateooriaga – kvantelektrodünaamikaga – kasutada ka kvantkromodünaamikas ligikaudset arvutust – häiritusarvutust.

Nagu avastuste puhul tihti, on ka sel korral avastuseni viinud tegudes osalejate ring laiem aupärijate omast. Juba 60-ndate aastate lõpul näitas hilisem (1982. a) Nobeli füüsikapreemia laureaat, USA teadlane Kenneth Wilson, et vastastikmõjude tugevuse asümptootiline käitumine on seotud  $\beta$ -funktsiooniga. Umbes samal ajal leidis tuntud ameerika teoreetik James Bjorken, et elektroni-prootoni sügavalt mitte-elastse hajumise ristlõike avaldises olevad prootoni siseehitust kirjeldavad struktuurifunktsioonid muutuvad väga kõrgete põrkeenergiateni jõudes lihtsaiks, vaid ühest dimensioonita parameetrist sõltuvaiks suurusteks. 1970. aastal näitas saksa füüsik Kurt Symanzik, et seda nähtust, mida oli hakatud nimetama Bjorkeni skeilinguks (ingl *scale* – skaala, mastaap), võib seletada vaid negatiivse  $\beta$ -funktsiooniga. Tal hakkas idanema idee realistliku negatiivse  $\beta$ -funktsiooniga kvantväljateooria võimalikkusest. Tema õhutusel tegi 1972. aastal toimunud Marseille' konverentsil ettekande oma arvutustulemustest mitte-Abeli vastastikmõjude (milline on ka tugev vastastikmõju) teoorias tulevane (1999. a) Nobeli preemia laureaat, siis veel noor Hollandi teoreetik Gerardus 't Hooft. Ettekande käigus kirjutas ta tahvlile korrektse negatiivse  $\beta$ -funktsiooni. Tulemus jäi aga publitseerimata. 27. aprillil 1973 jõudis ajakirja *Physical Review Letters* Grossi ja Wilczeki käsikiri ja, nagu öeldud, kuus päeva hiljem Politzeri oma.

Järgnevas püüame asümptootilise vabaduse nähtust tugevas vastastikmõjus natuke selgemaks rääkida. Alustame veidi kaugemalt. Praeguste teadmiste järgi on aine sügavaimal tasandil olevateks

osakesteks (alusosakesteks) leptonid ja kvargid. Alusosakeste vahel mõjuvad neli alusjõudu: gravitatsiooniline, nõrk, elektromagnetiline ja tugev jõud<sup>1</sup>. Meid siin huvitav tugev jõud valitseb kvarkide vahel. Tema tuntuimaks toimeks on kvarkide kooshoidmine aatomituuma koostisosakestes – protonites ja neutronites. Tugeva jõu allikaks on kvarkide tugev laeng. Tugevat laengut kutsutakse ka värvilaenguks ja viimasest tuleneb tugevat vastastikmõju kirjeldava kvantteooria nimetamine kvantkromodünaamikaks (kr *chroma* – värv). Et kvantkromodünaamika teedel rändamine on tihti üsnagi harjumatu, kasutame asümptootilisele vabadusele lähemale jõudmiseks ka elektromagnetnähtuste ja neid kirjeldava kvantelektrodünaamika juuba tuntuks tallatud radu. Elektromagnetvälja allikaks on teatavasti elektrilaeng ja kõik seda laengut kandvad osakesed (pooled leptonitest ja kõik kvargid) on sellele jõule allutatud. Jõud laenguid kandvate osakeste vahel antakse edasi nende laengute tekitatud väljade kaudu: elektromagnetjõud elektromagnetvälja kaudu, värvijõud värvvälja kaudu. Kvantväljade teooriates, kus väljad on kvanditud, on jõu kandjateks väljakvandid, elektromagnetjõul fotonid ( $\gamma$ -kvandid), tugeval jõul gluuonid (ingl *glue* – liim). Jõud laetud osakeste vahel tekib väljakvantide vastastikuse kiirgumise ja neeldumisega. Jõu intensiivsuse (tugevuse) määravad vastastikmõju konstandid. Elektromagnetismis on selleks peenstruktuuri konstant  $\alpha$ , mis kohastes ühikutes on antud elektrilaengut  $e$  (positroni laengut) sisaldava valemiga

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi}.$$

Tugeva vastastikmõju korral on samasuguses valemis  $e$  asemel  $Q$ , mida võib vaadata kui värvilaengu fundamentaalühikut, ja  $\alpha$  asemel tugeva vastastikmõju konstant  $\alpha_t$ . Vastastikmõju konstantide väärtuseks on ammuks katsed andnud

$$\alpha \approx \frac{1}{137}, \quad \alpha_t \geq 1.$$

Nüüd laengutest lähemalt. Elektromagnetnähtusi põhjustab vaid üks laeng – elektrilaeng, mis võib olla kas negatiivne või positiivne. Viimane on esimese antilaeng. Tugeva jõu laenguid on kolm: punane, sinine

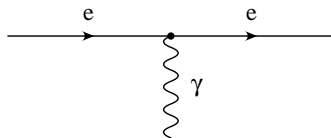
<sup>1</sup>Jõud mikromaailmas erineb jõu mõistest makromaailmas. Näiteks pole ta alati võrdne massi ja kiiruse korrutisega. Et jõud on palju lihtsam sõna, kasutame teda siiski ka edaspidi kõrvuti täpsema sõnaga „vastastikmõju“.



ja roheline laeng. Neile vastavad antilaengud on taevassinine (antipunane), kollane (antisinine) ja purpur (antiroheline). Vastavalt sellele, milline laeng kvargil on, nimetatakse teda kas punaseks, siniseks või roheliseks kvargiks. Kvarkide värvil pole loomulikult midagi ühist tavavärvidega, nimi võimaldab aga kasutada analoogiaid värviteooriaga. Kvarkidest koosnevad liitosakesed – hadronid – värvilaenguid ei kanna. Sellest järelduvalt peavad kvarkide värvid nendes olema sellised, mis kokkuvõttes liituvad värvituks (valgeks). Poolearvuliste spinnidega hadronites (barüonides), mis koosnevad kolmest kvargist, on üks kvark sinine, teine punane ja kolmas roheline. Liitumisel annavad nad kokku värvitu. Täisarvulise spinniga hadronid (mesonid) on ehitatud kvargist ja antikvargist. Siin peavad nende värvid teineteise suhtes olema antivärvid.

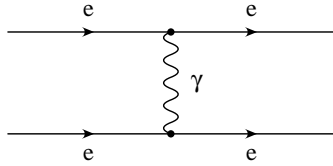
Elektromagnet- ja värviväljas ei ole erinevat liiki kvantide arv võrdne. Elektromagnetväljal on vaid üht liiki kvandid – footonid. Tugevat jõudu vahendaval väljal on tervelt seitse erinevat gluuonit. Olulisem on siin siiski üks teine asjaolu. Footonil pole elektrilaengut, laengut, mis teda tekitab. Sellest johtuvalt puudub footonite vahel otsene elektromagnetiline vastastikmõju. Gluonitega on asi teisiti. Nemad kannavad neid endid tekitavaid värvilaenguid, iga gluuon koguni kahte laengut. Värvilaengute tõttu on ka gluuonite vahel otsene tugev vastastikmõju (omamõju). Sarnaselt kvargiga võib gluuon tekitada värvivälja, ehk kvantteooria järgi – kiirata või neelata gluuoneid. Nagu peagi näeme, viib just gluuonite omamõju asümptootilise vabaduseni.

Vaatleme nüüd saadud teadmisi kasutades kahe vastastikmõju põhjustatud lihtsamaid protsesse. Kõikide elektromagnetiliste protsesside aluseks on elementaarprotsess, kus elektrilaenguga osake (näiteks elektron) kiirgab või neelab  $\gamma$ -kvandi. Elementaarprotsessi võib piltlikult kujutleda nii nagu joonisel 1: elektron kiirgab footoni, jäädes ise elektroniks. Reaalselt ei saa elementaarprotsess toimuda,



Joonis 1.

sest sellega rikutaks nii energia kui impulsi jäävust. Elementaarprotsessis saab toimuda vaid siis, kui teine laenguga osake (elektron)  $\gamma$ -kvandi neelab. Kahe elementaarprotsessi liitmisel saame juba reaalselt toimuda võiva protsessi (joonis 2), mida kvantteoorias nimeta-



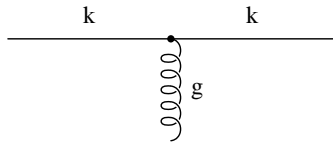
Joonis 2.

takse Mølleri hajumiseks. Kuna skeemi tippudes ( $\gamma$ -kvandi kiirgamise ja neelamise kohtades) jäävusseadusi rikutakse, on vahetatav  $\gamma$ -kvant virtuaalne. Ta võib tekkida tänu Heisenbergi määramatuse seosele energia ja aja vahel

$$\Delta E \cdot \Delta t \sim h,$$

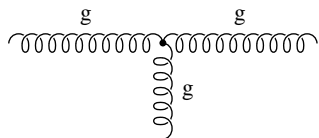
kus  $\Delta E$ -d võib siin vaadelda energia jäävuse rikkumise suurusena ja  $\Delta t$ -d seda energiat transportiva, valguse kiirusega liikuva  $\gamma$ -kvandi elueana ehk protsessi toimumise ajana. Määramatuse seosest järeldub, et vastastikmõjustuvate laengute vahelise vahemaa vähenedes võib vahekvant edastada üha suuremaid energiasid.

Kvantkromodünaamikas on elementaarprotsessiks gluuonite kiirgamis- ja neelamisaktid kvarkide poolt (joonis 3), aga tänu gluuonite

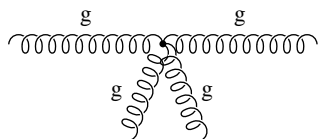


Joonis 3.

omamõjule ka gluuonite kiirgamine (või neelamine) gluuonilt (joonis 4). Teooria näitab, et lisaks sellele eksisteerib veel nelja sabaga omamõju (joonis 5). Kahe kvargi-gluuoni tipuga elementaarprotsessi liitmisel analoogselt kvantelektrodünaamikas tehtuga saame reaalse

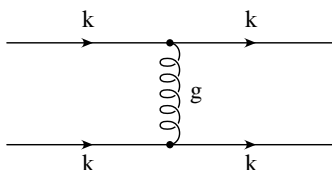


Joonis 4.



Joonis 5.

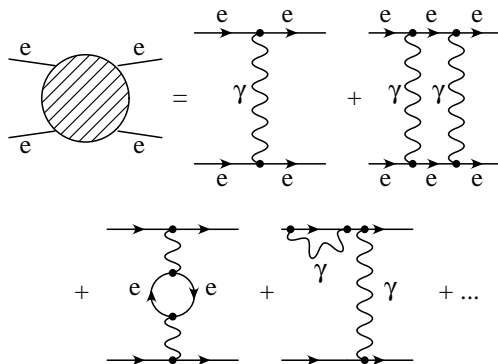
protsessi (joonis 6) – kahe kvargi vahelise vastastikmõju (kvargi hajumise kvargilt). Gluonite omamõju skeemide tähtsus selgub peagi.



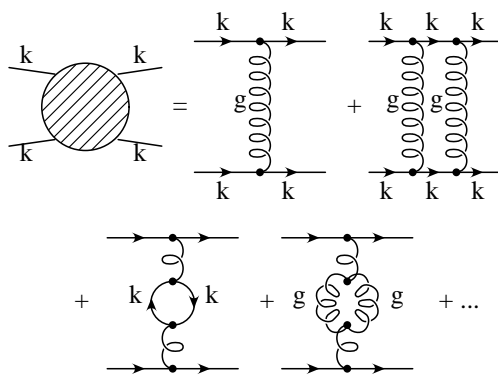
Joonis 6.

Toodud pildid on nn Feynmani diagrammid. Nad ei ole protsesside ruumilised kujutised. Nendes ei ole osakeste trajektoore ega mingeid ruumilisi kaugusi. Feynmani diagrammid on vaid sümboolsed skeemid, matemaatilise mudeli karkassid protsesside arvutamiseks. Kvantväljateoorias on protsesse iseloomustavaks suuruseks tõenäosusamplituud, mille mooduli ruut annab tõenäosuse, et antud olekutes protsessi algosakestest tekiks teatud kindlates olekutes lõpposakesed. Tõenäosusamplituud ei ole täpselt arvutatav, kasutatakse ligikaudset arvutamist (häiritusarvutust), kus amplituud arendatakse seosekonstandi astmete järgi ritta. Feynmani diagrammide kasutamine on lihtsaim meetod erinevat järku liikmete leidmiseks selles reas. Joonistel 2 ja 6 reaalseid protsesse kujutavad kahe tipuga skeemid

vastavad rittaarenduste esimesele liikmele. Kogu protsessi kujutamiseks tuleb neile elementaarprotsesside skeeme kasutades lisada kõikvõimalikud nelja-, kuue- jne tipuga diagrammid. Loomulikult jäävad konkreetse protsessi korral kõikides diagrammides samaks protsessi alg- ja lõpposakesi kujutavad jooned. Illustratsiooniks toome siin nii Mølleri (joonis 7) kui kvarkide (joonis 8) hajumise protsessi jaoks mõningad rittaarenduse alguse diagrammid.



Joonis 7.

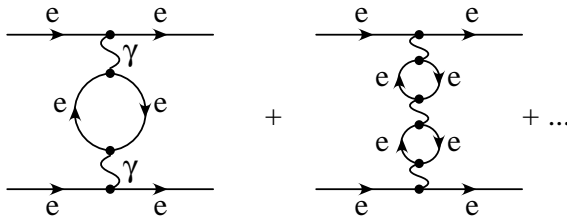


Joonis 8.

Joonistel vasakul olevad skeemid kujutavad sümboolselt kogu protsessi ja paremal olevad rea liikmed näitavad, mis vastastikmõju piirkondades toimub, õieti küll, kuidas seal toimuvat arvutada. Nagu peagi näeme, mängivad skeemidel olevad silmusdiagrammid teema seisukohalt tähtsat rolli. Feynmani reeglite kohaselt seatakse diagrammide igale elemendile – joontele ja tippudele – kindlas järjekorras vastavusse matemaatilised avaldised, millega saadaksegi amplituudi rittaarenduse liikmed. Oluline on, et tippudele vastavusse seatud avaldised seisab tegurina laengu suurus ehk ruutjuur seosekonstandist. Sellest tulenevalt saadakse kahe tipuga diagrammist  $\alpha$ -ga, nelja tipuga diagrammist  $\alpha^2$ -ga, kuue tipuga diagrammist  $\alpha^3$ -ga jne võrdeline liige. Reaksarendusel on mõte vaid siis, kui seosekonstant on ühest oluliselt väiksem. Nii on see kvantelektrodünaamikas. Seosekonstandi väikse tõttu piisab siin üsna täpse tulemuse saamiseks vaid vähese arvu rea esimeste liikmete arvesse võtmisest. Vajaduse korral lubab „vana hea“ kvantelektrodünaamika arvutada suurusi kuitahe täpselt. Aga mida teha kvantkromodünaamikas, kus  $\alpha_t \geq 1$  ja iga järgnevat järku rea liige tuleb suurem eelnevat järku liikmetest?

Kus häda kõige suurem, seal abi kõige lähem! Seosekonstandid ei ole tegelikult üldsegi konstandid, sest laengute suurused sõltuvad sellest, kui kaugelt nad mõjuvad, ehk teisisõnu, kui suur on vahemaa vastastikmõjus olevate laengutega osakeste vahel. Elektromagnetismis on laengute kaugustest sõltuvus tuntud asi. Vaatame positiivset laengut dielektrilises keskkonnas, näiteks vees. Laeng polariseerib keskkonna, tõugates molekulide-dipoolide positiivsed laengud endast eemale ja tõmmates negatiivsed laengud enda poole. Positiivset laengut ümbritsevad dipoolide negatiivsed laengud varjestavad keskkonda polariseeriva laengu. Ta näib efektiivselt väiksemana,  $e_{ef} = e/\varepsilon$ , kus  $\varepsilon$  on dielektriline konstant, mis näitab mõõtu, kui kergelt dielektriline keskkond laseb ennast polariseerida. Kui liigume laengule lähemale, varjestus väheneb. Kui oleme jõudnud lähemale lähimatest dipoolidest, näeme puhast laengut  $e$ . Võime ka laengu dielektrikust välja (vaakumisse) tõsta ja teda siis mõõta. Kuid kas vaakumis mõõdetud väärtus  $e$  on ikka tegelik puhta laengu väärtus? Vaakum laengu ümber käitub ka kui dielektriline keskkond. Laeng neelab ja kiirgab pidevalt virtuaalseid footoneid, mis vahepeal võivad muutuda virtuaalseteks elektroni-positroni paarideks. Virtuaalseid elektroni-positroni paare võib ka vaakumist välja kiirguda. Need paarid on dipoolid. Positiivne

laeng tõmbab enda poole virtuaalseid elektrone ja tõukab eemale positrone. Vaakum polariseerub. Ja tuleb jälle sama efekt. Virtuaalsete elektronide negatiivsed laengud varjestavad vaakumis oleva positiivse laengu. Mida lähemale laengule minna, seda enam varjestus väheneb ja laengu efektiivne suurus kasvab. Erinevuseks on siin see, et vaakumist pole laengut enam kuhugi välja tõsta. Ka pole teada puhta laengu suurus, see võib ulatuda lõpmatuseni. Feynmani diagrammide keelde panduna tähendab vaakumi polarisatsioon, et lisaks tavalisele, vaid virtuaalse footoni vahetamisega kahe laengu vastastikmõju kujutavale diagrammile, tuleb lisada elektroni-positroni paari silmustega diagrammid (joonis 9):



Joonis 9.

Selliste diagrammide arvesse võtmine muudab seosekonstandi „jooksvaks“, kaugusest sõltuvaks. Nagu eespool nägime, on kaugus ja energia konjugeeritud suurused ja me võime kirjutada  $\alpha(E) > \alpha(E_1)$ , kus energia  $E_1$  on väiksem kui energia  $E$ . Seosekonstant kasvab energia kasvades. Seosekonstandi väärtus  $1/137$  on  $\alpha(0)$  väärtus, mis tähendab, et elektrilaengut on mõõdetud „kombates“ teda väga madalate (nullilähedaste energiatega) virtuaalsete footonitega. Kauguste juurde tagasi tulles võiks öelda, et laengut on mõõdetud kauguselt, kus ta on veel täielikult varjestatud.

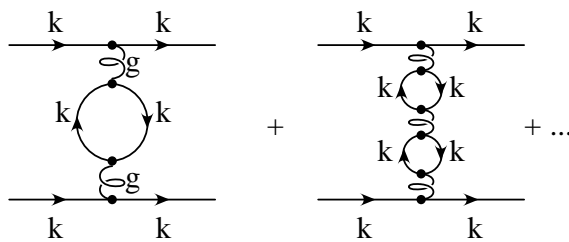
Kui võtta arvesse kõikide vaakumpolarisatsioonidiagrammide panused, saame  $\alpha$  funktsionaalse sõltuvuse energiast. Et protsessid on relativistlikud, kasutatakse Feynmani diagrammide arvutamisel relativistlikult kovariantseid suurusi ja sõltuvus antakse protsessil üle kantud neliimpulsi ruudu ( $q^2$ ) kaudu. Aga see ei muuda asja, sest üle kantud neliimpulsi ruut ja energia kasvavad või kahanevad ühes suunas.

Arvutused annavad tulemuseks

$$\alpha(q^2) = \frac{\alpha(\mu^2)}{1 - \frac{\alpha(\mu^2)}{3\pi} \ln \frac{q^2}{\mu^2}},$$

kus  $\mu^2$  on konstantne  $q^2$ -st väiksem üle kantud impulss. Näeme, et energia kasvades muutub võrrandi parema poole avaldise nimetaja ühest üha väiksemaks, mis tähendabki  $\alpha$  kasvamist.

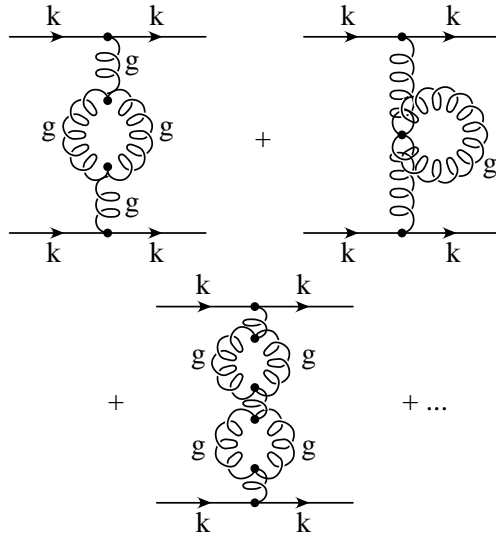
Mis on analoogset kvantkromodünaamikas? Siin määravad värvi-laengu efektiivse suuruse teda ümbritsevad kvargi-antikvargi ja gluuonite omamõjust tingitud gluuoni-gluuoni paarid. Esimestele vastavad kvantelektrodünaamika vaakumpolarisatsiooni diagrammidele sarnased diagrammid, ainult kvargi-antikvargi silmustega gluuoni joontel (joonis 10). Nende toime on sama mis elektroni-positroni silmus-



Joonis 10.

tega diagrammidel kvantelektrodünaamikas: nad suurendavad tugeva vastastikmõju konstanti energia kasvades. Gluonite omamõju tõttu lisanduvad neile gluuoni-gluuoni silmustega diagrammid (joonis 11). Arvutused näitavad, et viimaste mõju on vastupidine: nad vähendavad värvi-laengut energia kasvades (vahemaa vähenemisel). Kas värvi-laeng energia kasvades suureneb või väheneb, sõltub sellest, kumbal liiki diagrammide panused on suuremad. Osutub, et mõistlikel eeldustel prevaleerib gluuonisilmustega diagrammidest tulev efekt. Mõlemate diagrammilikide arvesse võtmisel annavad arvutused kvantkromodünaamikas üksjagu teistmoodi valemi kui kvantelektrodünaamika leitu:

$$\alpha_t(q^2) = \frac{\alpha_t(\mu^2)}{1 - \frac{\alpha_t(\mu^2)}{12\pi} \ln \frac{q^2}{\mu^2} (2n_k - 11n_v)}.$$



Joonis 11.

Otsustavat rolli mängib siin suurus  $2n_k - 11n_v$ , kus  $n_k$  on erinevate kvarkide koguarv ja  $n_v$  värvilaengute arv. See suurus on kõne all olnud  $\beta$ -funktsiooni põhitegur, mis erinevalt teisest, positiivsest tegurist, võib sõltuvalt  $n_k$  ja  $n_v$  väärtustest olla kas positiivne või negatiivne. Mõistlik eeldus seisneb selles, et kvarkide arv ei ole suurem kui 16. Sel eeldusel on tegur negatiivne. Praeguste teadmiste järgi on kvarke 6 ja värvilaenguid 3, mis annab kindlalt negatiivse  $\beta$ -funktsiooni

$$2n_k - 11n_v = -21.$$

Murru nimetaja on nüüd positiivne suurus, mis kasvab energia kasvades (kauguse vähenedes). Laengute mõju muutub kauguste vähenedes üha väiksemaks ja väiksematel kaugustel kui nukleonide mõõtmed on mõju nii väike, et kvargid nukleonide sees tunnevad ennast üsna vabadena. See ongi asümptootiline vabadus kvantkromodünaamikas. Arvutuslikust seisukohast lähtudes on siin oluline, et väikesel kaugustel muutub tugeva vastastikmõju konstant ühest palju kordi väiksemaks ja protsesse saab arvutada Feynmani diagrammidel



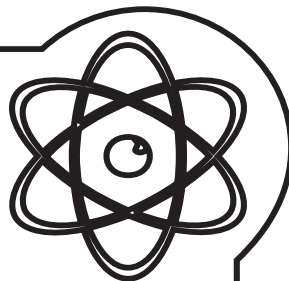
põhineva häiritusarvutuse teel nii nagu kvantelektrodünaamikaski. Asümptootilise vabaduse avastamise järel muutus kvantkromodünaamika sama tõsiselt võetavaks teooriaks kui kvantelektrodünaamika. Selles seisneb 2004. a Nobeli preemia laureaatide töö tähtsus.

Muidugi, suurematel kaugustel kvantkromodünaamika enam nii hea teooria ei ole. Kui vastastikmõju väikeste kauguste poole liikudes kahaneb, peab ta distantssi suurenemisega laengute vahel kasvama ning kusagil peab seosekonstant jõudma häiritusarvutusteks mittesobiva suuruseeni.

Laengu mõju kasv distantssi kasvamisega viib nähtuseni, mida nimetatakse kvarkvangistuseks. Vabad värvilised kvargid ei pääse nukleonidest ega teistest hadronitest välja. Neid looduses ei eksisteeri. Kui kvarke nukleonide sees väga kõrgete energiatega ergastada, liiguvad nad nukleoni ääre poole, sinna jõudes on välja potentsiaalne energia kvarkide vahel nii suur, et võivad tekkida kvargi-antikvargi paarid. Nende omavahel kombineerumise teel pääsevad nukleonist välja kvarkide ilma värvilaenguta kombinatsioonid – hadronid. Värv välja ei pääse.

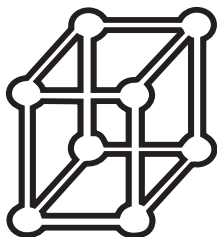
Tugev jõud on tõesti omapärane. Aga see tavatu, isegi kummaline jõud määrab aine ehituse maailmas ja koos sellega ka meie eksisteerimise võimaluse.





XXXV  
EESTI  
FÜÜSIKA-  
PÄEVAD

22. ja 23. veebruar, 2005  
Tartus



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

<b>Peeter Saari</b> (TÜ)	
Avasõna . . . . .	10.00
EFS preemiade kätteandmine, laureaadi ettekanne . . . . .	10.10
<b>Leif Jönsson</b> (Lundi Ülikool, Rootsi)	
Quantum Chromodynamics, asymptotic freedom and beyond . . . . .	10.45
<b>Andi Hektor, Mario Kadastik, Mait Müntel, Kristjan Kannike, Martti Raidal</b> (KBFI)	
Topeltlaetud Higgsi bosoni signaali otsingud CERN CMS eksperimendi juures . . . . .	11.20
<b>Enn Lust</b> (TÜ)	
Kütuselementide ja vesinikuenergeetika hetkeseis . . . . .	12.30
<b>Koit Muring</b> (TÜ FI)	
Entroopia ja entalpia konkurents proteiinides . . . . .	13.05
<b>Matti Selg</b> (TÜ FI)	
Kvantmehaanika pöördülesanne – mis see on ja kuidas seda lahendada . . . . .	13.35
<b>Kaupo Kukli</b> (TÜ) <i>et al</i>	
Struktuuri korrastamatus ja keelutsoonisestest elektronlõksude tihedus kõrge dielektrilise läbitavusega tahkiskihtides . . . . .	14.05
StendiettekanDED . . . . .	14.30
Eesti Füüsika Seltsi Üldkogude . . . . .	15.30
Seltsiõhtu . . . . .	18.30

Kolmapäev, 23. märts

<b>Ahti Niilisk<sup>a</sup>, Jaan Aarik<sup>a</sup>, Sergey N. Tkachev<sup>b</sup>, Murli H. Manghnani<sup>b</sup></b> ( <sup>a</sup> TÜ FI, <sup>b</sup> Hawaii Ülikool)	
Õhukeste oksiidikilede Ramani ja Brillouini hajumine . . . . .	09.00
<b>Toomas Rõõm, Urmas Nagel, Dan Hüvonen</b> (KBFI)	
Madalamõõduline magnetism uurituna infrapunase spektroskoopia meetoditega . . . . .	09.30

<b>Jaak Jõgi</b> (Lähte Ühisgümnaasium)	
Füüsikaõpetajad ja ühiskondlikud organisatsioonid . . . . .	09.55
<b>Enn Pärtel</b> (TÜ)	
Koolifüüsika areng lähiaastatel . . . . .	10.20
<b>Arvo Mere</b> (TTÜ)	
Füüsika riigieksam 2004 . . . . .	11.10
<b>Mart Kuurme<sup>a</sup>, Koit Timpmann<sup>b</sup>, Enn Pärtel<sup>b</sup>, Henn Voolaid<sup>b</sup></b> ( <sup>a</sup> Tallinna Reaalkool, <sup>b</sup> TÜ)	
Uued füüsika ja loodusõpetuse õppevahendid . . . . .	11.35
<b>Heija Pärtel, Kalev Tarkpea</b> (TÜ)	
Aine „Füüsikaline maailmapilt“ e-õppe keskkonnas WebCT	12.05
<b>Jaak Kikas</b> (TÜ)	
Retrorefleksiivne kuvamine . . . . .	12.25
<b>Ott Krikmann</b> (TÜ)	
Eesti õpilaste väärarusaamad kiirusest ja kiirendusest . . . . .	13.30
<b>Arved Vain, Jüri Vedru</b> (TÜ)	
Mehaanilise pinge transmissiooninähtusest skeletilihases . . . . .	14.00
<b>Thea Toomla<sup>a</sup>, Arved Vain<sup>a</sup>, Hubert Kahn<sup>b</sup></b> ( <sup>a</sup> TÜ, <sup>b</sup> Tervise Arengu Instituut)	
Müomeetria meetodi võimalustest hüpertoonia ennetamisel . . . . .	14.20
<b>Kalle Kepler<sup>a</sup>, Antti Servomaa<sup>b</sup>, Irina Filippova<sup>c</sup></b> ( <sup>a</sup> TÜ, <sup>b</sup> Oulu Ülikool, <sup>c</sup> Tervisekaitseinspektsioon)	
Patsiendidoosi optimeerimine röntgenuuringutel Eesti haiglates . . . . .	14.40
<b>Rein Rõõm, Arne Männik, Marko Kaasik, Andres Luhamaa</b> (TÜ)	
Atmosfääridünaamika ja numbrilise ilmaennustuse aktuaalseid probleeme Eestis . . . . .	15.00
<b>Andres Kuusk, Markko Paas</b> (TO)	
Poolsfäärripiltide radiomeetriline korrektsioon . . . . .	15.45
<b>Erko Jakobson, Hanno Ohvril, Marika Uustare</b> (TÜ)	
Atmosfääri veeaurusisalduse analüüs Tõraveres 2002–2004 . . . . .	16.00
<b>Jaak Talts</b> (TÜ)	
Uued perspektiivid diferentsiaalses servo-ostsillomeetrias . . . . .	16.20

**StendiettekanDED****Martin Vilbaste** (TÜ)

Õhuniiskuse tugietaloni realiseerimine TÜ Katsekojas

**Joel Kuusk<sup>1</sup>, Matti Pehk<sup>2</sup>** (<sup>1</sup>TÜ, <sup>2</sup>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<sub>2</sub><sup>\*</sup> 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. Stolovits<sup>1</sup>, Y. Usuki<sup>2</sup>, S. Zazubovich<sup>1</sup>, A. Krasnikov<sup>1</sup>, M. Nikl<sup>3</sup>** (<sup>1</sup>TÜ

FI; <sup>2</sup>Furukawa Co., Japan; <sup>3</sup>Institute of Physics, Czech Republic)

Luminescence of the PbWO<sub>4</sub>:5% Cd crystal

**Indrek Jõgi, Matti Laan, Kaupo Kukli, Jaan Aarik** (TÜ FI)

Lähteainete mõju aatomkiht-sadestatud TiO<sub>2</sub> kilede juhtivusele

**Veera Krasnenko, Koit Muring, Jaak Kikas** (TÜ FI)

Keskliste ja suurte molekulide võnkeülesannete lahendamine klooriini 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 Na<sub>5</sub>RbCu<sub>4</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub> 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 füüsikalisest olemusest

**Tiiu Lember**

Füüsika aine, tund ja õpetaja õpilase pilguga

**Oivo Manninen** (KBFI)

Multikvantfiltrite kasutamine keemilise nihke anisotroopia mõõtmiseks

**Ago Samoson, Radu Prekup, Allan Puusepp** (KBFI)

Selektiivne adiabaatiline topeltkvantfilter dünaamilise rotatsiooni tingimustes: rakendustega kvantarvutuses

**Kasutatud asutuste nimetuste lühendid**

EMHI	Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut
EPMÜ	Eesti Põllumajandusülikool
FMI	Soome Meteoroloogia Instituut
KBFI	Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut
TO	Tartu Observatoorium
TTK	Tallinna Tehnikakõrgkool
TPÜ	Tallinna Pedagoogikaülikool
TTÜ	Tallinna Tehnikaülikool
TTÜ MSI	TTÜ Meresüsteemide Instituut
TTÜ Kübi	TTÜ Küberneetika Instituut
TÜ	Tartu Ülikool
TÜ ARFS	TÜ füsioloogia instituut (arstiteaduskond)
TÜ FI	TÜ Füüsika Instituut
TÜ FK	TÜ füüsika-keemiateaduskond
TÜ FO	TÜ füüsikaosakond
TÜ FKEF	TÜ eksperimentaalfüüsika ja tehnoloogia instituut
TÜ FKKF	TÜ keskkonnafüüsika instituut
TÜ FKMF	TÜ materjaliteaduse instituut
TÜ FKTF	TÜ teoreetilise füüsika instituut

# PATSIENDIDOOSI OPTIMEERIMINE RÖNTGENUURINGUTEL EESTI HAIGLATES

*Kalle Kepler<sup>1</sup>, Antti Servomaa<sup>2</sup>, Irina Filippova<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Tartu Ülikool, <sup>2</sup>Oulu Ülikool, <sup>3</sup>Tervisekaitseinspeksioon

## 1 Sissejuhatus

Igal aastal teostatakse Eesti kõigis tervishoiuasutustes kokku ligi miljon röntgenuuringut, mis teeb saja inimese kohta keskmiselt 70 uuringut [1]. Uuringute üldarv on aastate lõikes püsinud suhteliselt ühtlasel tasemel. Samal ajal on kompuutertomograafia-uuringute arv, mille puhul patsiendi saadav efektiivdoos võib tavauuringu doosi ületada sadu kordi, üsna jõudsasti kasvamas.

Kogu maailmas moodustavad meditsiini kiirituse doosid, arvestatuna keskmiselt ühe elaniku kohta, muude tehiskiirituste kõrval suurima osa (95%). Diagnostilises ja interventsionaalses radioloogias patsiendi poolt saadavate kiirgusdooside hindamine ja optimeerimine on olulised kiirgusohutusmeetmed, mis on kujunenud tänapäevase kvaliteedisüsteemi lahutamatuks osaks igas radioloogiaosakonnas. Röntgenuuringud annavad kõigi radioloogiliste uuringute kollektiivdoosist hinnanguliselt üle 90%. Rahvusvaheline teaduslik komitee UNSCEAR (*The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*) on kogunud ja avaldanud põhjalikke andmeid ioniseeriva kiirguse allikate ja nendega seotud kiirgusriskide kohta erinevates maades. Viimati ilmunud aruanne aastast 2000 sisaldab muuhulgas ülevaadet üldistest suundumustest meditsiini kiirituse kasutamisel ja patsiendidoosi optimeerimisel [2]. Kahjuks on neis aruannetes Eesti andmed võrreldes muude riikidega seni olnud suhteliselt lünklikud ja puudulikud, mis peaks näitama veelkord siinset vajadust patsiendidosimeetria arendamise järele.

Eestis puudub senini süstemaatiline patsiendidosimeetria. Patsiendi kiirgusohutuse üldised nõuded on sätestatud EL direktiivis



97/43/Euratom [3] ja rakendatud enamikus Euroopa riikides (ning küllalt sarnasel kujul ka mujal maailmas). Käesolev ülevaade käsitleb esimesi samme kõnealuses valdkonnas Eestis. 1993. aastal korraldati Tartus ja Lõuna-Eestis esimesed röntgenseadmete kvaliteedikontrolli ja patsiendidooside mõõtmised Soome-Eesti ühisprojekti raames [4, 5]. Patsiendidooside osutusid neis mõõtmistes kohati kuni viis korda suuremaks kui vastavad Euroopa keskmised. Selle peamiseks põhjuseks võis pidada tolaeagsete film-ekraanide madalat kiirgustundlikkust. Nüüdseks on Eestis uuritud ka lasteradioloogias [6, 7, 8] ja mammograafias [9] rakendatavaid röntgendoose ning sellega seotud bioloogilist riski.

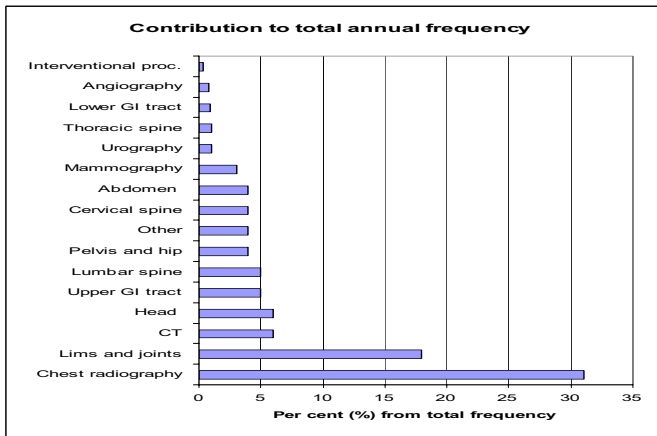
Ioniseeriva kiirguse bioloogilise toime, efektiivdoosi ja riski hindamise kohta on avaldanud põhjalikke teaduslikke ülevaateid ja juhendeid (nt [10]) Rahvusvaheline Kiirguskaitsekomisjon ICRP (*International Commission on Radiological Protection*). Kiirgusriski on üsna põgusalt käsitletud ka EFS aastaraamatus [5, 11]. Kiirguskaitse nõuete aluseks on üldtunnustatud printsiip, mille kohaselt võivad elusrakku kahjustada kuitahes väikesed neeldumiskoosid.

Võrreldes omavahel tüüpilisemaid röntgenuuringsid kogu maailmas, on nende sagedus ning saadava patsiendidoosi panus kollektiivdoosi üsna suurtes piirides varieeruv (vt joonised 1 ja 2), kusjuures selgelt eristub kõige suurema sagedusega konventsionaalne rindkeureuring ning kõige suurema kollektiivdoosi panusega kompuutertomograafia uuringud.

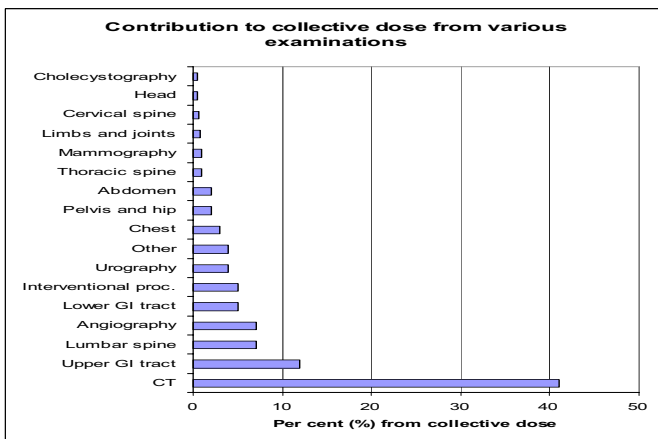
Euroopa Nõukogu on välja andnud kvaliteedikriteeriumid täiskasvanute [12] ja laste [13] röntgenülesvõtete ning kompuutertomograafia [14] ja mammograafia [15] kohta. Neis juhendites on soovitatud pildi kvaliteedi ja kiirgusdoosi optimeerimisel kasutada nn referentsdooside (või võrdlusdooside) väärtusi. Euroopa haiglates läbi viidud uurimused on näidanud, et haiglate vahel võivad sama tüüpi uuringute korral keskmised patsiendidoosid erineda ligi kaks suurusjärku, mis viitab ilmsele vajadusele ühtse kvantitatiivse võrdlusmeetodi järele.

## 2 Diagnostilised referentsdoosid

Erinevalt elaniku- ja kutsekiirritusest, mille puhul rakendatakse kokkuleppelisi piirdoose [16] (nt elanikukiirrituse jaoks 1 mSv aastas), ei kasutata meditsiinikiirrituse puhul piirdoose. Selle asemel on soovitatud kasutada tüüpiliste uuringute jaoks nn referentsdoose [12–15,17].



Joonis 1: Erinevate uuringute panus röntgenuuringute üldarvus arenenud riikides [2].



Joonis 2: Erinevate röntgenuuringute panus kollektiivdoosi arenenud riikides [2].

Referentsdoos – see on kokkuleppeline võrdlusdoos, mille arvväärtsuks võetakse üldjuhul mingi regiooni või riigi radioloogiaosakondade keskmiste patsiendidooside jaotuse kolmas kvartiil. Hea tava kohaselt tuleks referentsdoosist suurema keskmise doosi korral võtta meetmeid radioloogiaprotseduuride ja tehnika optimeerimiseks viisil, mis tagaks patsiendidoosi vähenemise.

Patsiendi kiirgusdoosi hindamiseks tavaradiograafias on kasutatavad põhiliselt kolm meetodit.

Esiteks, tavaröntgenuuringutel võib sisenddoosi (ESD) mõõta otse patsiendi nahal või standardfantoomi (mis on ekvivalentne standardpatsiendiga) pinnal termoluminestsentsdosimeetriga. Teiseks, tavaröntgenülesvõtete puhul võib doos-pindala (DAP) mõõtmiseks kasutada DAP-meetrit, mis paigaldatakse röntgenkiirguri külge (kollimaatori sisse või ette). DAP väärtuse põhjal saab arvutada ESD, võttes arvesse kiirgusgeomeetria andmeid ja kiiritusparameetreid. Kolmandaks, nahadoosi võib hinnata ka kaudsel meetodil, otseselt iga kord doosi mõõtmata, kui on teada röntgentoru kiirgussaagis kasutatud pingetel ja arvutuste tegemiseks on kogutud vajalikud kiirgusgeomeetrilised ja ülesvõtteparameetrid. Kõik loetletud meetodid on võrdväärsed, andes võrreldavaid tulemusi, eeldades et dosimeetrid on õigesti kalibreeritud ja ESD väärtuses sisaldub ka kiirguse tagasihajumise osa. Mõõtmine või arvutus tehakse soovitatavalt vähemalt kümne patsiendi rutiinsel uuringul ja leitakse nende jaoks keskmine väärtus. Üldjuhul (v.a mammograafia) on soovitatav võtta statistilisse valimisse patsiendid, kelle kaal on vahemikus 60–80 kg, kusjuures patsientide rühma keskmine kaal peaks jääma piiridesse  $70 \pm 3$  kg [12].

Mammograafiauuringute puhul on patsiendidoosi hindamisel soovitatud kasutada PMMA (polümetüülmetakrülaat, orgaaniline klaas) standardfantoomi paksusega 4,5 cm [15].

Kompuutertomograafias (CT) on hea tava hindamiseks ja edendamiseks kasutusele võetud kaks referentsdoosi suurust: 1) kaalutud CTDI ( $CTDI_W$ ) ühe täispöörde kohta, 2) doos-pikkus (DLP), mis sõltub kiirtevihi kollimatsioonist ja täispöörete arvust kogu uurin-gus [14]. Neid kiirgussuurusid mõõdetakse pea või keha dosimeetrilisi standardfantoome kasutades, kusjuures rakendatakse valitud uu-ringute jaoks ette nähtud kiiritustingimusi.  $CTDI_W$  väärtust mõjutavad sellised valitavad kiiritusparameetrid nagu toru vool ja pinge. Kogu uuringu DLP väärtust mõjutab lisaks veel kiiritusruumala, mis on

aksiaalskaneerimisel määratud kihtide arvuga ja spiraalskaneerimisel kogumisajaga, ja skaneeringute arv kogu uuringus. DLP väärtuse võib võtta aluseks ka efektiivdoosi ligikaudsel hindamisel, kasutades neis arvutustes kehapiirkonna-spetsiifilisi koefitsiente.

Tabelites 1 kuni 3 on toodud Euroopa referentsdooside väärtused [12–15, 17], mis on tuletatud Euroopa haiglates kümne aasta jooksul läbi viidud patsiendidoosiuuringu andmetest (seisuga 1996). Referentsväärtuseks on (ligikaudselt) võetud vastava statistilise jaotuse kolmas kvartiil, nii nagu on soovitatud Euroopa kvaliteedikriteeriumide juhendis [12]. Sellise valiku juures on silmas peetud, et kui 75% röntgenosakondadest suudab piisavalt hästi töötada nimetatud doosist madalamal, siis ülejäänud 25%-le peaks see olema vihjeks, et nende tava jääb optimaalsest tasemest märksa allapoole, seega peaks olema varustust ja töövõtteid täiustades võimalik doose vähendada. Samal ajal tuleb kindlasti silmas pidada nõudeid pildi kvaliteedile [12], et doosi vähendamine ei kahjustaks liigselt pildi kvaliteeti ja sellega ka uuringu diagnostilist efektiivsust.

Euroopa juhendites on radioloogiaosakondadele (s.o peamiselt meditsiinipersonalile) antud ette soovituslikud referentsdooside väärtused, ent patsiendidooside mõõtmisel ja arvutamisel tuleb kasutada enamasti ikka haigla meditsiinifüüsiku (nn meditsiinifüüsika eksperdi [3]) abi, kes omab piisavat ettevalmistust kiirgusfüüsikas, radiobioloogias ja kiirguskaitstes, ning oskab kasutada vastavaid mõõtemeetodeid ja aparatuuri, sealhulgas hinnata mõõtemääramatust. Paraku napib Eesti haiglates veel sellise kvalifikatsiooniga spetsialiste.

Tabelites toodud kiirgussuurused on otseselt mõõdetavad või suhteliselt lihtsalt mõõtmistulemustest arvutatavad. Paraku ei anna need väärtused aga otseselt hinnangut nende doosidega kaasnevale terviseriskile. Selleks et hinnata riski patsiendi tervisele, tuleb leida elundidoosid ja arvutada nende põhjal efektiivdoos. Elundidoose saab määrata vastavate tabelite [18] või Monte Carlo simulatsioonimeetodil põhineva arvutiprogrammi (nt PCXMC, [19]) abil.

### **3 Patsiendidooside uuring 2002–2003**

Aastatel 2002 kuni 2003 korraldati patsiendidooside uuring kahekümne neljas haiglas [20, 21], mis esimest korda hõlmas enamikku Eesti haiglatest, kuhu on paigaldatud diagnostilised röntgenseadmed (seisuga 2002 oli kokku 43 sellist haiglat). Enamikes haiglates oli see

Tabel 1: Euroopa referentsdoosid täiskasvanute röntgenuuringutel [12].

Röntgenuuring	Referentsdoos ESD (mGy)
Kolju AP/PA	5,0
Kolju LAT	3,0
Rindkere PA	0,3
Rindkere LAT	1,5
Lülisamba lumbaalosa AP	10
Lülisamba lumbaalosa LAT	30
Vaagen AP	10
Kuseteed AP	10
Mammograafia MLO (hajukiirtefiltriga)	10 (5 cm komprimeeritud rind)
Mammograafia CC (hajukiirtefiltriga)	10 (5 cm komprimeeritud rind)

Tabel 2: Euroopa referentsdoosid laste röntgenuuringutel [13].

Röntgenuuring	Referentsdoos ESD (mGy)
Kolju AP/PA	1,5
Kolju LAT	1,0
Rindkere AP/PA	0,1
Rindkere LAT	0,2
Abdoomen AP/PA	1,0
Vaagen AP	0,9

Tabel 3: Euroopa referentsdoosid kompuutertomograafiauuringutel [14].

Kompuutertomograafiauuring	Referentsdoos	
	CTDI <sub>w</sub> (mGy)	DLP (mGy·cm)
Pea	60	1050
Rindkere	30	650
Abdoomen	35	780

esmakordne katse hinnata patsiendidoose. Täiskasvanud patsientide kiirgusdoosid määrati kõige sagedasemates röntgenuuringutes (rindkere PA ja LAT, lülisamba lumbaalosa AP ja LAT, vaagnapiirkonna AP). Naha sisenddoosi ESD hinnati kaudsel meetodil, kasutades eelnevalt mõõdetud kiirgussaagist röntgentoru erinevatel pingetel. Uurimuse käigus koguti andmeid ja doose 1050 patsiendi kohta rutiinse röntgenuuringu käigus (kokku 26 röntgenseadmel). Ekspositsiooni parameetrid (röntgentoru pinge (kV), laeng (mAs), fookuse suurus, filtratsioon, film-ekraani tundlikkus, hajukiirtevõre), ülesvõttevõttegeomeetria parameetrid (projektsioon, fookus-film-kaugus, fookus-nahk-kaugus, kiirgusvälja mõõtmed) ja patsiendi parameetrid (vanus, sugu, kaal, pikkus) märgiti üles iga ülesvõtte jaoks eraldi.

Iga tüüpilise uuringu jaoks leiti programmi PCXMC [19] abil keskmise naha sisenddoosi ESD põhjal vastav efektiivdoos. Selle alusel on võimalik hinnata kiirgusriski ICRP 60 multiplikatiivse mudeli [10] põhjal.

ESD keskmisi väärusi võrreldi Euroopa diagnostiliste referentsdoosidega. Rindkere, lülisamba lumbaalosa ja vaagna röntgenuuringutes leitud keskmised sisenddoosid ei ületanud Euroopa diagnostilisi referentsdoose, kuid olid kõrgemad kui Ühendkuningriigis ja Põhjamaades.

Mõned arvulised tulemused:

- haiglate löikes varieerusid doosid 2 kuni 12 korda, mis on selektav radioloogiaaparatuuri ja kasutatavate materjalide erineva kvaliteediga, samuti personali erineva ettevalmistuse tasemega haiglates;
- keskmine sisenddoos (ESD) rindkere PA röntgenuuringutes oli 0,3 mGy ja rindkere LAT röntgenuuringutes – 0,9 mGy;
- keskmine ESD lülisamba lumbaalosa AP röntgenuuringutes oli 6,4 mGy ja lumbaalosa LAT röntgenuuringutes – 10,7 mGy;
- vaagnapiirkonna AP uuringutes oli keskmine ESD 3,9 mGy;
- efektiivdoos rindkere, lülisamba lumbaalosa ja vaagnapiirkonna röntgenuuringutes oli 52,1  $\mu$ Sv inimese kohta;
- rindkere, lülisamba lumbaalosa ja vaagnapiirkonna röntgenuuringutest tingituna on riskihinnangu põhjal prognoositav 3,7 fataalse vähi juhtu Eestis.

Tulemuste jaotust iseloomustavad suurused ja võrdlus Euroopa referentstasemetega on toodud tabelis 4.

Tabel 4: Ülesvõtete arv valimis, naha sisendoosi miinimum-, maksimum- ja keskvaartused ning Euroopa referentsdoosid  $ESD_{EL}$  [20].

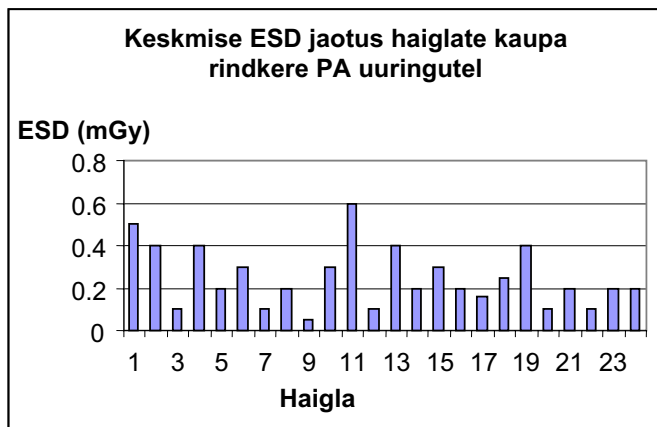
Uuring	Valim	$ESD_{min}$ (mGy)	$ESD_{max}$ (mGy)	$ESD_{keskm}$ (mGy)	$ESD_{EL}$ (mGy)
Rindkere PA	272	0,05	0,6	0,3	0,3
Rindkere LAT	241	0,2	2,3	0,9	1,5
Lülisamba lumbaalosa AP	200	1,8	10,0	6,4	10
Lülisamba lumbaalosa LAT	229	3,7	21,8	10,7	30
Vaagen AP	108	1,8	10,0	3,9	10

Tabel 5: Röntgenuurungute arv 2002. aastal Eestis, keskmised naha- doosid ESD, efektiivdoosid ja kollektiivdoosid [20].

Uuring	Uuringute arv Eestis (2002)	Keskmine ESD (mGy)	Keskmine efektiivdoos (mSv)	Kollektiiv- doos (manSv)
Rindkere PA	226145	0,3	0,052	11,8
Rindkere LAT	29820	0,9	0,071	2,1
Lülisamba lumbaalosa Vaagen AP	50128	6,4	0,925	46,4
	13608	3,9	0,67	9,1
Kokku	319701	11,5	1,718	69,4

Arvestades röntgenuurungute üldarvu Eesti haiglates, leiti iga tüüpilise uuringu jaoks vastav kollektiivdoos, mis on toodud tabelis 5.

Joonisel 3 on toodud näitena keskmiste sisendooside ESD jaotus rindkere ülesvõtetel haiglate kaupa.



Joonis 3: Keskmiste sisenddooside ESD jaotus rindkere PA uuringutel haiglate kaupa [20].

Tabel 6: Erinevatel röntgenuurinutel mõõdetud doosid [20] ja soovitatavad referentsdoosid Eestis.

Uuring	Mõõdetud keskmine ESD (mGy)	Kolmas kvartiil (mGy)	Soovitatav referentsdoos (mGy)	Euroopa referentsdoos (mGy)
Rindkere PA	0,31	0,36	0,30	0,30
Rindkere LAT	0,85	1,1	1,0	1,5
Lüüsisamba lumbaalosa AP	6,0	6,9	7,0	10
Lüüsisamba lumbaalosa LAT	9,0	11,7	12,0	30
Vaagen AP	4,3	5,7	6,0	10

Haiglate keskmiste ESD väärtuste jaotuselt võib iga uuringutüübi jaoks leida kolmanda kvartiili, mille ümardatud väärtus võiks olla vastavaks soovituslikuks referentsdoosiks Eestis (vt tabel 6).



#### 4 Kokkuvõte

Olemasolevad patsiendidoosiandmed võimaldavad määrata esmased soovituslikud referentsdoosid kõige tüüpilisematele röntgenuringutele Eestis. Siiski peab arvestama, et kuigi andmed katavad üle poole Eesti haiglatest, tuleks koguda vastavad andmed kõigi röntgenseadmetega tervishoiuasutuste kohta. Patsiendidoosi mõõtmisi tuleks rahvusvahelise tava kohaselt korrata vähemalt iga kolme aasta tagant uuesti, leides korrigeeritud referentsdoosid kogu riigi jaoks [17]. Samuti tuleks alustada patsiendidooside hindamist interventsionaalses radioloogias ja kompuutertomograafias, mille panus kollektiivdoosi on märgatavalt suurem kui tavaröntgenograafias (vt joonised 1 ja 2).

#### Kirjandus

1. Eesti tervishoiustatistika 2000–2002 / EV Sotsiaalministeerium. Koostanud H. Thomson, M. Ruuge, M. Rätsep, L. Teemusk. Tallinn, 2003, 71 lk.
2. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with scientific annexes. Volume I: Sources. Annex D: Medical radiation exposures. New York, United Nations, 2000.
3. European Commission. Council Directive 97/43/Euratom of 30 June 1997 on health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposure, and repealing Directive 84/466/Euratom. *Official Journal of the European Communities*, L 180, 1997, 22–27.
4. A. Servomaa, S. Rannikko, T. Parviainen, P. Holmberg, E. Kuus, T. Müürsepp, and V. Järv. Radiation safety and quality assurance in x-ray diagnostics. Measurements in some radiological clinics in Tartu. In: 1895–1995 – The century of x-rays. *Tartu Ülikooli Toimetised*, Vihik 965, 1993, 50–75.
5. A. Servomaa, S. Rannikko, P. Holmberg. Performance and quality assurance measurements of diagnostic x-ray units. Eesti Füüsika Seltsi aastaraamat 1994, Tartu, 1995, 149–163.
6. K. Kepler. Patient dose and radiation risk in paediatric radiography – A comparative study. MSc thesis in applied physics (medical physics). University of Tartu, Faculty of Physics and Chemistry, Institute of Experimental Physics and Technology, Tartu, 2001.

7. K. Kepler, A. Servomaa, M. Lintrop. Patient dose and radiation risk in paediatric radiology in Estonia. European Congress of Radiology, 1–5 March 2002 Vienna. – *European Radiology*, February 2002, Supplement 1 to Volume 12, 480–481.
8. K. Kepler, M. Lintrop, A. Servomaa, I. Filippova, T. Parviainen, V. Eek. Radiation dose measurement of paediatric patients in Estonia. In: Radiation Protection in the 2000s – Theory and Practice, STUK-A195, June 2003, Finnish Radiation and Nuclear Safety Authority, Helsinki, 2003, 287–292.
9. A. Paats. Radiation doses and image quality in mammography in Estonia. Master Thesis. Tallinn Technical University, Biomedical Engineering Centre, Tallinn, 2001.
10. ICRP (International Commission on Radiological Protection). 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Oxford, Pergamon Press, 1991.
11. S. Rannikko. Risk management: ionising radiation as an example. Eesti Füüsika Seltsi aastaraamat 1994, Tartu, 1995, 88–94.
12. European Commission. European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images. EUR 16260 EN. Luxembourg, 1996.
13. European Commission. European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images in paediatrics. EUR 16261 EN, Luxembourg, 1996.
14. European Commission. European Guidelines on Quality Criteria for Computed Tomography, EUR 16262, Luxembourg, 1999.
15. European Commission. The European Protocol for the Quality Control of the Physical and Technical Aspects of Mammography Screening. Third edition, Luxembourg, 1999.
16. International Atomic Safety Agency. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. Safety Series No. 115. IAEA, Vienna, 1996.
17. European Commission. Guidance on diagnostic reference levels (DRLs) for medical exposures. Radiation Protection 109, 1999.
18. D. Hart, D. Jones, BF Wall. Estimation of effective dose in diagnostic radiology from entrance surface dose and dose-area product measurements. Chilton: National Radiological Protection Board. NRPB-R262, 1994.

19. A. Servomaa and MJ. Tapiovaara. Organ dose calculation in medical x-ray examinations by the program PCXMC. *Radiation Protection Dosimetry* 80, 1998, 213-219.
20. I. Filippova. Patient dose survey in x-ray radiography. Master Thesis. Tartu Ülikool, 2004.
21. I. Filippova. Doses to patients and staff in radiology and cardiology in Estonia. International workshop „Optimisation of dose and performance in interventional and digital imaging. DIMOND III EC funded research project“, Leuven, Belgium, 25th – 27th March 2004.

# KÜTUSEELEMENTIDE JA VESINIKUENERGEETIKA HETKESEIS

*Enn Lust*

Tartu Ülikooli füüsikalise keemia instituut

21. sajandi üheks väga oluliseks lahendamist vajavaks probleemiks on elektrienergia ja soojusenergia tootmise efektiivsuse tõstmine ning seeläbi ümbritseva keskkonna saastamise vähendamine. Seoses urbaniseerumise ja industrialiseerimise taseme tõusuga vajatakse üha rohkem nõndanimetatud „kvaliteetset“ elektrit, sest arengutaseme antud etapil on meie ühiskond väga haavatav, kui esinevad tõrked elektrienergia varustamisel. Eesti ühiskond seisab lähiajal väga olulise põhimõttelise valiku ees, kas jätkata senise ebaefektiivse energia-tootmise mudeli alusel või detsentraliseerida elektrienergiasaadust, ehitades välja kogu Eestit hõlmava elektrienergia ja soojuse koostootmise jaamade võrgustiku, mis baseeruks looduslikul gaasil, kivisöel või kohalikel energeetilistel ressurssidel (puiduhake, turvas, biogaas jne). Samuti on Eestis võimalik väga oluliselt laiendada tuuleenergia muutmist elektriks tuuleparkides. Kuna tuuleenergiat on võimalik kasutada ainult mõõdukates tuuleoludes, siis on vaja välja arendada ja juurutada kõrgefektiivsed elektrienergiasalvestid (superkondensaatorid, primaar- ja sekundaarpatareid või akumulaatorid) või keemiliseks energiaks muundamise süsteemid (elektrolüüserid), mille abil on võimalik toota kas vesinikku ja hapnikku või muid elektrokeemiliselt aktiivseid aineid (füüsikalised intermetallhüdriidid). Elektrienergia keemiliseks energiaks muundamise süsteemidena võib kasutada kaasaegseid nn kõrgrõhuelektrolüüsereid, mille maksimaalne kasutegur on viidud ~68%-ni. Üldjuhul saadakse puhas vesinik (rõhk 40 atm) ja hapnik (20 atm), mis säilitatakse reservuaarides kas samal või kõrgemal rõhul. Elektrolüüsi tulemusena saadud vesinikku ja hapnikku on võimalik edaspidi kasutada kütuseelementides, mis muudavad

Tabel 1: Erinevate kütuselementide karakteristikud [1].

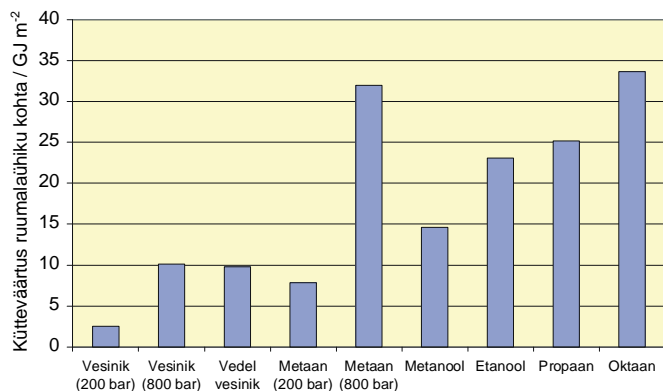
	Polümeer- elektro- lüüt-KE*	Fosfor- happe- KE*	Sulatatud- karbonaat-KE*	Tahke-oksiid- KE*
Elektrolüüt	nafioon	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> -Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub> -Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Töötamp. (°C)	70–80	200	650–700	911–1000
Kütus	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> CH <sub>3</sub> OH, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> bensiin
Kasutegur (%)	30–40	35–42	45–60	65–85
Võimsus (kW)	12,5	100	1000	10-2500

\*KE – kütuselement

elektrokeemiliste redutseerumis- ja oksüdeerumisprotsesside tulemusena hapniku ja vesiniku veeks, elektrienergiaks ning soojuseks.

Kaasajal laialdaselt kasutatavad kütuselemendid on üldjuhul jagatud töötemperatuuri alusel kolmeks põhitüübiks: madaltemperatuur-  
sed (kuni 90°C), keskmistemperatuur-  
sed (100 kuni 500°C) ning kõrg-  
temperatuur-  
sed kütuselemendid. Eksperimentaal-teoreetiliste analüüside tulemusena on jõutud järeldusele, et mida kõrgem on kütuse-  
elemendi töötemperatuur, seda suurem on antud süsteemis kütuse  
oksüdeerumise efektiivsus (s.o summaarne kasutegur). Kui kasutada  
ära ka elektrokatalüütilisel eksotermilisel reaktsioonil eralduv soojus,  
siis võib saavutada summaarse kasuteguri 80–85%. Siinkohal olgu öel-  
dud, et Carnot' soojusmasina, s.o tavalise sisepõlemismootori kasute-  
gur ei ületa 30%. Kui kütuselemendis kasutatakse vesinikku ja hapnik-  
ku, siis jääb ära ümbritseva keskkonna saastumine SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> ja CO<sub>x</sub>-  
ga, sest kütuselemendis tekib ainult vesi. Kütuselemente võib klassi-  
fitseerida ka nende tööprintsipi või reaktsioonimehhanismi alusel  
ning enamkasutatavad kütuselemendid on toodud tabelis 1.

Teisteks väga olulisteks vesinikuenergeetikaga seotud probleemideks on molekulaarse vesiniku tootmise, salvestamise ja transpordiga



Joonis 1: Kütuste kütteväärtused [2].

Tabel 2: Metaani ja vesiniku tihedus ning kütteväärtus [2].

	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
Tihedus* / kg m <sup>-3</sup>	0,0887	0,707
Kütteväärtus massiühiku kohta / MJ kg <sup>-1</sup>	142,0	55,6
Kütteväärtus ruumalajuhtiku kohta* / MJ m <sup>-3</sup>	12,7	40,0

\* normaaltingimustel

seotud raskused, nagu väga väike energiatihedus normaalarõhul ja ümbritseva keskkonna temperatuuril (tabel 2, joonis 1), vesiniku kokkusurumiseks ja veeldamiseks vajalik suur energiahulk. Energeetiliselt kasulikum oleks kasutada vesiniku kandjana alkaane ja teisi orgaanilisi (alkoholid, ketoonid, estrid, karboksüülhapped) ja anorgaanilisi (NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O, NaH, CaH<sub>2</sub>, LiBH<sub>4</sub>, NaBH<sub>4</sub>) aineid ja nn füüsikalisi metallhüdriide (LaNi<sub>5</sub>H<sub>6</sub>, LaNi<sub>3,5</sub>Al<sub>1,5</sub>H<sub>5</sub>, LaNi<sub>4</sub>AlH<sub>5</sub>, PdH<sub>0,6</sub>, MnNi<sub>5</sub>H<sub>6</sub> jt).

### Viited

1. O. Yamamoto, Electrochimica Acta 45 (2000) 2423.
2. U. Bossel et al., The Future of the hydrogen economy: bright or bleak?, 2003 Fuel Cell Sem, [www.efcf.com/reports](http://www.efcf.com/reports).

# ETTEKANNETE SISUKOKKUVÕTTED

## **SAMBLIKE KASUTAMINE BIOINDIKAATORITENA KESKKONNADOSIMEETRIAS Lauri Aarik, Madis Kiisk (TÜ FI)**

Gammasepektromeetriline analüüsimeetod on laialt kasutatav keskkonnadosimeetrias. Kõrglahutusega Ge-detektorid omavad kõrget gammajoonte energialahutust, mis võimaldab head radionukliidide identifitseerimist.

Pinnases, atmosfääris ja biosfääris esinevate looduslike ning tehislake radionukliidide poolt põhjustatud doosikiiruste leidmiseks on vajalik vastavate keskkonnaproovide kogumine ja selle analüüs. Proovide kogumine nõuab aga vastavat aparatuuri (nt õhuproovide kogumine) või on töömahukas ja aeganõudev (nt pinnaseproovide korjamine). Sellisel juhul võib osutada piisavalt heaks alternatiiviks sambliku proovides radionukliidide ja vastavate kontsentratsioonide määramine, eeldusel, et on leitud vajalikud siirdekoefitsendid.

Antud uurimuses määrati gammasepektromeetrilisel meetodil radionukliidide ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  ja  $^7\text{Be}$ ) eriaktiivsused samblikes (Harilik hallsamblik – *Hypogymnia physodes*) ning mullas, viimase puhul tehti seda sügavusjaotuse järgi. Saadud tulemusi võrreldi Tõraveres aastatel 2001–2005 mõõdetud õhufiltrite keskmiste väärtustega ja arutati siirdefaktorid: õhk-samblik ja muld-samblik.

## **CCD SENSORITE JUHTIMINE, ERINEVAD VÕIMALUSED Taavi Hein (Borthwick Pignon Solutions)**

CCD pildisensorid on tehnoloogilisest küljest juba üsna vanad, kuid mitte vananenud, ning tänu nende heale tundlikkusele kasutatakse neid ikka veel paljudes kohtades, kus muud sensorid hätta jääksid. Tuntumad näited on digitaalsed turvakaamerad, mis on ette nähtud töötama väheses valguses, astronoomias kasutatavad digitaalkaamerad, mis peavad väga nõrka valgust püüdma. Sensorite areng ei ole paigal seisnud ning isegi mõne aasta taha vaadates on veidi muutunud. On lihtsustatud tootmise tehnoloogiaid, on parandatud

tundlikkust ja vähendatud soojusmüra ning on muudetud ja lihtsustatud sensorite liidestamist muu elektroonikaga.

Sensorist andmete väljalugemiseks kasutatakse mitut faasis nihutatud kellasignaali. Vertikaalsete kelladega nihutatakse salvestatud pilti ridahaaval allapoole nii, et kõige alumine rida kantakse horisontaal-nihkeregistrisse. Sealt loetakse horisontaalsete kellasignaali abil pikselite väärtused ükshaaval välja. Osades sensorites on kasutusel optiliselt kaetud mäluala, kuhu pildiinfo koheselt pärast säritust üle kantakse, sealt andmete väljalugemine toimub reeglina samuti nagu tavalisest sensorist. Mõned tootjad on oma sensorite juhtimist lihtsustanud, eelkõige vähendades kasutatavate kellasignaali arvu.

Ühine komponent kõigis liidestuslahendustes on analoog-digitaalmuundi, ülejäänu osas on üsna vabad käed. Suur osa tootjaist valmistab ka juhtloogikat ja kellageneraatoreid oma sensoritele, see tähendab vähemalt kahe-kolme kiibi lisamist skeemi, suurendades kasutatavat trükkplaadipinda. Osad tootjad valmistavad komplekskiipe, mis asendavad kellageneraatorid ja vahel ka analoog-digitaalmuundi ühe kiibiga, vähendades kasutatavat trükkplaadipinda oluliselt. Veel üks võimalus on juhtloogika asendamine FPGA-ga, mis eelkõige lisab süsteemile paindlikkust.

**BROWNI LIIKUMISE ISEÄRASUSED KAHE MAKSIMUMIGA  
PERIOODI KOHTA KALLUTATUD POTENTSIAALIDEL  
E. Heinsalu, T. Örd, R. Tammelo (TÜ FKTF)**

Käesolevas töös on uuritud Browni osakeste transpordi iseärasusi tükati lineaarsetel perioodilistel potentsiaalidel, kus on kaks üldjuhul erineva kõrguse ja kujuga maksimumi perioodi kohta. Olenevalt vastavate potentsiaalbarjääride suhtelisest käitumisest välises jõuväljas ilmnevad siin mitmed uued efektid, mis puuduvad lihtsa hamaslatt-potentsiaali juhul. On näidatud, et niisugused potentsiaalid võimaldavad difusioonikoeffitsiendi  $D$  kui kallutava jõu  $F$  funktsiooni maksimaalset väärtust nii suurendada kui ka vähendada võrreldes perioodi kohta ühe maksimumiga potentsiaalidega sõltuvalt süsteemi parameetritest. Küllaltki ootamatu tulemusena leiti, et teatud väga kitsas parameetrite piirkonnas on difusioonikoeffitsiendil  $D(F)$  kaks maksimumi, sellise fenomeni füüsikaline interpretatsioon pole veel lõplikult selge. On näidatud, et vaadeldud tüüpi potentsiaalidel



toimub difusiooni kõige olulisem võimendumine kallutuse toimet kahel Poissoni protsessi kaudu, kusjuures välise jõu vahemikus, kus leiab aset üleminek ühelt Poissoni protsessilt teisele, läbib ülekanne koherentsustase terava (resonantse) maksimumi, mis on tingitud difusiooni mahasurumisest selles piirkonnas. Péclet' arvul kui temperatuuri funktsioonil võib vastavatel kallutava jõu väärtustel olla kaks maksimumi.

Töö tulemused on publitseeritud artiklis: E. Heinsalu, T. Örd, R. Tammelo, Phys. Rev. E, v. 70, 041104 (2004).

**TOPELTLAETUD HIGGSI BOSONI SIGNAALI OTSINGUD CERN-i  
CMS EKSPERIMENDI JUURES**

**Andi Hektor, Mario Kadastik, Mait Müntel, Kristjan Kannike,  
Marti Raidal (KBFI)**

Käesoleval ajal kirjeldatakse osakeste- ja kõrge energia füüsika maailma Standardmudeli (SM) abil. SM omab head koosõla eksperimendiga ja pole teada ühtegi eksperimenti, mis seda otseselt kõigutaks. Siiski, kõik SM järeldused pole leidnud eksperimentaalset kinnitust. Üks oluline ennustus on, et kõik SM osakesed on massitud ja osakeste massid n.ö genereeritakse vastasmõjus Higgsi skalaarväljaga. Hetkel on kõik suured kõrge energia füüsika eksperimendid koondanud oma põhitähelepanu Higgsi väljale vastava bosoni otsimisele. Ka meie töörühm on koondanud oma tähelepanu Higgsi mudelitele töötades CMS eksperimendi juures CERN-is.

Laiendades Higgsi mehhanismi on võimalik oletada, et lisaks neutraalsele Higgsi bosonile leidub mitmesuguseid laetud (ja topeltlaetud) Higgsi bosoneid. Käesolevas töös oleme vaatluse alla võtnud topeltlaetud Higgsi otsimise CMS detektori mudelandmetest: topeltlaetud Higgsi signaal detektoris on suhteliselt lihtne ja oletatavalt puhas, topeltlaetud Higgs pakub huvi SM laiendamise aspektist vaadates jne. Tänu puhtale signaalile on võimalik topeltlaetud Higgsi otsida juba pärisdetektori käivitamise väga varases staadiumis, kui kõik detektori komponendid ei tööta jne.

Ettekandes anname ülevaate tulemustest ja lisaks mainime, kuidas saab ületada paljud tekkivad praktilised probleemid: ülisuur arvutusmaht, hajusalt erinevates andmehoidlates paiknevad mudelandmed jne.

**ATMOSFÄÄRI VEEAURUSISALDUSE ANALÜÜS TÕRAVERES  
2002–2004****Erko Jakobson<sup>a</sup>, Hanno Ohvri<sup>a</sup>, Marika Uustare<sup>b</sup>  
(<sup>a</sup>TÜ FKKE, <sup>b</sup>TÜ FK)**

Atmosfääri veeaurusisalduseks ehk sadestatavaks veeks  $W$  (*precipitable water*) nimetatakse ühikulise ristlõikega vertikaalses lõpmatus õhusambas olevat veeauru massi ( $\text{kg m}^{-2}$ ), mis arvuliselt on võrdne veeauru veeldatud kihi paksusega (mm). Atmosfääri veeaurusisaldus väljendatuna sadestatava veena  $W$  on oluline sisendväärtus atmosfääri olekuid ning muutumisi kirjeldavates mudelites, samuti päikesekiirguse nõrgenemise ja kaugseire arvutustes. Veeaur on atmosfääri kõige muutlikum komponent – külmal talvapäeval on Eestis sadestatavat vett ca 1 mm, soojal ja niiskel suveajal aga ca 40 mm. Ka lühikese ajavahemiku jooksul võib  $W$  väärtus palju muutuda – 23.09.03 kasvas  $W$  väärtus Tõraveres 8,5 tunni jooksul 2,6 kordselt – kell 05.45 UTC mõõdeti  $W = 10,5$  mm, kell 14.15 UTC  $W = 27,5$  mm.

Tõraveres töötab alates 2002. aasta 3. juunist AERONET (*AERosol RObotic NETwork*, NASA, USA) täisautomaatne fotomeeter. Tema spektraalsetest (940 nm) mõõtmistest arvutatakse ka sadestatav vesi  $W$ . Varasemalt on Eestis sadestatavat vett saanud arvutada Tallinnas Harkus 1–2 korda ööpäevas teostatud raadiosondeeringute vertikaalsetest niiskusprofiilidest.

Käesolevas töös kasutatakse AERONET tasemel 2.0 esitatud andmeid, kuna need on kõige põhjalikumalt kontrollitud. Taustainfona kasutatakse EMHI poolt Tõraveres iga kolme tunni tagant mõõdetud ilmaparameetrite (kastepunkt, temperatuur, õhurõhk) väärtuseid ning Tallinna raadiosondeeringute infot.

Antud töös on analüüsitud sadestatava vee  $W$  sesoonset ja ööpäevast käiku arvestades maapealset veeauru rõhku. On toodud  $W$  kuukeskmised, minimaalsed ja maksimaalsed väärtused kõigi kolme uuritava aasta jaoks, analüüsitud sesoonseid ja päevaseid käike, kasutades õhumasside retrotrajektoore, satelliidifotosid ja Tallinna raadiosondi vertikaalseid niiskusprofile.

**LÄHTEAINETE MÕJU AATOMKIHT-SADESTATUD TiO<sub>2</sub> KILEDE  
JUHTIVUSELE****Indrek Jõgi<sup>a</sup>, Matti Laan<sup>a</sup>, Kaupo Kukli<sup>a</sup>, Jaan Aarik<sup>b</sup>  
(<sup>a</sup>TÜ EFTI, <sup>b</sup>TÜ FI)**

Ettekandes esitatakse erinevate lähteainete mõju aatomkiht-sadestatud TiO<sub>2</sub> kilede juhtivusele. Kuni 24 nm paksused kiled kasvatati tolmutamismeetodil valmistatud Mo alusele 175°C temperatuuri juures. TiO<sub>2</sub> kihi kasvatamiseks kasutatud lähtematerjalid olid TiCl<sub>4</sub> ja H<sub>2</sub>O, Ti(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub> ja H<sub>2</sub>O ning Ti(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub> ja H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. TiO<sub>2</sub> kilede juhtivuse mõõtmiseks aurustati läbi kindla suurusega aukudega maski Al elektroodid. Erinevatest lähtematerjalidest ühesugustel tingimustel kasvatatud kilede voolutihedused erinesid sama pinge korral suurusjärgu võrra. Kilepakettide juhtivust mõjutas oluliselt rakendatud pinge polaarsus ning mõõtmistemperatuur. Kõigi kiledepakettide korral täheldati ka voolu pikaajalisi muutusi, mis sõltusid samuti pinge polaarsusest ja temperatuurist. Leiti, et kõige tõenäolisemaks juhtivusmehhanismiks on ruumlaengu poolt piiratud vool. Antud mehhanismi korral piirab voolu TiO<sub>2</sub> kile defektides lõksus olev ruumlaeng. Kuna mõõdetav vool on lõksude suhtes väga tundlik, võimaldab voolu-pinge kõverate uurimine määrata lõksude hulka ja jaotust keelutsoonis.

**QUANTUM CHROMODYNAMICS, ASYMPTOTIC FREEDOM  
AND BEYOND****Leif Jönsson (Lund University)**

The strong force in nature is responsible for binding the smallest constituents of matter, the quarks, into atomic nucleons. Together with the electromagnetic force it is responsible for building up the whole Universe. Thus, it is of great importance to formulate an exact description of the strong force to understand the world around us. Following the successful description of the electromagnetic force in a field theory, Quantum Electrodynamics (QED), attempts were made in the 50'ies to develop a similar theory to describe the strong force [1]. Field theories are based on the idea that the force is mediated by force carrying vector particles. In the case of the electromagnetic force the well-known photons are exchanged between the interacting particles and the probability for scattering between electrically charged

particles can be written as an expansion in powers of the fine structure constant,  $\alpha_{em}$ , which is a measure of the strength of the electromagnetic force. According to early quantum field theories for the strong force, the force should be mediated by massless particles, like the photon. The problem with this theory was that no such particles could be found experimentally. Further, in the same way as the massless photon makes the electromagnetic force act over long distances with the property that the force weakens inversely proportional to the square of the distance, one would expect a similar behaviour of the strong force. However, this turned out not to be the case. Instead the strong force only acts over very short distances, of the size of a nucleus, and its strength increases as the quarks are moving apart, as if they were connected via an invisible rubber band. At very short distances between the quarks, the strong force becomes very weak and the quarks essentially move around in the nucleon as free particles. This property of the strong force was a great puzzle for the scientists over many years and led the physics community to doubt that it would be possible to formulate a field theory for strong interactions. However, in 1973 the Nobel laureates of 2004, David Gross, Frank Wilczek [2] and David Politzer [3], managed to solve the problems of the theory such that it gave the expected properties of the strong force. The theory was given the name Quantum Chromodynamics (QCD) and the force-mediating particles were called gluons. The fact that the quarks are behaving as free particles within the nucleon at short distances was named 'asymptotic freedom'.

The properties of the strong force have been investigated experimentally at many accelerators over the years. This has been a more difficult task than testing the validity of the electromagnetic force since the quarks and the gluons do not exist as detectable particles due to the distinctive character of the strong force. The electron-proton collider HERA at the research laboratory DESY in Hamburg is especially suited to measure the 'running' of the strong coupling constant and to study the dynamics of the basic constituents of matter in order to obtain a deeper understanding of the strong force. Measurements at HERA have provided a new picture of the proton structure, which is much more complicated than could be expected initially.

1. C.N. Yang, R.L. Mills, Phys. Rev. 96 (1954) 191
2. D.J. Gross, F. Wilczek, Phys. Rev. Lett. 30 (1973) 1343
3. D. Politzer, Phys. Rev. Lett. 30 (1973) 1346

**PATSIENDIDOOSI OPTIMEERIMINE RÖNTGENUURINGUTEL  
EESTI HAIGLATES**

**Kalle Kepler<sup>a</sup>, Antti Servomaa<sup>b</sup>, Irina Filippova<sup>c</sup>**  
(<sup>a</sup>TÜ, <sup>b</sup>Oulu University, <sup>c</sup>Tervisekaitseinspeksioon)

Käsitletakse patsiendidoosi optimeerimise ja kiirgusohje üldisi põhimõtteid diagnostilises radioloogias. Antakse ülevaade rahvusvaheliselt tunnustatud tavast ja statistilisest meetodist diagnostiliste referentsdooside määramiseks. Valikuliselt kahekümne neljas Eesti tervishoiuasutuses mõõdetud patsiendidoosi põhjal on leitud esialgsed hinnangud rindkere, lülisamba lumbaalosa ja vaagnapiirkonna röntgenuuringute referentsdoosidele ja võrreldud neid Euroopa riikide referentsdoosidega.

**RETROREFLEKSIIVNE KUVAMINE  
Jaak Kikas (TÜ FO)**

Tegelik optiline kujutis saadakse objekti mingist punktist lähtunud valguskiirte koondumisel mingis teises ruumpunktis pärast optilise süsteemi läbimist. Taolise optilise süsteemina võib toimida kumerlääts või nõguspeegel. On lihtne näha, et sellise süsteemina toimib ka retrorefleksiivne pind, st pind, mis peegeldab talle langeva valguskiire langemissuunas tagasi (retropeegel). Tuntud ja praktikas (küll teistel eesmärkidel, sh helkuritena ja teemärgistuses) laialdaselt kasutatavates retrorefleksiivsetes materjalides saavutatakse tagasipeegeldus kas mikroläätsedena toimivate klaassfääride või prismaatiliste peegeldavate elementide (kuubi sisenurk) kasutamise. Asjaolu, et sel juhul kujutis formeerub objekti asukohas, st on praktiliselt jälgimatu, on ületatav 50% peegli kasutamisega [1, 2]. Saadaval kujutisel (nimetame teda retrokujutiseks) on mitmeid huvitavaid omadusi:

- retropeegli liigutamine ja deformatsioon ei mõjuta retrokujutist,
- retropeegli ja 50% peegli vahele asetatud hajutav keskkond ei mõjuta (teatud piirangute täitmisel) retrokujutist,

- ruumis moodustuv retrokujutis on vaadeldav *pseudoskoopilise-na*, st kumera pinna kujutis on vaadeldav justnagu „seestpoolt“, st nõgusana.

Muidugi tuleb märkida, et saavutatav ruumiline lahutus on määratud retroreflekterivate elementide kvaliteedi ja suurusega, viimane peab difraktsiooniefektide vältimiseks olema oluliselt suurem valguse lainepikkusest (töötab geomeetriline optika). Tänapäevaste retrorefleksiivsete (helkur-) materjalide kvaliteet lubab eelkirjeldatud ideid siiski ka reaalset demonstreerida (kui mitte just praktiliselt kasutada). Tutvustatakse vastavat katsestendi, kus kasutusel 3M Scotchlite<sup>TM</sup> retrorefleksiivne kile.

Põgusalt on juttu ka kirjeldatud meetodi seostest lainefrondi pööramisega (faasi konjugeerivate peeglitega), resonantse tagasihajumisega hajutavates keskkondades ja hajumisega kitsa suunakarakteristika pindadelt („kuiv pühapaiste“).

1. D. A. Palmer, Applied Optics, 24 (1985) 1413.
2. Materjalimaailm <http://www.physic.ut.ee/materjalimaailm/index.html>  
⇒ Helkurmaterjalid (viide vasakul menüüs) ⇒ D.52.4. Retroreflektiivne kuvamine.

**KESKMISTE JA SUURTE MOLEKULIDE VÕNKEÜLESANNETE  
LAHENDAMINE KLORIINI JA PROTEIINI NÄITEL  
Veera Krasnenko<sup>a</sup>, Koit Muring<sup>a</sup>, Jaak Kikas<sup>b</sup> (<sup>a</sup>TÜ FI, <sup>b</sup>TÜ)**

Molekulide võnkumiste arvutamiseks kasutatavad meetodid sõltuvad mitmest tegurist:

- 1) aatomite arv molekulis,
- 2) vajalik täpsus,
- 3) kasutatava arvuti võimsus,
- 4) finants- ja ajalise büdžeti suurus.

Kõige täpsemad tulemusi annavad *ab initio* molekulaarorbitaalide ning tihedusmaatriksi teooria (DFT) arvutused. Neid meetodeid saab kasutada vaid väikese ja keskmise suurusega molekulide puhul, kuna arvutuste maht kasvab kiiresti aatomite arvu suurenedes. Suurte molekulide korral saab rakendada jõuvälja meetodit, kus aatomeid vaadeldakse laetud punktmassidena ja jõudusid kirjeldatakse harmooniliste potentsiaalidega.

Keskmise suurusega molekuli näitena arvutasime programmi-pakettide TURBOMOLE ja GAUSSIAN abil kloriini molekuli (40-aatomilise porfüriini) võnkumised põhi- ja ergastatud seisundis. DFT ja CIS (*Configuration Interaction Singles*) meetoditel saadud tulemused näitavad, et kloriini madalaimad võnkesagedused vastavad molekuli makrotsükli mittetasapinnaliste deformatsioonidele. Huvipakkuvaks tulemuseks on osa võnkumiste pehmenemine elektron-ergastamisel. See võiks selgitada eksperimendist (J. Kikas ja kolleegid) leitud iseäralikku spektraalsälgu kuju.

Proteiinid koosnevad tuhandetest aatomitest, nende puhul on enim kasutatavad CHARMM ja AMBER jõuväljad. Viimast rakendasi-megi roheliselt fluorestseeruva proteiini (GFP) võnkumiste arvutamiseks. Õnnestus leida valgu peaahela süsiniku aatomite ruutkeskmised fluktuatsioonid, mis on suurimad loogakujulistel tagasipöörde struktuuridel. Samas on GFP kromofoor vesiniksidemetega ühendatud molekuli silindrikujulise karkassiga ja tänu nii saavutatud jäikusele omab kõrget fluorestsentsi kvantsaagist. Soojusmahtuvuse temperatuurisõltuvus langeb kokku kirjandusest teada oleva globuliini vastava kõve-raga.

**KAHEDIMENSIONAALSE MAGNETILISE ÜHENDI  
Na<sub>5</sub>RbCu<sub>4</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub> UURIMINE TMR SPEKTROSKOOPIAGA  
Annika Kriisa, Raivo Stern, Ivo Heinmaa (KBFI)**

Na<sub>5</sub>RbCu<sub>4</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub> kuulub uut tüüpi madala dimensiooniga magnetiliste omadustega materjalide perekonda, mida võib nimetada viimastel aastatel laialdast huvi tekitanud nanomagnetite lihtsustatud analoogiks. Tüüpilised nanomagnetid koosnevad ümbritsevast keskkonnast isoleeritud magnetilistest klastritest, mis on üksteisest eraldatud mittemagnetiliste üksuste poolt. Nanomagnetid pakuvad huvi esmalt sellega, et neid võib vaadelda kui mudelsüsteeme kvantmagnetismi uurimiseks. Teisalt võib osutada võimalikuks nende kasutamine nanomõõtmeliste arvutite mäluelementidena.

Käesolevas töös uuriti Na<sub>5</sub>RbCu<sub>4</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub> kristalli eksperimentaalselt, kasutades vastasmõjude uurimiseks tuuma magnetresonants-(TMR)spektroskoopiat. Sobilike tuumade olemasolu tõttu kristallis on võimalik uurida tema magnetilisi ja struktuurseid omadusi (Knighti nihe, kvadrupol-lõhenemine jne) laias

temperatuurivahemikus  $4,2 \text{ K} < T < 400 \text{ K}$ . Kuna kasutati erinevaid magnetvälju (8,45 T ja 14,1 T), siis sai eristada üksteisest kvadrupol- ja magnetnähtusi.

Mõõtmisel saadud tulemused näitasid, et kristallil toimub faasiüleminek temperatuurivahemikus  $50 \text{ K} < T < 80 \text{ K}$  ning temperatuuril umbes 14 K toimub spinnide korrastumine ja aine muutub antiferromagneetikuks. Juhul, kui eksperimenditehnika lubab, tuleks kindlasti uurida ka vasetuumade ( $^{63}\text{Cu}$  ja  $^{65}\text{Cu}$ ) TMR omadusi, et saada informatsiooni tetrameerisestest interaktsioonidest ja korrastatud oleku iseloomust.

**STRUKTUURI KORRASTAMATUS JA KEELUTSOONISISESTE  
ELEKTRONLÕKSUDE TIHEDUS KÕRGE DIELEKTRILISE  
LÄBITAVUSEGA TAHKISKIHTIDES**

**Kaupo Kukli<sup>a</sup>, Salvador Dueñas<sup>b</sup>, Helena Castán<sup>b</sup>, Hector García<sup>b</sup>,  
Juan Barbolla<sup>b</sup>, Jaan Aarik<sup>c</sup>, Aleks Aidla<sup>c</sup>, Mikko Ritala<sup>d</sup>, Markku  
Leskelä<sup>d</sup> (<sup>a</sup>TÜ FKEE, <sup>b</sup>Departamento de Electricidad y Electrónica,  
E.T.S.I. Telecomunicación, Universidad de Valladolid, <sup>c</sup>TÜ FI,  
<sup>d</sup>Helsingin Yliopisto, Kemian laitos)**

Mikroelektronikas ja kiibitehnoloogias on tänase päevani funktsionaalse dielektrikuna ülivõimsalt domineerinud ränioksiid või nitrideeritud ränioksiid. Olles keemiliselt stabiilne ja tehnoloogiliselt hästi reprodutseeritav, kuigi amorfne, moodustab  $\text{SiO}_2$  näiteks väljatransistori monokristallilise ränikanaliga kvaliteetse piirpinna, kindlustades laengukandjate piisava liikuvuse pooljuhis ning samas suhteliselt väikese lekivoolu paisuelektroodi ja kanali vahel. Peamiselt seoses üleminekuga 90 nm rajalaiusega tehnoloogialt 65 ja 45 nanomeetrilisele on tekkinud vajadus suurema läbitavusega dielektrikel põhinevate mahtuvus-struktuuride järele, et säilitada viimaste laengumahtuvus elektroodi pindala kahanemisel. Paraku isegi perspektiivseimad alternatiivsetest dielektrikmaterjalidest, nagu  $\text{HfO}_2$  [1,2,3,4],  $\text{HfSiO}_x$ ,  $\text{HfSiO}_x\text{N}$ ,  $\text{HfAlO}_x$  [1],  $\text{ZrO}_2$  [1] ei moodusta defektivaba siiret räni- või germaaniumalusega. Sellise dielektriku ja pooljuhi vahele tekib tavaliselt muutuva keemilise koostisega vahekiht. Dielektrik ise kasvab aga kas polükristallilisena, omades hulgaliselt võredefekte, või amorfisena, olles elektriliselt ebastabiilne seetõttu, et amorfne materjal sisaldab jääkioone, mis sünteesiprotsessi ajal on suhteliselt suurtes kogustes



tahkisesse jäänud. Mõlemal juhul on dielektrikus palju laengulõkse, mille kontsentratsioon võib sõltuda sünteesiprotsessi tingimustest. Selle sõltuvuse uurimiseks oleme määranud mitmete oksiidide ja ränialuste vaheliste piirpindade defektide tihedusi metall-dielektrik-pooljuhtstruktuurides, kasutades selleks mahtuvus-pinge karakteristikuid ning sügavate lõksude siirdespektroskoopia meetodit. Mõõtes metall-dielektrik-pooljuhtstruktuuride juhtivuse ajalisi muutusi, õnnestus kindlaks teha ka lõksude jaotus nii nende energeetiliste tasemete järgi keelutsoonis kui ka kauguste järgi oksiidide ja pooljuhi piirpinnast. Lisaks ülalnimetatud materjalidele on uuritud ka Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [2,5], Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [2,5], ZrAlO<sub>x</sub> [1], Zr-A-Nb-O [1], TiO<sub>2</sub> ja Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> käitumist metall-dielektrik-pooljuhtstruktuurides. Teave defektide tiheduse kohta erineva koostise ning kristallstruktuuriga materjalides on oluline mitte ainult elektroonika- vaid ka optika ja sensoorika-alaseid rakendusi silmas pidades.

1. S. Dueñas, H. Castán, J. Barbolla, K. Kukli, M. Ritala, M. Leskelä, *Solid State Electr.* 47 (2003) 1623.
2. S. Dueñas, H. Castán, H. García, J. Barbolla, K. Kukli, M. Ritala, M. Leskelä, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* 786 (2004) 147.
3. S. Dueñas, H. Castán, H. García, J. Barbolla, K. Kukli, J. Aarik, A. Aidla, *Semicond. Sci. Technol.* 19 (2004) 1141.
4. S. Dueñas, H. Castán, H. García, J. Barbolla, K. Kukli, J. Aarik, *J. Appl. Phys.* 96 (2004) 1365.
5. S. Dueñas, H. Castán, H. García, J. Barbolla, K. Kukli, M. Ritala, M. Leskelä, *Thin Solid Films* 474 (2005) 222.

### **POOLSFÄÄRIPILTIDE RADIOMEETRILINE KORREKTSIOON**

**Andres Kuusk, Markko Paas (Tartu Observatoorium)**

Radiomeetrite sisendoptikas hajuv kiirgus moonutab registreeritavat signaali. Kujutise radiomeetrites ilmnevad moonutused kujutise kontrasti vähenemises. Miljoni elemendiga CCD-maatriksiga radiomeetril võib mõnel juhul kuni pool ühe elemendi signaalist olla pärit naaberladelt. Kujutise taastamiseks kasutatakse Fourier' kujutise Wieneri filtreerimist. Poolsfäärilise vaateväljaga kujutise radiomeetri signaal ei ole x-y koordinaadistikus statsionaarne, s.t Fourier' analüüsi eeldused pole täidetud. Sellepärast tehakse Tartu Observatooriumis metsade kiirgusrežiimi uurimiseks kasutatava CCD-radiomeetri

mõõtmistulemuste radiomeetriline korrektsioon  $S^2$ -ruumis. Dekonvolutsioonis vajalik radiomeetri sisendoptika impulsskoste on mõõdetud laboratooriumis punktallika kujutiselt ja mustal foonil erineva diameetriga valgete ketaste kujutistelt. Korrektsioonimeetodi rakendamise simuleeritud kujutistel ja lihtsate testobjektide kujutistel kinnitas meetodi efektiivsust. Välimõõtmiste tulemused osutuvad kuigi võrd alakorrigeerituiks kaadri tsentris ja ülekorrigeerituiks kaadri servadel. Põhjuseks on radiomeetri sisendoptika impulsskoste olenevus vaatesuunast, mille detailne mõõtmine on ülimalt töömahukas ja ei ole rakendatav kasutusel olevas korrektsioonialgoritmis.

### **VÄLISPEKTROMEETRI JUHTIMINE JA ANDMEHÕIVE**

**Joel Kuusk<sup>a</sup>, Matti Pehk<sup>b</sup> (<sup>a</sup>TÜ, <sup>b</sup>TO)**

Taimkattelt peegeldunud optiline kiirgus on peamine taimkatte seisundi vahendaja optilises kaugseires. Samatüübilistel kasvukohtadel kasvavate ja ühesuguste takseerparameetritega metsade heleduse varieeruvuse põhjuste väljaselgitamiseks on vajalikud senisest detailsemad taimkatte spektraalsete optiliste omaduste uuringud. Seni on peamiselt tehnilistel põhjustel vähe mõõtmistulemusi lähis- ja kesk-infrapunases Päikese spektri osas (800–2500 nm), ehkki just selles spektripiirkonnas kujundavad mitmed biokeemilised komponendid lehtede ja okaste optilised omadused. Siit tuleneb vajadus laiendada nii laboratoorsete kui välimõõtmiste spektripiirkonda sellesse spektrialasse, mis võib teha võimalikuks nende komponentide optilise määramise senise väga töömahuka keemilise analüüsi asemel.

Ettekanne annab ülevaate Tartu Observatooriumi taimkatte kaugseire töörühmas valmistatava 800–2500 nm piirkonnas töötava spektromeetri arvutiga juhtimise ja andmete kogumise jaoks vajaliku riistvara ning tarkvara loomisest. Spektromeeter on ette nähtud taimkattelt tagasi peegelduva päikesekiirguse spektraalse jaotuse registreerimiseks maapealsete vahenditega kättesaadaval kõrgusel.

Esitatakse valminud riistvara ja tarkvara ülevaade ning mõningad laboritingimustes saadud proovimõõtmiste tulemused ja hinnatakse nende põhjal seadme kvaliteeti.

**SATURATION OF Ar<sub>2</sub><sup>\*</sup> VUV EMISSION OUTPUT WITH INCREASE  
OF THE PUMPING POWER IN Ar HIGH-PRESSURE  
PULSED DISCHARGE****Aleksandr Lissovski<sup>a</sup>, Aleksei Treštšalov<sup>b</sup> (<sup>a</sup>TÜ, <sup>b</sup>TÜ FI)**

In this work high current powerful ( $\sim 20$  MW/cm<sup>3</sup>), fast ( $\sim 10$  ns) pulsed volume discharge in high-pressure (up to 10 bar) argon gas has been investigated with ns time-resolved spectroscopic diagnostic techniques. Importance of this subject is connected with the development of efficient excimer light sources and using rare gas discharge plasma as VUV laser active medium. Spatial-time behaviour of the main excited atomic (ionic) and molecular excimer species were measured from spontaneous emission spectra of volume discharge in high-pressure argon gas. Broad (200–850 nm) UV-VIS continuum is monitored with ns-gated ICCD camera. It was revealed, that continuum consists of two parts caused by photorecombination of electron with atomic ions and bremsstrahlung of electrons on neutral atoms. The model for continuum simulation is proposed. Electron temperature in the discharge is estimated by the modelling of observed continuum spectra using electron-neutral elastic cross sections. Continuum spectral shape depends on the electron temperature, which is about 1 eV in Ar discharge.

Our experimental data show, that peak intensity of the second continuum spontaneous emission from Ar<sub>2</sub><sup>\*</sup> excimers (126 nm) increases approximately quadratically with the gas pressure due to the compression of kinetics in time. This behaviour is observed at pressure range of about 0.1 – 2 bar, however at  $\sim 3$  – 8 bar the peak intensity has a tendency to the saturation. Visually discharge remains homogeneous at pressure up to 9 bar, but there are some harmful processes that prevent the increase of VUV output with the growth of electron density (pumping power density). Possible mechanisms responsible for the experimentally observed saturation of Ar<sub>2</sub><sup>\*</sup> VUV emission output with increase of the pumping power were analyzed on the basis of received plasma parameters. Fast electrons can destroy excimer Ar<sub>2</sub><sup>\*</sup> molecules and molecular Ar<sub>2</sub><sup>+</sup> ions, therefore it is necessary to cool down electrons as fast as possible after the main pumping pulse.

**ENTROOPIA JA ENTALPIA KONKURENTS PROTEIINIDES****Koit Muring (TÜ FI)**

Ettekandes tuleb juttu proteiini sünteesil ilmnevast entroopia ja entalpia konkurentsist. Aminohapete keti võimalike konformatsioonide arv ja sellega seotud entroopia on suur. Kokkukärgardumisel tekib struktuur, mille konformatsiooniline ja võnke-entroopia on märgatavalt alanenud. Seda termodünaamiliselt ebasoodsat asjaolu kompenseerib suure hulga vesiniksidemete teke, mis muudavad proteiini sünteesi termodünaamiliselt võimalikuks.

**ÕHUKESTE OKSIIDIKILEDE RAMANI JA BRILLOUINI HAJUMINE**  
**Ahti Niilisk<sup>a</sup>, Jaan Aarik<sup>a</sup>, Sergey N. Tkachev<sup>b</sup>, Murli H. Manghnani<sup>b</sup>**  
**(<sup>a</sup>TÜ FI, <sup>b</sup>Hawaii Ülikooli Geofüüsika ja Planetoloogia Instituut)**

Valguse Ramani hajumine (vastasmõju võre optiliste foononitega) ja Brillouini hajumine (vastasmõju akustiliste võrevõnkumistega) on olulisteks mitte-destruktiivseteks vahenditeks tahkiste omaduste väljaselgitamisel. Teatavasti Ramani hajumine annab informatsiooni kristallvõre faasikoosseisu kohta, Brillouini hajumine on enamtundlik võre defektsuse suhtes, mis on eriti aktuaalne kilematerjalide uurimisel. Kuid nende meetodite rakendamine õhukeste kilede analüüsil on raskendatud, tingituna eelkõige alusmaterjali segavast mõjust ülinõrgale kilehajumisele. Üheks võimaluseks selle mõju vähendamiseks/kõrvaldamiseks on mõõta hajumisspektreid vabaltseisval kilel, kus aluse häiriv mõju on viidud minimaalseks.

Sel viisil on esmakordselt saadud kvaliteetseid mikro-Ramani spektreid Si-alusele aatomkihtsadestatud õhukestel (paksusega 100–600 nm) ZrO<sub>2</sub>, HfO<sub>2</sub> ja TiO<sub>2</sub> kiledel mõõdetuna pärast aluse osalist mahasöövitamist. Esimesel juhul, ZrO<sub>2</sub> korral, on spektrites jälgitud monokliinne → tetragonaalne faasimuutust kilepaksuse kahanemisel.

Brillouini hajumise mõõtmistega monokliinsetel HfO<sub>2</sub>/Si õhukestel kiledel on tuvastatud neis akustiliste pindlainete väike levimiskiirus, tunduvalt madalam, kui võiks oodata lähtudes olemasolevatest andmetest mahulise HfO<sub>2</sub> kohta. Tulemus on tõlgendatav võretühimike või väikese tihedusega alade mõjuga kile elastsusomadustele. Ka ilmestab saadud esmatulemus Brillouini spektroskoopia perspektiivikut läbipaistvate õhukeste oksiidikilede omaduste analüüsil.

**AINE „FÜÜSIKALINE MAAILMAPILT“  
E-ÕPPE KESKKONNAS WEBCT  
Heija Pärtel, Kalev Tarkpea (TÜ FKEF)**

Kõigi Tartu Ülikooli täppisteaduslike erialade õppekavadesse kuulub aine „Füüsikaline maailmapilt“ (FMP) [1,2]. Füüsika ja materjaliteaduse üliõpilastele loob see aine eeldused hilisemate füüsikakursuste tulemuslikuks omandamiseks. Tulevastele keemikutele, infotehnoloogidele, informaatikutele, matemaatikutele ja statistikutele on FMP aga ainus füüsika-alane loengukursus ning peab tudengite varasemaid teadmisi oluliselt eeldamata andma neile tervikliku ja adekvaatse ettekujutuse Universumis kehtivatest fundamentaalprintsipiidest. Aine programm on väga pingeline, mistõttu rakendatakse pidevat teadmiste kontrolli: 70% ulatuses moodustub hinne semestri jooksul tehtava nelja kontrolltöö põhjal ning 30% annab eksamitöö.

Seoses lävendipõhise vastuvõtuga riigieelarvelistele õppekohtadele kasvas 2004/2005. õppeaastal järsult FMP kuulajate arv. Aktiivselt osales 532 üliõpilast, kellest semestri lõpuks jõudis positiivse tulemuseni 327 (61,5%). Niivõrd arvuka kuulajaskonna tingimustes saab õppejõud tudengeid efektiivselt nõustada ning neis füüsikaliste probleemide lahendamise oskust kujundada vaid läbi elektroonse õpikeskkonna. Seetõttu otsustasime ainele vastava toe tekitada. Kasutatavaks e-õppe keskkonnaks valisime WebCT (*Web Course Tools*) [3], mida eelistasime kodumaistele [4] ja välismaistele [5] alternatiividele esiteks põhjusel, et olime sellega varem kokku puutunud nii õpilase, tuutori kui ka disaineri tasemel, ja teiseks – lähtudes testimistulemustest [6]. Eesti e-ülikoolis on kasutusel WebCT *Campus*-versioon ja vastav server asub aadressil <http://webct.e-uni.ee>.

WebCT toetab kõiki failiformaate, mida saab veebis esitada, mistõttu õppematerjalid võivad sisaldada teksti, fotosid, videot ja audiot. WebCT-d saab kasutada tudengite omavaheliseks suhtlemiseks ning pöördumiseks õppejõu poole – selleks on olemas foorum, postkast, jututuba ja tahvel. On võimalik kasutada otsingusüsteeme, sõnastikke, fotode andmebaase ja viiteid veebis leiduvatele materjalidele. WebCT keskkonnas on olemas ka vahendid tudengite hindamiseks ning kursuse administreerimiseks.

Saamaks tagasisidet meie poolt tehtu kohta, korraldasime FMP kuulajate hulgas anonüümse küsitluse [7], milles on seni (01.02.2005)

osalenud 234 üliõpilast. Ettearvatult oli kuulajatel hea ligipääs Internetile: 83,3% küsitletutest omas seda kodus ja 67,5% õppehoonetes või raamatukogus. WebCT-ga oli liitunud 86% vastanutest. Omaenda hinnangul kasutasid nad WebCT-d kõige rohkem kontrolltööde ja eksamite enesetestide tegemiseks, õppematerjalide hankimiseks ja töökorraldusliku info leidmiseks. Kontrolltööde enesetestidele andis tugevalt positiivse hinnangu 71% vastanutest, mõõdukalt positiivse 22,7%, negatiivseid hinnanguid ei olnud. Eksamiks õppimisel oli tudengitel kõige rohkem abi WebCT vastavast enesetestist (308 hindepunkti), loengul saadud materjalist (280 punkti) ja WebCT-s leiduvast õppematerjalist (174 punkti). Neile järgnes tavaline aineveeb (113 punkti).

Positiivne kogemus „Füüsikalise maailmapildi“ WebCT-ga sügissemestril 2004 on aluseks e-õppe laialdasemale rakendamisele TÜ füüsikaosakonnas.

1. K. Tarkpea, H. Voolaid, K. Hinnov. EFS aastaraamat 2002: lk 81. Tartu, 2003
2. <http://www.physic.ut.ee/instituudid/efti/loengumaterjalid/fmp/>
3. <http://webct.com>
4. <http://www.htk.tpu.ee/iva/>, <http://www.edutizer.com>
5. <http://fronter.info>, <http://www.luvit.com>,  
<http://www.blackboard.com/>
6. [http://www.e-uni.ee/karin/keskkond/opikeskkonade\\_anal\\_ver2.pdf](http://www.e-uni.ee/karin/keskkond/opikeskkonade_anal_ver2.pdf)
7. <http://www.physic.ut.ee/~heija>

#### **ATMOSFÄÄRIDÜNAAMIKA JA NUMBRILISE ILMAENNUSTUSE AKTUAALSEID PROBLEEME EESTIS**

**Rein Rõõm, Aarne Männik, Marko Kaasik, Andres Luhamaa  
(TÜ FKKF)**

Atmosfääridünaamika (AD) uurib liikumisi ja protsesse atmosfääris. Keskseks meetodiks on AD võrrandite numbriline integreerimine. AD kõige olulisemaks rakenduseks on numbriline ilmaennustus. Ettekandes püütakse anda ülevaade numbrilise ilmaennustuse arengutest nii globaalselt, Euroopa mastaabis kui ka Eesti spetsiifilisi huvisid ja vajadusi silmas pidades, samuti heita valgust keskkonnafüüsika instituudi AD-uurijate panusele neisse arengutesse.

**MADALAMÕÕDULINE MAGNETISM UURITUNA INFRAPUNASE  
SPEKTROSKOPIA MEETODITEGA**

**Toomas Rõõm, Urmas Nagel, Dan Hüvonen (KBFI)**

Frustreeritud madalamõõdulised magnetsüsteemid on teadlaste pideva tähelepanu all oma füüsikaliste omaduste mitmekesisuse tõttu. Magnetiline frustratsioon esineb siis, kui erinevad spinnide vahelised vastasmõjud aines konkureerivad omavahel. Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudi terahertsspektroskoopia laboris on tegeldud viimastel aastatel spinnpiluga ühendite eksperimentaalse uurimisega. Infrapunase spektri madalasagedusliku piirkonna (0,06–8 THz) jaoks optimeeritud spektromeeter võimaldab meil mõõta väikese üleminekuenergiaga spinnergastusi. Uuritava spinnsüsteemi mõjutamiseks kasutame tugevat magnetvälja (kuni 12 T) ning temperatuuri. Mõõdetud üleminekute identifitseerimiseks kasutame polarisatsiooni, magnetvälja ning temperatuuri sõltuvusi. Ettekandes esitame viimaseid katsetulemusi Shastry-Sutherlandi mudelühendis  $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$  ning kahemõõtmelises spinnsüsteemis  $\text{Na}_5\text{Rb}(\text{AsO}_4)_4\text{Cl}_2$ .

**SELEKTIIVNE ADIABAATILINE TOPELTKVANTFILTER  
DÜNAAMILISE ROTATSIOONI TINGIMUSTES: RAKENDUSTEGA  
KVANTARVUTUSES**

**Ago Samoson, Radu Prekup, Allan Puusepp (KBFI)**

Esitatakse uudne topeltkvantfilter kasutades adiabaatilist homonukleaarset polarisatsiooni ülekannet üle rotatsiooni resonantsi tingimuse, muutes MAS pöörleja pöörlemiskiirust lineaarselt. Saavutatakse hea topeltkvantkoherentside filtratsiooni efektiivsus.

Rakenduseks on ta kasutamine teiste pulssjärjestuste elemendina (näiteks DQ-COSY, INEPT) ning tahke keha TMR kvantarvutuse pulssjärjestuste lihtsustajana, kus ta võimaldab sooritada adiabaatilisi kvantloogika operatsioone (SWAP, C-NOT).

Antakse numbrilised ja eksperimentaalsed hinnangud topeltkvantfiltrile.

**KVANTMEHAANIKA PÖÖRDÜLESANNE – MIS SEE ON  
JA KUIDAS SEDA LAHENDADA**  
**Matti Selg (TÜ FI)**

Füüsikateooriate tavapäraseks eesmärgiks on ennustada, kuidas liiguvad osakesed, kui on teada nende vahel mõjuvad jõud, või kuidas levib kiirgus, kui on teada aine ehitus. Praktika seisukohalt mitte vähem tähtis on vastupidine probleemipüstitus – kuidas olemasolevate (paratamatult ligikaudsete ja mittetäielike) vaatlusandmete põhjal kindlaks teha osakeste vahel tegelikult mõjuvad jõud ja aine tegelik ehitus. Kvantmehaanikas on taolise pöördülesande ranged lahendusmeetodid välja töötatud juba üle 50 aasta tagasi, kuid paraku on see huvitav valdkond füüsikute seas endiselt suhteliselt vähetuntud. Seda kahetsusväärset lünka püüabki antud ettekande autor talle jõukohasel määral täita.

Idealis on kvantmehaanika pöördülesanne üheselt lahenduv, see tähendab, et teatud täieliku vaatlusandmete kogumi alusel saab kvantsüsteemi interaktsioonipotentsiaali üheselt kindlaks määrata. See on aga võimalik siis ja ainult siis, kui 1) on teada kogu diskreetne energiaspekter; 2) iga seotud seisundi jaoks on fikseeritud üks täiendav reaalne parameeter, mis määrab vastavate omafunktsioonide normeringu; 3) on kindlaks tehtud süsteemi kontiinumseisundite põhiparameetri – faasinihke – täielik energiasõltuvus (nullist lõpmatuse ni).

Pöördülesande lahendamiseks vajalik täielik sisendinfo on kahjuks kättesaamatu, mistõttu praktikas tuleb leppida mittetäielikel eksperimendiandmetel tuginevate ligikaudsete meetoditega. Ettekandes tutvustatakse ja illustreeritakse üht uut taolist meetodit, mille põhiskeem on järgmine. Esmalt konstrueeritakse vaatlusaluse kvantsüsteemi jaoks võimalikult realistlik referentspotentsiaal ning arvutatakse kõik seda iseloomustavad spektraalsed karakteristikud. Sealjuures peab faasinihke energiasõltuvus olema kooskõlas Levinsoni teoreemiga, mida ettekandes ka vahetult demonstreeritakse. Süsteemi tähtsaim spektraalkarakteristik on Josti funktsioon, mis muuhulgas fikseerib, kuidas on omavahel seotud Schrödingeri võrrandi regulaarsed ja füüsikalised lahendid. Teades Josti funktsiooni, saab arvutada nn Bargmanni potentsiaali, mille Josti funktsioon erineb referentspotentsiaali omast vaid ratsionaalse kordaja poolest. Selle kordaja



saab valida selliselt, et uue potentsiaali energianivood ühtiksid antud kvantsüsteemi jaoks tegelikult teadaolevatega. Järelikult on alust väita, et niisugune Bargmanni potentsiaal kirjeldab kvantsüsteemi adekvaatsemalt kui lahendusprotseduuri aluseks olnud referentspotentsiaal.

**SUM-FREQUENCY GENERATION AND MULTIPHOTON IONIZATION IN SPATIALLY INCOHERENT CONICAL LASER BEAMS**  
**Sergey Shchemelyov, Victor Peet (TÜ FI)**

Resonance-enhanced four-wave mixing and generation of sum-frequency field in xenon have been studied under two-color excitation by spatially coherent and incoherent conical laser beams. Comparisons of analogous results with the two-color excitation in ordinary geometry of focused beams and in one-color Bessel beams are made. It has been shown that with incoherent laser beams the four-wave mixing process is much less degraded in conical excitation geometry where an efficient generation of sum-frequency field can be obtained despite of multiple wave-front aberrations. Such a tolerance of conical beams results from their specific structure of coherent focal domains which are extended significantly along the beam axis. In two-color conical beams the four-wave mixing process is driven within the central lobe of the coherent Bessel beam, where a few of long coherent domains from the incoherent beam are embedded. It preserves a relatively high degree of coherence for excitation processes. Numerical simulation of sum-frequency excitation profiles for one- and two-color conical beams has been carried out and good agreement with experimental observations has been obtained.

**LUMINESCENCE OF THE PbWO<sub>4</sub>:5% Cd CRYSTAL**  
**A. Stolovits<sup>a</sup>, Y. Usuki<sup>b</sup>, S. Zazubovich<sup>a</sup>, A. Krasnikov<sup>a</sup>, M. Nikl<sup>c</sup>**  
**(<sup>a</sup>TÜ FI; <sup>b</sup>Furukawa Co., Japan; <sup>c</sup>Institute of Physics, Czech Republic)**

Emission and excitation spectra, luminescence decay kinetics at 0.5-300 K, and photo-thermally stimulated processes of the exciton and defect-related states disintegration have been studied for the PbWO<sub>4</sub>:5% Cd crystal. The peculiarities observed in the luminescence characteristics are explained in the assumption that the strong

Cd-doping results not only in the compensation of the existing lead deficiency but also in the appearance of local CdWO<sub>4</sub>-type distortions of the PbWO<sub>4</sub> crystal lattice structure.

**UUED PERSPEKTIIVID DIFERENTSIAALSES  
SERVO-OSTSILLOMEETRIAS  
Jaak Talts (TÜ ARFS)**

Traditsiooniline diferentsiaalne servo-ostsillomeetriline meetod võimaldab keskmise vererõhu pidevat registreerimist, kusjuures rõhulugem saadakse iga südame-tsükli kohta. Kahelt omavahel pisut nihutatud rõhuga sõrmemansetilt saadavad pneumaatilised pulsisignaalid juhivad servosüsteemi nii, et süsteemi rõhk hoitakse keskmise vererõhu tasemel.

Fotoelektriliste mansettide kasutamine annab lisavõimalusi:

- paraneb signaal-häire suhe,
- fotopletüsmograafiline signaal sisaldab informatsiooni vererõhulaine kuju ja ebalineaarse arteriaalse rõhu-mahu sõltuvuse kohta.

Uuel, rõhu-mahu sõltuvusel baseerual diferentsiaalsel servoostsillomeetrilisel meetodil on võimalik:

- arvutada vererõhulaine kuju ja leida sellelt süstoolne ja diastoolne rõhk,
- registreerida arteriaalse venitavuse muutusi.

Üheks suuremaks probleemiks on arterite viskoelastsed omadused. Nende segavate mõjude kõrvaldamiseks korrigeerisime alalis-komponendi ujumist vahelduvkomponendi käitumise alusel.

**MÜOMEETRIA MEETODI VÕIMALUSTEST HÜPERTOONIA  
ENNETAMISEL**

**Thea Toomla<sup>a</sup>, Arved Vain<sup>b</sup>, Hubert Kahn<sup>c</sup>**  
(<sup>a</sup>TÜ, <sup>b</sup>TÜ FKEE, <sup>c</sup>Tervise Arengu Instituut)

Müomeetrilisel meetodil registreeritakse skeletilihase mehaanilist pinget, jäikust ja elastsust iseloomustavad parameetrid. Skeletilihase mikrokapillaarse vereringe mahtkiirus oleneb suurel määral lihasesesest rõhust, mida saab iseloomustada ülaltoodud parameetritega.

Eesti ettevõtete 1796 töötaja müomeetriliste uuringutulemuste statistiline analüüs võimaldas luua statistilise mudeli, mis selgitab hüpertooniatõve ennetamise uusi võimalusi.

**KALIBRATSIOONIAEROSOOLIDE GENEREERIMISE SÜSTEEM  
JA SELLE JUHTIMINE**

**Janek Uin, Eduard Tamm, Aadu Mirme (TÜ)**

Tartu Ülikooli keskkonnafüüsika instituudis on välja töötatud seadmed soovitava mõõtmespektriga kalibratsioonieraerosoolide genereerimiseks, mis põhinevad laetud osakeste separeerimisel elektrilise liikuvuse järgi. Käesolevas ettekandes antakse ülevaade aerosoolide genereerimise seadmestikust tervikuna, selle võimalustest ning kirjeldatakse ka aparatuuri üksikute sõlmede tööd ning füüsikalisi protsesse, millel need põhinevad. Eraldi tuuakse välja süsteemi südametüki – diferentsiaalse liikuvusanalüsaatori (DMA – *Differential Mobility Analyzer*) tööpõhimõte. Samuti antakse ülevaade kogu süsteemi sünkroonseks juhtimiseks ja mõõtmistulemuste kogumiseks vajalike seadmete ja tarkvara tööst.

**MEHAANILISE PINGE TRANSMISSIOONINÄHTUSEST  
SKELETILIHASES**

**Arved Vain, Jüri Vedru (TÜ FKEF)**

Kirjanduse andmetel eksisteerib seisukoht, et mehaaniline pinge skeletilihases kantakse üle piki lihaskiudu ühelt sarkomeerilt teisele. Autori viimased uuringud on näidanud, et selline käsitus omab väga palju vastuolusid. Ettekandes pakutakse välja mehaanilise pinge transmissiooni füüsikaline mudel, milles mehaanilise pinge transmissioon toimub skeletilihase kollageeniitide kaudu.

**ÕHUNIISKUSE TUGIETALONI REALISEERIMINE TÜ KATSEKOJAS  
Martin Vilbaste (TÜ Katsekoda)**

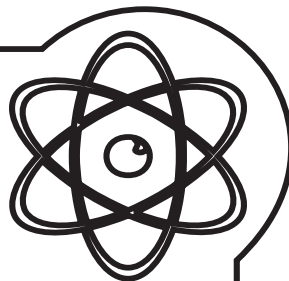
Kuni viimase ajani pole olnud võimalik Eestis õhuniiskuse mõõtureid kalibreerida Mõõteseaduse mõttes. Peagi on see TÜ Katsekojas võimalik. Projekti PHARE ES0102.01 „*Development of Conformity Assessment in the Field of Metrology*“ raames on Katsekoda saanud õhuniiskuse tugietaloni realiseerimiseks vajalikud seadmed. Õhuniiskuse

mõõtmised on väga olulised töökeskkonna tervislikkuse hindamisel, ehituses, ladudes, arhiivides jne.

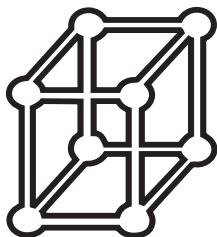
Antud tugietalon on oma taseme poolest sekundaaretalon. Suhtelise niiskuse leidmiseks piisab, kui on teada kastepunkti temperatuur, õhu temperatuur ja rõhk mõõtekohas. Vaadeldava mõõtekompleksi puhul mõõdetakse kastepunkti temperatuuri jahutatava peeglika kastepunktihügromeetri abil, mille resolutsioon on  $0,01^{\circ}\text{C}$ , õhu temperatuuri antud etalonhügromeetri juurde kuuluva platinatakistustermomeetriga ja õhurõhku spetsiaalse rõhumooduliga. Õhuniiskuse mõõturite kalibreerimine viiakse läbi spetsiaalses kliimakambris, millega saab tekitada soovitud temperatuuri ja suhtelise niiskuse kombinatsiooni, samuti on oluline, et kliimakamber oleks nii ruumiliselt kui ka ajaliselt homogeenne.

Kalibreerimise käigus määratakse kalibreeritavale mõõteriistale parand mingis temperatuuri ja suhtelise niiskuse punktis, samuti hinnatakse selle parandi määramatust. Suhtelise niiskuse määramatuse hindamisel on eriti oluline kastepunkti temperatuuri ja õhu temperatuuri mõõtmise määramatuste adekvaatne hindamine, rõhu mõõtemääramatuse hindamine ei ole nii kriitiline, mis aga ei tähenda seda, et seda ei peaks üldse arvesse võtma.

Katsekoda on osalenud ka laboritevahelises võrdlusmõõtmises, milles meie pilootlaboriks oli Soome Metroloogia ja Akrediteerimise Keskus (MIKES). Võrdlusmõõtmise tulemused olid keskmiselt head: üheksast mõõtepunktist kaheksa korral langesid meie tulemused määramatuse piires kokku, ühel juhul aga mitte, mistõttu arenguruumi on veel piisavalt.



EESTI  
FÜÜSIKA  
SELTS  
2004



EFS AUKIRJAD 2004

AUKIRI Nr 5

Eesti Füüsika Selts tunnustab aukirjaga

*ÜLLE KIKAST*

suure töö eest füüsikahuvi äratamisel koolinoorte hulgas ning seoses GLOBE ja internetipõhiste õppematerjalide programmide korraldamisega.

Tartus, 13. veebruaril 2004. a.

EFS esimees  
EFS aukirjakomisjoni esimees

AUKIRI Nr 6

Eesti Füüsika Selts tunnustab aukirjaga

*JAAK LÕHMUST*

algupärase eestikeelse aimeraamatu „Universumi mikromaailm“ mõtte algatamise ja teostamise eest.

Tartus, 13. veebruaril 2004. a.

EFS esimees  
EFS aukirjakomisjoni esimees

AUKIRI Nr 7

Eesti Füüsika Selts tunnustab aukirjaga

*REIN VESKIMÄED*

algupärase eestikeelse aimeraamatu „Universumi mikromaailm“ mõtte algatamise ja teostamise eest.

Tartus, 13. veebruaril 2004. a.

EFS esimees  
EFS aukirjakomisjoni esimees

EFS ÜLIÕPILASTE STENDIPREEMIAD 2004

DIPLOM Nr 2

Eesti Füüsika Selts tunnistab Eesti 34. füüsikapäevade üliõpilaste stendipreemia vääriliseks

*MARGO PLAADO*

stendiettekanne „Aminofunktsionaalsete sool-geelkilede valmistamine ja rakendused biotehnoloogias“ eest.

Tartus, 14. veebruaril 2004. a

EFS esimees  
Preemiakomisjoni esimees

DIPLOM Nr 3

Eesti Füüsika Selts tunnistab Eesti 34. füüsikapäevade üliõpilaste stendipreemia vääriliseks

*KRISTJAN SAALI*

stendiettekanne „Aminofunktsionaalsete sool-geelkilede valmistamine ja rakendused biotehnoloogias“ eest.

Tartus, 14. veebruaril 2004. a

EFS esimees  
Preemiakomisjoni esimees

DIPLOM Nr 4

Eesti Füüsika Selts tunnistab Eesti 34. füüsikapäevade üliõpilaste stendipreemia vääriliseks

*TANEL TÄTTE*

stendiettekanne „Aminofunktsionaalsete sool-geelkilede valmistamine ja rakendused biotehnoloogias“ eest.

Tartus, 14. veebruaril 2004. a

EFS esimees  
Preemiakomisjoni esimees

## EFS AULIIKME TUNNISTUS

Nr 2

Käesolevaga tunnistab Eesti Füüsika Selts oma liikme

*JAAK EINASTO*

Eesti Füüsika Seltsi auliikmeks.

Tartus, 13. veebruaril 2004. a.

EFS esimees  
EFS aseesimees

## EFS ÕPILASPREEMIA STATUUT

EFS premeerib õpilasi ja õpilaste gruppe füüsikaalaste (käsikirjaliste või publitseeritud) uurimuste, füüsikat ja füüsikaharidust propageeriva või arendava tegevuse eest.

EFS õpilaspreamia(d) antakse välja üks kord aastas, Eesti füüsikapäevade ajal, EFS juhatuse poolt moodustatud komisjoni otsuse alusel. Materjalide esitamise tähtaeg on 1. veebruar. Preemia suuruse määrab EFS juhatus oma otsusega. Kandidaate preemia saamiseks võivad esitada kõik EFS liikmed ja Eesti füüsikaõpetajad. Premeerimiseks võib esitada ka jooksva aastal teistele õpilastööde konkurssidele esitatud füüsikaalaseid töid.

Soodustamaks õpilastööde juhendamist käsitletakse õpilastööd alati koos juhendaja andmetega. Juhendaja andmed lisatakse õpilastööle kinnises ümbrikus. Avalikustamisele kuuluvad vaid võitja(te) juhendaja(te) andmed. EFS juhatus võib premeerida koos õpilasega ka tema juhendajat.



## EESTI FÜÜSIKA SELTSI JUHATUSE 2004. AASTA TEGEVUSARUANNE

Eesti Füüsika Seltsi korraldusel toimusid 13. ja 14. veebruaril Tartus Eesti XXXIV füüsikapäevad. Esitati 12 suulist ja 10 stendiettekan- net. EFSi aukirjaga tunnustati Ülle Kikase tööd füüsikahuvi äratamisel noorte hulgas ning „GLOBE“ programmi ja internetipõhiste õppema- terjalide korraldamisel ning Jaak Lõhmust ja Rein Veskimäed algupä- rase eestikeelse aimeraamatu „Universumi mikromaailm“ mõtte alga- tamise ja teostamise eest. Preemia parima üliõpilaste stendiettekan- de eest anti Margo Plaadole, Kristjan Saalile ja Tanel Tättele.

Füüsikapäevade esimesel päeval toimus EFSi üldkogu, millel kin- nitati seltsi juhatuse tegevus- ja majandusaruanne, võeti vastu õpilas- preemia statuut ning arutati rahvusvahelise füüsika-aasta korraldust aastal 2005. Uuteks juhatuse liikmeteks valiti Tõnu Laas ja Raivo Stern.

Ilmus EFSi aastaraamat 2003 (toimetajad Anna Aret ja Piret Kuusk). EFSi listi seltsid.efs@lists.ut.ee haldab Jaak Jõgi ning EFSi kodule- te toimetasid Andi Hektor ja Kaido Reivelt. EFS registreeris domeeni aadressiga [www.fyysika.ee](http://www.fyysika.ee) ja sellega seoses muutus ka seltsi kodulehe aadress, mis on nüüd <http://www.fyysika.ee/efs>.

Märtsis toimunud Eesti koolinoorte 51. füüsikaolümpiaadil sai EFSi eriauhinna (ajakirja „Scientific American“ aastatellimuse) Pärnu Koidula Gümnaasiumi õpilane Holger Haas.

Koolifüüsika osakonna ja TÜ koolifüüsika keskuse koostööna toimus 24. märtsil füüsikaõpetajate päev (korraldasid H. Voolaid, O. Krikmann ja J. Susi). Kuulati 8 ettekannet ja arutati füüsikaõpetu- se päevaprobleeme. Esmakordselt toimus Jaak Jõgi eestvedamisel EFSi füüsikaõpetajate suvekool 28.–30. juunil Nõos. Koolis kuulati loenguid tänapäeva füüsikast ja füüsikaõpetusest, külastati Tõravere observa- tooriumi ja TÜ Füüsika Instituuti. Suvekoolis oli 19 osavõtjat.

Noorfüüsikute osakonna eestvedamisel korraldati aruandeaastal ka kaks noorte füüsikute kooli. Suvekool toimus 18.–20. juunil Türi- salus (korraldajad Andi Hektor ja Ahto Kuusk) ning selle kavas oli 16 akadeemilist tundi loenguid, pikemalt arvutusfüüsikast, teadusarvu- tustest, mittelineaarsest optikast ja infotehnoloogiast. Osavõtjaid oli 46. 8.–10. oktoobril korraldati Andi Hektori ja Margus Saali eestve- damisel Käärikul järjenumbrilt juba kuues sügiskool. 57 osavõtjat 4

kõrgkoolist kuulaskolme päeva jooksul 18 akadeemilist tundi loenguid, sh sünkrotronkiirgusest, molekulaardünaamikast, teadlaste ja ettevõtjate koostööst ning osakeste- ja kiirgusfüüsikast. Esimest korda oli sügiskoolis välismaine lektor.

Alustati ettevalmistusi rahvusvaheliseks füüsika-aastaks 2005. Kaido Reivelti eestvedamisel on juba käivitunud füüsikute esinemised hommikutelevisioonis, plaanis on füüsikaportaali loomine, akadeemilised füüsikaloengud, teadusbuss ja palju muudki.

EFS kuulub jätkuvalt Euroopa Füüsikaühingusse (EPS), mis koondatab 38 rahvuslikku füüsikaühingut. Arvo Kikas osales EPS nõukogu istungil ja Kaido Reivelt rahvusvahelise füüsika aasta korraldusele pühendatud EPS korraldatud nõupidamisel „European Preparatory meeting for the WYP“. EFS osaleb EPS poolt koordineeritud rahvusvahelise füüsika-aasta (WYP 2005) ürituste rahastamiseks mõeldud europrojekti. EFSi 2004. aasta liikmemaksu Euroopa Füüsikaühingule (1337.70 EUR) tasus Eesti Teaduste Akadeemia.

2004. a kuulus EFSi 185 aktiivset liiget. 2004 aastal valis juhatus seltsi teiseks auliikmeks akadeemik Jaan Einasto.

EFSi ettevõtmisi toetasid aastal 2004 rahaliselt Tartu Observatoorium, Eesti Teaduste Akadeemia, Eesti Teadusfond, Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut, Tallinna Tehnikaülikool ja Tartu Ülikooli Avatud Ülikool, Füüsika Instituut ning füüsikaosakond. Täname kõiki toetajaid ja loodame koostöö jätkumist.

Tartus, 22. veebruaril 2005. a.

Eesti Füüsika Seltsi esimees  
Arvo Kikas

## EFS LAIENDATUD JUHATUS 2004. AASTAL

Arvo Kikas, esimees	Tartu Ülikooli Füüsika Instituut Riia 142 51014 Tartu	Tel/faks: +372 7 428 182/383 033 E-mail: kiku@fi.tartu.ee
Ilmar Kink, asesimees	Tartu Ülikooli Füüsika Instituut 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 7 375 576/375 570 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
Tõnu Laas	Tallinna Pedagoogika- ülikool Narva mnt 25 10120 Tallinn	Tel/faks: +372 6409 412/6409 418 E-mail: tony@tpu.ee
Koit Mauring	Tartu Ülikooli Füüsika Instituut Riia 142 51014 Tartu	Tel/faks: +372 7 428 882/7 383 033 E-mail: mauring@fi.tartu.ee

## EFS UUED LIKMED

---

Peeter Saari	Tartu Ülikooli Füüsika Instituut Riia 142 51014 Tartu	Tel/faks: +372 7 383 016/7 383 033 E-mail: <a href="mailto:psaari@fi.tartu.ee">psaari@fi.tartu.ee</a>
Raivo Stern	Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut Akadeemia tee 23 12618 Tallinn	Tel/faks: +372 639 8309/639 8393 E-mail: <a href="mailto:stern@kbf.ee">stern@kbf.ee</a>
Risto Tammelo	Tartu Ülikool Tähe 4 51010 Tartu	Tel/faks: +372 7 375 571/7 375 570 E-mail: <a href="mailto:tammelo@ut.ee">tammelo@ut.ee</a>
Henn Voolaid	Tartu Ülikool Tähe 4 51010 Tartu	Tel/faks: +372 7 375 542/7 375 540 E-mail: <a href="mailto:kippar@ut.ee">kippar@ut.ee</a>

## EFS UUED LIKMED

- Rünno Lõhmus
- Stefan Groote
- Robert Kitt
- Madis Kiisk
- Arne Lillemaa
- Viktor Peet
- Heli Toit
- Kadri-Ly Trahv

## XXVI FÜÜSIKAÕPETAJATE PÄEV TARTU ÜLIKOOLIS

XXVI füüsikaõpetajate päev toimus 24. märtsil TÜ füüsikahoones, Tähe 4–160. Registreeritud osavõtjaid oli 62. Võeti vastu oluline otsus, et endise Koolifüüsika Ühingu asemele loouakse EFS koolifüüsika osakond, mida hakkab juhatama Jaak Jõgi. Samuti otsustati edaspidi füüsikaõpetajate päev ühendada füüsikapäevadega.

### Päevakava

10.30 – 10.50	TÜ rektor J. Aaviksoo: Avasõna
10.50 – 11.40	H. Käämbre: Mikrokeeriste maailmas (mullusest Nobeli füüsikapreemiast)
11.40 – 12.10	M. Saal: Viies element
12.10 – 12.30	Kohvipaus
12.30 – 13.15	J. Jaaniste: Varjatud mass ja tume energia – mis need on ja milleks?
13.15 – 14.15	Lõunavaheaeg
13.50 – 14.00	Stendiettekanded
14.15 – 14.55	O. Krikmann: Eesti õpilaste väärarusaamad füüsikas
14.55 – 15.15	A. Mere: Füüsika riigieksam
15.15 – 15.45	J. Jõgi: Eesti Füüsika Seltsi koolifüüsika osakond – mis, kus ja milleks? (aruteluline ettekanne)
15.45 – 16.15	E. Pärtel: Riiklik õppekava 2007: loodusainete valdkonna muutuste põhimõtted
16.15 – 17.00	Vaba mikrofoni
17.00	Lõpetamine

## EFS NOORFÜÜSIKUTE II SUVEKOOL

Suvekool toimus 18.–20. juunil 2004 Tallinna lähedal Türisalus. Koolist võttis osa 46 inimest. Lisainfo <http://www.fyysika.ee/kool/index.php/Kool/Suvekool2004>.

### LOENGIKAVA

Reede, 18. juuni

- 13.00 – 13.15 Suvekooli avasõna korraldajatelt
- 13.15 – 15.00 Ivo Fridolin (TTÜ): Optiline kiirgus haigete jälgimisel ja diagnostikas
- 15.30 – 17.15 Andi Hektor (KBFI): Grid ja teadusarvutused I
- 17.45 – 19.30 Füüsikauudised ja rahvusvaheline füüsika-aasta 2005

Laupäev, 19. juuni

- 14.00 – 15.45 Eero Vainikko (TÜ): Teadusarvutused I
- 16.30 – 18.45 Aleks Rebane (Montana State University): Kaasaegsest mittelineaarsest optikast
- 20.00 – 20.45 Vaba mikrofon

Pühapäev, 20. juuni

- 10.00 – 11.30 Posterite esitlused
- 12.00 – 13.00 Mario Kadastik (KBFI): Grid ja teadusarvutused II
- 14.00 – 15.45 Tarvi Martens (AS Sertifitseerimiskeskus): Avaliku Võtme Infrastruktuur, Eesti ID-kaart ja perspektiivid
- 15.45 – 16.30 Kohv ja kokkuvõte

## EFS NOORTE FÜÜSIKUTE VI SÜGISKOOL

NoFy (EFS noorfüüsikute osakond) korraldas 8.–10. oktoobril 2004 Käärikul TÜ Spordi- ja Puhkekeskuses EFS noorte füüsikute VI sügiskooli. Koolis osales 57 inimest. Lisainfo <http://www.fyysika.ee/kool/index.php/Kool/Sugiskool2004>.

### LOENGIKAVA

Reede, 8. oktoober

- 14.15 – 14.30 Avasõna korraldajatelt
- 14.30 – 15.15 Andres Marandi (TÜ Tehnoloogiainstituut):  
Teadus, tehnoloogia ja ettevõtlus
- 15.30 – 16.45 Arvo Kikas (TÜ FI): Sünkrotronkiirgus.  
Mis? Kuidas? Milleks?

Laupäev, 9. oktoober

- 14.00 – 15.30 Marco Patriarca (Helsingi Tehnikaülikool):  
Introduction to molecular dynamics I
- 16.00 – 17.30 Marco Patriarca (Helsingi Tehnikaülikool):  
Introduction to molecular dynamics II
- 17.45 – 19.00 Posterisessioon

Pühapäev, 10. oktoober

- 9.00 – 10.30 Marco Kirm (TÜ FI): Keskkonnasõbralikud  
valgusallikad ja vaakumultraviolettpiirkonna  
spektroskoopia
- 10.45 – 12.15 Andi Hektor (KBFI): Osakeste- ja kiirgusfüüsika  
ning -detektorid
- 12.45 – 14.00 Ilmar Ots ja Hannes Liivat (TÜ FI): Nobeli  
preemia füüsikas sel aastal
- 14.00 – 14.45 Kohv ja kokkuvõte

EFS FÜÜSIKAÕPETAJATE SUVEKOOL

28.–30. juunil 2004. a Nõo Realgümnaasiumis

**LOENGIKAVA**

Esmaspäev, 28. juuni

- 10.00 Saabumine Nõkku, majutus
- 12.00 Lõuna
- 13.00 M. Keerutaja, P.-M. Irtdt, J. Järveoja:  
Füüsika Nõo koolis – eile, täna, homme
- 15.30 O. Saks: Mõõtmise (Mõõtemääramatuse kontseptsioon)
- 18.00 Õhtusöök
- 19.00 Mõõtmise jätkub

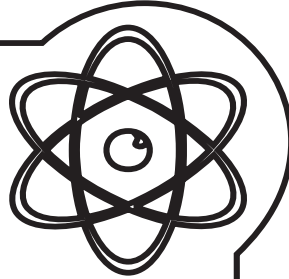
Teisipäev, 29. juuni

- 8.00 Hommikusöök Nõos
- 9.00 Üritused Tõraveres:  
Jaan Einasto: Uut Universumi ehitusest  
Laurits Leedjärv: Tähtede rollist Universumis  
Tõnu Viik: Sedna ja teisi uudiseid Päikesesüsteemi  
ääremaadelt
- 13.30 Lõuna  
Kalju Eerme: Kui selge või segane on kliima  
muutumise perspektiiv?  
Tutvumine Stellaariumiga
- 18.00 Õhtusöök Nõos
- 19.00 Vestlusring

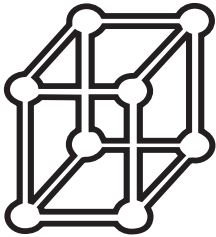
Kolmapäev, 30. juuni

- 8.00 Hommikusöök Nõos
- 9.00 J. Jõgi: Kiirgusfüüsika koolis
- 12.00 Lõuna Nõos
- 13.00 Lahkumine Nõost, saabumine FI-sse
- 13.30 Mõõtmise FI-s (E. Nõmmiste loeng FI tegemistest  
+ ekskursioon)
- 16.00 M. Reemann: Füüsika HTG-s – eile, täna, homme
- 18.00 Lõpetamine HTG-s





FÜÜSIKA-  
KROONIKA  
2004



## I. TÖÖKORRALDUS

- 5. jaanuaril asus Ergo Nõmmiste tööle TÜ Füüsika Instituudi direktorina. Teadusdirektorina töötab alates 1. juulist Marco Kirm, senine teadusdirektor Henn Käämbre jätkab tööd direksiooni nõunikuna.
- 2. märtsil valis Tartu Observatooriumi teadusnõukogu Tartu Observatooriumi direktoriks teiseks ametiajaks praeguse direktori Laurits Leedjärve. 16. märtsil kinnitas selle otsuse Haridus- ja Teadusministeeriumi teaduspoliitika komisjon.
- 22. märtsil valiti Tartu Observatooriumis teaduriteks astrofüüsika erialal Lilli Sapar, Alar Puss ja Kalju Annuk, kosmoloogia erialal Peeter Tenjes, atmosfäärifüüsika erialal Madis Sulev ja Matti Mõttus ning järeldoktori ametikohale atmosfäärifüüsika erialal Oleg Okulov.
- 7. aprillil valiti Tartu Ülikooli füüsika-keemiateaduskonna valimiskogu istungil dekaaniks keemilise füüsika prof Peeter Burk.
- TÜ Füüsika Instituudis valiti vanemteaduriteks (tähtajaga 1. jaan 2005 – 31. dets 2009) Margus Rätsep optika ja spektroskoopia erialal, Teet Uustare pinnafüüsika erialal, Hugo Mändar röntgenstruktuuranalüüsi erialal, Mati Haas tahkiseteooria erialal ning Ilmar Kink, Viktor Palm ja Rein Ruus tahkisefüüsika erialal. Teaduriteks (tähtajaga 1. juuli 2004 – 30. juuni 2007) valiti Juri Maksimov optika erialal ning Sergei Dolgov, Aleksandr Ellervee, Irina Kudrjavitseva ja Pavel Rubin tahkisefüüsika erialal.
- 1. septembril asus TTÜ füüsikainstituudi direktori kohuseid täitma Pavel Suurvarik. Füüsikainstituudi rakendusfüüsika õppetooli professoriks valiti Jüri Krustok (õppetooli juhataja alates 01.09.04) ja füüsikalise geoloogia õppetooli professoriks Rein Vaikmäe. Füüsikainstituudi assistendina asus tööle Marika Vallikivi.
- Septembris astus ametisse uus TTÜ matemaatika-loodusteaduskonna dekaan orgaanilise keemia professor Margus Lopp, keemia- ja materjalitehnoloogia teaduskonna dekaaniks valiti taas professor Andres Öpik.
- 8. septembril toimus Tartu Observatooriumi teadustöötajate üldkoosolek, kus vastavalt põhimäärusele valiti 8 teadusnõukogu liiget. Valituks osutusid Kalju Eerme, Jaan Einasto, Tõnu

Kipper, Andres Kuusk, Tiit Nilson, Jaan Pelt, Enn Saar ja Arved Sapar.

- 12. oktoobril valiti korralistel valimistel KBFI teadusnõukogu esimeheks Mart Saar ja aseesimeheks Tõnis Pehk. KBFI teadusnõukogu uuteks liikmeteks valiti Valdur Saks ja Martti Raidal.
- 29. novembril valiti Tartu Observatooriumis teadurite ametikohadele astrofüüsika erialal Anna Aret ja Raivo Poolamäe, kosmoloogia erialal Ivan Suhhonenko ning atmosfäärifüüsika erialal Urmas Peterson ja Mait Lang.
- 1. detsembril alustas Eesti Teaduste Akadeemia presidendina tööd Eesti Biokeskuse direktor, TÜ evolutsioonilise bioloogia professor bioloogiadoktor Richard Villems.
- 17. detsembril kinnitas TÜ nõukogu Tartu Ülikooli füüsikumi statuudi. TÜ füüsikum on füüsikaga seotud struktuuriüksuste ühendus Tartu Ülikoolis. Algselt kuuluvad füüsikumi TÜ Füüsika Instituut ja füüsika-keemiateaduskonna füüsikaosakond.
- 17. detsembril avati pidulikult aadressil Akadeemia tee 15 Tallinna Tehnikaülikooli uus õppehoone – Loodusteaduste maja, mis sai uueks kodus üheksa õppetooli ja ühe teaduslabori tudengitele, õppejõududele ning teaduritele. Majas paiknevad nii kaasaegsed õppelaborid üliõpilastele praktiliste tööde tegemiseks kui ka teaduslaborid.
- TÜ Füüsika Instituut on jätkuvalt Eesti teaduse tippkeskus ja kuni 30. märtsini ka Euroopa Ühenduse Tippkeskus.

## II. VÄITEKIRJADE KAITSMINE

### Tartu Ülikooli füüsikaosakonna nõukogu

- 8. apr kaitses TÜ doktorant **Villu Repän** väitekirja „Low current mode of negative corona“ („Negatiivse koroonalahenduse nõrga voolu staadium“) PhD kraadi saamiseks füüsikas optika ja spektroskoopia erialal. Juhendaja: dots Matti Laan (TÜ FKEF). Oponentid: dr Juri Akishev (Troitsk Institute for Innovation and Fusion Research, Russia) ja dr Henn Käämbre (TÜ FI).
- 15. okt kaitses TÜ doktorant **Matti Mõttus** väitekirja „Shortwave solar radiation field inside willow canopy“ („Lühilainealise päikesekiirguse väli pajuvõsas“) PhD kraadi saamiseks

keskkonnafüüsika erialal. Juhendajad: prof Tiit Nilson (TO), akad Juhan Ross<sup>†</sup> (TO) ja prof Hannes Tammet (TÜ). Oponendid: dr Pauline Stenberg (Helsinki Ülikool) ja dr Piia Post (TÜ).

- 20. okt kaitses TÜ doktorant **Aleksei Kotlov** väitekirja „Оксианионные диэлектрические кристаллы: зонная структура и электронные возбуждения” („Dielektrilised oksianioonkristallid: tsoonstruktuur ning elektronergastused”) PhD kraadi saamiseks füüsikas tahkisefüüsika erialal. Juhendajad: f.-m.knd Vitali Nagirnoi (TÜ FI) ja prof Aleksandr Luštšik (TÜ FKEF). Oponendid: dr Vladimir Makhov (Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia) ja dr Rein Kink (TÜ FI).
- 21. okt kaitses TÜ doktorant **Jaak Talts** väitekirja „Continuous non-invasive blood pressure measurement: comparative and methodological studies of the differential servooscillometric method“ („Pidev mitteinvasiivne vererõhu mõõtmine: diferentsiaalse servoostsillomeetrilise meetodi metodoloogilised uurinud”) PhD kraadi saamiseks rakendusfüüsikas. Juhendaja: dr Rein Raamat (TÜ füsioloogia instituut). Oponendid: prof Kalju Meigas (TTÜ) ja prof Janis Spigulis (Läti Ülikool).
- 3. nov kaitses TÜ doktorant ja TÜ FI teadur **Margus Saal** väitekirja „Studies of pre-big bang and braneworld cosmology“ („Uurimusi Suure Paugu eelse Universumi ja braanimaailma kohta”) PhD kraadi saamiseks füüsikas teoreetilise füüsika erialal. Juhendaja: dr Piret Kuusk (TÜ FI). Oponendid: dr Syksy Räsänen (Inglistmaa, Oxfordi Ülikool) ja dr Enn Saar (TO).

#### Tartu Ülikooli füüsikaosakonna nõukogu magistrikomisjon

- **Vadim Boltruško** „Theory of vibronic transitions between states with hard and soft local phonon dynamics“ („Vibroonsiirete teooria jäiga ja pehme lokaalse foonondünaamikaga seisundite korral“). Eriala: teoreetiline füüsika (TÜ FKTF). Juhendaja: Vladimir Hižnjakov (f.-m.dr, TÜ emeriitprofessor, TÜ FI vanemteadur). Oponendid: Nikolai Kristoffel (f.-m.dr, TÜ emeriitprofessor, TÜ FI vanemteadur), Olev Sild (f.-m.knd, TÜ FI vanemteadur).
- **Els Heinsalu** „Diffusion and coherence of Brownian particles in tilted periodic potentials“ („Browni osakeste difusioon ja koherentsus kallutatud perioodilistel potentsiaalidel“). Eriala:

teoreetiline füüsika (TÜ FKTF). Juhendajad: Teet Örd (f.-m.knd, TÜ FKTF dotsent), Risto Tammelo (f.-m.dr, TÜ FKTF professor). Oponendid: Romi Mankin (f.-m.knd, TPÜ professor), Jaan Kalda (f.-m.knd, TTÜ KübI vanemteadur).

- **Vigen Issahhanjan** „Виртуальный ЭПР спектрометр и его использование на примере кристалла MgO:Be“ („VirtualEPR Spectrometer’ ja tema kasutus MgO:Be kristalli näitel“). Eriala: tahkisefüüsika (TÜ FKMF). Juhendaja: Tiit Kärner (f.-m.knd, TÜ FI vanemteadur). Oponendid: Lembit Pung (f.-m.dr, TÜ FKEF vanemteadur), Eduard Feldbach (f.-m.knd, TÜ FI vanemteadur).
- **Erko Jakobson** „Atmosfääri veeaurusisalduse parametriseerimine Läänemere regioonis“. Eriala: keskkonnafüüsika (TÜ FKKF). Juhendaja: Hanno Ohvril (f.-m.knd, TÜ FKKF dotsent). Oponendid: Viivi Russak (f.-m.knd, PhD geograafias, TO teadur), Marko Vana (PhD keskkonnafüüsikas, TÜ FKKF lektor).
- **Raavo Josepson** „Negatiivne koroona N<sub>2</sub> + O<sub>2</sub> segudes“. Eriala: optika ja spektroskoopia (TÜ FKEF). Juhendaja: Matti Laan (f.-m.knd, TÜ FKEF dotsent). Oponendid: Märk Aints (f.-m.knd, TÜ FKEF vanemteadur), Aleksei Treštšalov (f.-m.knd, TÜ FI vanemteadur).
- **Veera Krasnenko** „Photophysics of Green and Blue Fluorescent Proteins“ („Rohelise ja sinise fluorestseeruva proteiini fotofüüsika“). Eriala: optika ja spektroskoopia (TÜ FKMF). Juhendaja: Koit Muring (f.-m.knd, TÜ FI vanemteadur). Oponendid: Jaak Kikas (f.-m.knd, TÜ FKMF professor), Kõu Timpmann (f.-m.knd, TÜ FI vanemteadur).
- **Mehis Kuusik** „Täppistakistustermomeetrite stabiilsuse uurimine“. Eriala: rakendusfüüsika (TÜ FKEF). Juhendaja: Toomas Kübarsepp (tehnikadoktor, AS Metrosert etaloniteenuste divisjoni juht). Oponendid: Olev Saks (PhD füüsikas, TÜ peametroloog), Viktor Vabson (AS Metrosert teadur-etalonihoidja).
- **Aleksandr Lissovski** „Spectroscopic diagnostics of pulsed discharge in high-pressure rare gas mixtures“ („Impulsslahenduse spektroskoopiline diagnostika kõrgrõhulistes inertgaasisegudes“). Eriala: optika ja spektroskoopia (FKEF). Juhendaja: Aleksei Treštšalov (f.-m.knd, TÜ FI laborijuhataja). Oponendid: Viktor Peet (f.-m.knd, TÜ FI vanemteadur), Matti Laan (f.-m.knd, TÜ FKEF dotsent).

- **Markko Paas** „Metsa kiirgusrežiimi uurimine CCD-radiomeetriga. Digitaalpiltide radiomeetriline korrektsioon“. Eriala: keskkonnafüüsika (TÜ FKKE). Juhendaja: Andres Kuusk (PhD geofüüsikas, TO vanemteadur). Oponendid: Uno Veismann (f.-m.knd, TO vanemteadur), Aare Luts (PhD keskkonnafüüsikas, TÜ FKKE teadur).
- **Birgot Paavel** „Peipsi järve vee optilised omadused“. Eriala: keskkonnafüüsika (TÜ FKKE). Juhendaja: Anu Reinart (PhD, TO teadur), Hanno Ohvril (f.-m.knd, TÜ FKKE dotsent). Oponendid: Uno Veismann (f.-m.knd, TO vanemteadur), Helgi Arst (f.-m.knd, geofüüsikadoktor, TÜ mereinstituudi vanemteadur).
- **Anna Pugatšova** „Atmosfääriaerosooli mõõtmespektri iseloomu ja osakeste kogukontsentratsiooni seose uurimine õhumassi päritoluga“. Eriala: keskkonnafüüsika (TÜ FKKE). Juhendaja: Eduard Tamm (f.-m.knd, TÜ FKKE vanemteadur). Oponendid: Ülle Kikas (PhD, TÜ FKKE teadur), Matti Mõttus (MSc, TO teadur).
- **Martti Pärs** „Konfokaalne mikroskoopia üksikute kiirgustsentrite detekteerimiseks“. Eriala: tahkisefüüsika (TÜ FKMF). Juhendaja: Viktor Palm (f.-m.knd, TÜ FI teadur). Oponendid: Kaido Reivelt (PhD, TÜ FI teadur), Koit Muring (f.-m.knd, TÜ FI vanemteadur).
- **Leho Roots** „Alalispinge teravikkoroona fotoioniseeriva kiirguse neeldumine õhus“. Eriala: optika ja spektroskoopia (TÜ FKEF). Juhendaja: Ants Haljaste (f.-m.knd, TÜ FKEF vanemteadur). Oponendid: Uno Veismann (f.-m.knd, TO vanemteadur), Jaan Susi (f.-m.knd, TÜ FKMF lektor).

#### **Tartu Ülikooli keemiaosakonna nõukogu magistrikomisjon**

- **Kristi Õige** „Optimisation of oxygen-sensitive layer for fibre-optical sensor“ („Fiberoptilise anduri hapnikutundliku kihi optimeerimine“). Eriala: füüsikaline ja analüütiline keemia. Juhendajad: Artur Suisalu (TÜ FI), Tea Avarmaa (TÜ FI), Lilli Paama (TÜ keemiaosakond). Retsensent: Koit Muring (TÜ FI).

#### **Tallinna Pedagoogikaülikooli füüsika magistrinõukogu**

- **Kristiina Paunel** „Värvilise müra poolt indutseeritud üleiminekud sümbiootilistes ökosüsteemides“. Juhendaja prof Romi

Mankin. Oponent Cand Sc TTÜ dotsent Erik Reiter.

- **Marina Fatejeva** „Investigation of the Kirkendall Effect in the Ternary Systems of Co-Ni-Fe and Cu-Ni-Fe“ („Kirkendalli efekti uurimine kolmekomponendilistes metallisüsteemides Co-Ni-Fe ja Cu-Ni-Fe“). Juhendaja prof Ülo Ugaste. Oponent PhD füüsikas TPÜ dotsent Tõnu Laas.

#### **Tallinna Pedagoogikaülikooli füüsika didaktika magistrinõukogu**

- **Olga Kuzmina** „Õpilaste füüsikaliste mõistete kujunemine füüsikatunnis“. Juhendaja prof Ülo Ugaste. Oponent MA füüsika didaktikas Tallinna Reaalkooli õpetaja Mart Kuurme.

#### **Tallinna Tehnikaülikooli matemaatika-loodusteaduskonna magistrikomisjon**

- **Marek Vilipuu** „Raskuskiirenduse kordusmõõtmiste tulemuste analüüs Põltsamaa-Lelle profiilil“. Juhendaja Joel Paesalu (TTÜ füüsikainstituudi lektor). Retsensendid Harli Jürgenson (EPMÜ Maamõõdu Instituudi dotsent) ja tehnikateaduste kandidaat Heldur Sildvee.
- **Jaanika Sirkel** „Gümnaasiumi ja ülikooli õppeinformatsiooni sidumine (reaalainete näitel)“. Juhendaja Ahto Lõhmus (TTÜ matemaatikainstituudi dotsent). Retsensendid Arvo Mere (TTÜ füüsikainstituudi lektor) ja Ebu Tamm (TTÜ matemaatikainstituudi dotsent).
- **Margo Mäits** „Kõverjoonte ja kõverpindade arvutigraafiline käsitlus kujutavas geomeetrias“. Juhendaja Harri Annuka (TTÜ insenerigraafika keskuse dotsent). Retsensendid Vello Vainola (TTK mehaanikateaduskonna dekaan) ja Leo Türn (TTÜ insenerigraafika keskuse lektor).
- **Kerd Kaarus** „Spinni 2 relativistlikud lainevõrrandid“. Juhendaja prof Rein-Karl Loide (TTÜ füüsikainstituut). Retsensendid prof Eugen Paal (TTÜ matemaatikainstituut) ja dots Pavel Suurvarik (TTÜ füüsikainstituut).

#### **Helsinki Ülikooli kasvatusteaduste teaduskonna rakendusteaduste osakonna litsensiaadikomisjon**

- **Tiiu Lember** „The Renewal of Physics Curriculum in Estonia: Historical Changes in Physics Curriculum in Estonia“ („Füüsika

õppekava uuendamine Eestis: ajaloolised muutused füüsika õppekavas Eestis“). Eriala: kasvatusteadused. Juhendaja: prof Jari Lavonen (Helsinki Ülikool). Oponendid: dr Katrin Niglas ja prof Kaarle Kurki-Suonio.

### III. ÕPPETÖÖ

- TÕ füüsika-keemiateaduskonnas viidi sisse üliõpilaste lävendipõhine vastuvõtt. Füüsika ja materjaliteaduse erialade lävi oli 23 punkti 40st, infotehnoloogias (FK) 28 punkti 40st. Keskkonnatehnoloogia (FK) erialal lävendipõhist vastuvõttu ei rakendatud. Füüsika erialal oli riiklik koolitustellimus 34, avaldusi laekus 224 ja immatrikuleeriti 63. Materjaliteaduse erialal olid vastavad arvud 30, 187 ja 82 ning infotehnoloogia (FK) erialal 29, 98 ja 31. Keskkonnatehnoloogia (FK) erialal, kus 20 riigieelarvelist kohta täideti konkursi korras, oli laekunud avaldusi 133 ja sissesaamise piir 23,7 punkti 40st. Lisaks immatrikuleeriti riigieelarvevälistele kohtadele füüsika erialal 3, infotehnoloogia (FK) erialal 7, materjaliteaduse erialal 1 ja keskkonnatehnoloogia (FK) erialal 5 üliõpilast.
- TÕ doktoriõppesse füüsika erialal võeti järgmised 14 õppurit:

Nimi	Õppetool (instituut)	Juhendaja(d)
Vadim Boltruško	stat. füüs. ja kvantteooria (TF)	Vladimir Hižnjakov
Alina Braziulene	füüsikaharidus (KEK, ME)	Henn Voolaid
Els Heinsalu	stat. füüs. ja kvantteooria (TF)	Martti Raidal, Teet Örd
Vigen Issahhanjan Erko Jakobson	tahkisefüüsika (MF) keskkonnafüüsika (KF)	Tiit Kärner Hanno Ohvril
Raavo Josepson	optika ja spektroskoopia (EF)	Matti Laan
Kuno Kooser Veera Krasnenko	tahkisefüüsika (MF) korrastamata süst. füüsika (MF)	Arvo Kikas Koit Mauring



Aleksandr Lissovski	optika ja spektroskoopia (EF)	Aleksei Treštšalov
Anna Pugatšova	keskkonnafüüsika (KF)	Eduard Tamm
Martti Pärs	korrastamata süst. füüsika (MF)	Jaak Kikas
Leho Roots	optika ja spektroskoopia (EF)	Ants Haljaste
Ly Sõõrd	füüsikaharidus (KEK, ME)	Henn Voolaid
Rainer Taniloo	rakendusfüüsika (EF)	Kalev Tarkpea

- TÜ magistriõppesse füüsika erialal (4+2) võeti järgmised õppurid:

Nimi	Õppetool (instituut)	Juhendaja(d)
Reina Henn	füüsikaharidus (MF)	Henn Voolaid
Kadri Hillermaa	teoreetiline füüsika (TF)	Lembit Sossi
Kari Hinnov	füüsikaharidus (EF)	Kalev Tarkpea
Kadri Isakar	keskkonnafüüsika (KF)	Enn Realo
Julija Ivlijeva	rakendusfüüsika-BM (EF)	Arved Vain
Aleksei Kirillov	rakendusfüüsika-IT (EF)	Mihhail Danilkin
Marju Kleemann	tahkisefüüsika (MF)	Artur Suisalu
Aret Leetsaar	rakendusfüüsika-IT (EF)	Tõnis Eenmäe
Madis Lobjakas	rakendusfüüsika (EF)	Ants Lõhmus, Rünno Lõhmus
Imre Mäger	rakendusfüüsika-BM (EF)	Peet-Henn Kingisepp, Jüri Vedru
Natalja Ovetško	rakendusfüüsika-BM (EF)	Jüri Vedru

Mariann Reissaar	füüsikaharidus (MF)	Henn Voolaid
Dmitri Troškov (IT)	optika ja spektroskoopia (EF)	Arvi Freiberg
Heli Valtna	optika ja spektroskoopia (EF)	Peeter Saari
Artjom Vargunin	teoreetiline füüsika (TF)	Risto Tammelo
Urmas Vesi	rakendusfüüsika (EF)	Rünno Lõhmus

---

- TÜ füüsikaosakonna infotehnoloogia magistriõppesse (3+2) võeti vastu Risto Rahu (juhendaja Eero Vainikko) ja Henri Valdmann (juhendaja Aadu Mirme).
- TÜ füüsika õpetajakoolitusse (3+2) võeti vastu Riina Leet (juhendaja Henn Voolaid) ja Marika Paas (juhendaja Henn Voolaid).
- Tartu Ülikooli füüsikaosakonna põhiõppe lõpetasid:
  - füüsika erialal:
    - \* Marina Aleksejeva
    - \* Egle Audova
    - \* Sergei Burak
    - \* Kadri Hillermaa
    - \* Kadri Isakar
    - \* Julija Ivlijeva
    - \* Laur Kelder
    - \* Aleksei Kirillov
    - \* Raul Kivimäe
    - \* Aret Leetsaar
    - \* Imre Mäger
    - \* Reet Ollik
    - \* Nigul Olspert
    - \* Natalja Ovetško
    - \* Sigrid Rootsmaa
    - \* Irina Smirnova
    - \* Kristian Sägi
    - \* Heli Valtna
    - \* Artjom Vargunin – *cum laude*

- infotehnoloogia erialal:
  - \* Artur Assor
  - \* Janar Haidak
  - \* Mihhail Karutin
  - \* Inga Lentsius
  - \* Kairit Mikkell
  - \* Tarmo Needo
  - \* Jaan Oder
  - \* Bret Pellenen
  - \* Priit Raag
  - \* Martin Vahi
  - \* Henri Valdmann
  - \* Timo Vennik
  - \* Ando Viispert
- füüsikalise infotehnoloogia erialal:
  - \* Eero Korol
- materjaliteaduse erialal:
  - \* Relika Alliksaar
  - \* Marju Kleemann
  - \* Kertriin Paabo
  - \* Anni Ruudi
- õpetajakoolitus:
  - \* Marina Aleksejeva
  - \* Alexandra Korchounova
  - \* Irina Smirnova
- Tartu Ülikooli füüsikaosakonna magistriõppe infotehnoloogia erialal (3+2) lõpetasid Kuldar Aas ja Andero Belov.
- Tartu Ülikooli füüsikaosakonna õpetajakoolituse (3+2) lõpetasid Natalia Nazarova ja Nadežda Liss.
- TTÜ füüsikainstituudi juures õppisid:
  - doktorantuuris:
    - \* Enli Kipli, juhendaja prof A. Soesoo
    - \* Tambet Lember, juhendaja prof J. Elken
    - \* Andri Jagomägi, juhendaja prof J. Krustok
    - \* Reedik Kuldkepp, juhendaja prof A. Soesoo
    - \* Tõnis Oja, juhendaja prof R.-K. Loide
    - \* Dan Hüvonen, juhendajad U. Nagel ja T. Rõõm (KBFI)
    - \* Ove Pärn, juhendaja prof J. Elken

- \* Veljo Sinivee, juhendaja prof R.-K. Loide
- \* Jaak Toomela, juhendaja dots M. Klopov
- \* Gennadi Lessin, juhendaja van.teadur U. Raudsepp (TTÜ MSI)
- magistratuuris:
  - \* Ahto Kuusk, juhendaja dots M. Klopov
  - \* Mario Mars, juhendaja vanemteadur V. Harvig
  - \* Svetlana Vassiljeva, juhendaja vanemteadur U. Raudsepp (TTÜ MSI)
  - \* Mario Kadastik, juhendaja vanemteadur M. Raidal (KBFI)
- TTÜ lõpetasid tehnilise füüsika õppesuunal loodusteaduse bakalaureuse kraadiga:
  - Jelena Bepalova
  - Annika Kriisa
  - Riina Rõa
  - Kert Tamm
  - Mario Kadastik
  - Liis Rebane
  - Edith Soosaar
  - Alo Uus
- Tallinna Pedagoogikaülikoolis õpivad magistratuuris:
  - Jaanis Priimets, juhendaja TPÜ prof Ülo Ugaste
  - Rainer Randmeri, juhendaja TTÜ vanemteadur Tarmo Soomere
  - Marko Reedik, juhendaja TTÜ vanemteadur Madis-Jaak Lilover
  - Anneli Roode, juhendaja TPÜ prof Ülo Ugaste
  - Erkki Soika, juhendaja TPÜ prof Romi Mankin
  - Rando Tuvikene, juhendaja TPÜ professor Kalle Truus
- TPÜ bakalaureuseõppe füüsikaõpetaja erialal lõpetasid Liisi Rääim ja Erkki Soika.
- Üliõpilaste teadustööde riikliku konkursi preemiad said:
  - täppisteaduste valdkonnas:
    - \* II preemia Heli Valtna (TÜ) – „Fokuseeritud X-laine kui tugevalt lokaliseeritud laialivalgumatu valgusimpulss“;

- \* Eripreemia Aleksei Krasnikov (TÜ) – „Spectroscopy of rare-earth-ions-containing phosphate glasses as perspective materials for scintillators“ („Haruldaste muldmetallide ioonesisaldavate fosfaatklaaside kui perspektiivsete stsintillatsioonimaterjalide spektroskoopia“);
- \* Eripreemia Katrin Teras (TPÜ) – „Stohhastiline resonants“;
- \* Diplomi Madis Ratasseppe (TTÜ) – „Kajasignaalide hajumine silindrilistel koorikutel“;
- tehnikateaduste valdkonnas:
  - \* Diplomi Riho Tarbe (TTÜ) – „Pulberpindede teisese kõvasulami baasil“;
  - \* Diplomi Liina Kaupmees (TTÜ) – „Elektrokeemiliselt sadestatud CuInSe<sub>2</sub> kilede koostise ja morfoloogia uurimine“;
  - \* Diplomi Valter Reedo (TÜ) – „Madaladimensiooniliste optiliste materjalide valmistamine sool-geelmeetodil“;
- bio-geoteaduste valdkonnas:
  - \* Diplomi Peeter Somelar (TÜ) – „Segakihilise illiit-smektiidi morfoloogia ja struktuuri uurimine teravikmikroskoopia ja röntgenstruktuuranalüüsi meetoditega: Kinnele K-bentoniidi illitiseerumise mehhanism Balti Basseinis“.
- TÜ Füüsika Instituudi magistrandistipendiumi said Vigen Issahanjan (juh Tiit Kärner) ja Veera Krasnenko (juh Koit Muring) ning bakalaureusestipendiumi Sergei Vlasov (juh Ants Lõhmus) ja Marju Kleeman (juh Artur Suisalu).
- 27. septembril määrati Ernst Julius Öpiku nimeline stipendium Tartu Ülikooli doktorandile Mari Burmeistrile.
- Eesti Rahvuskultuuri Fondi Heino Eelsalu allfondi stipendium anti Ken Kallingule Kaitseväe Ühendatud Õppeasutustest.

#### IV. TEADUSÜRITUSED EESTIS

- 22.–24. jaan toimus Tallinnas KBFI-s rahvusvaheline nõupidamine NorduGrid-i projekti raames. NorduGrid on Põhjamaades

arendatav arvutusvõimsuste ja salvestusmahtude ühendamise projekt (lisainfo [www.nordugrid.org](http://www.nordugrid.org)).

- 13. ja 14. veebr korraldas Eesti Füüsika Selts TÜ füüsikahoones Eesti XXXIV füüsikapäevad. Esitati 12 suulist ja 10 stendiettekan-  
net.
- 15. märtsil toimus Tartus TÜ Füüsika Instituudis NORFA finant-  
seeritava koostöövõrgustiku nõupidamine „Sünkrotronkiirgusel  
baseeruv elektronspektroskoopia“ („Synchrotron-based elect-  
ron spectroscopy“). Korralduskomiteed juhtis Arvo Kikas (TÜ  
FI), osavõtjaid oli 20 (Eesti, Norra, Rootsi, Taani). TÜ FI töötajad  
esitasid 2 suulist ja 3 stendiettekan-  
net.
- 24. märtsil toimus TÜ füüsikahoones XXVI füüsikaõpetajate  
päev. Registreeritud osavõtjaid oli 62. Otsustati Koolifüüsika  
Ühingu asemele luua EFS koolifüüsika osakond ning edaspidi  
ühendada füüsikaõpetajate päev EFS füüsikapäevadega.
- 25. märtsil toimus TÜ füüsikaosakonnas seminar tähistamaks  
200 aasta möödumist Tartust pärit maailmakuulsa füüsiku  
Heinrich Friedrich Emil Lenz'i sünnist. Ettekannetega esinesid  
Ivar Piir („Emil Lenz'i elust ja tööst“) ning Kalev Tarkpea („Lenzi  
reegel kui looduse fundamentaalprintsip (demokatsetega“).
- 13. apr toimus Eesti Teaduste Akadeemia hoones Eestist päri-  
neva XX sajandi silmapaistvaima optiku Bernhard Schmidt'i 125.  
sünniaastapäevale pühendatud seminar. Ettekannetega esinesid  
Mihkel Veiderma, Tõnu Viik, Mihkel Jõeveer, Uno Veismann ja  
Vahur Mägi.
- 19.–21. apr toimus Tartus rahvusvaheline seminar „Baltic  
HIRLAM application to NORFA“, teemaks Läänemere piirkon-  
na riikide koostöö atmosfääri dünaamika ja numbrilise ilmaen-  
nustuse alal. Osavõtjaid oli 10 (sh Soomest, Venemaalt, Leedust,  
Rootsist), esitati 10 ettekannet. Korraldaja prof Rein Rõõm (TÜ  
FKKF).
- 20.–21. apr toimus Tõraveres GOODS-i projektile (*The Great Ob-  
servatories Origins Deep Survey*) pühendatud Tartu ja Tuorla Ob-  
servatooriumi ühisseminar. Esitati 12 ettekannet.
- 14. mail toimus Eesti Elektroonikaühingu ja Tallinna Tehnika-  
ülikooli ühiskorraldusel XI rahvusvahelise telekommunikatsioo-  
nipäeva konverents „Elektroonika 2004“. Konverentsi juhatas  
Uljas Tamm Tallinna Tehnikaülikoolist.

- 30. maist 1. juunini toimus Pühajärvel rahvusvaheline (Soome-Eesti) seminar atmosfääriaerosooli osakeste mõõtmespektri ja aeroioonide liikuvusspektri kujunemise ja arengu teemal („Finnish-Estonian ion workshop“), millest võttis osa 28 teadlast, sh 13 Soomest 8 ettekandega. TÜ keskkonnanfüüsika instituudi töötajatelt oli üks 30-minutiline ettekanne ja kaheksa 20-minutilist ettekannet. Korraldaja Eduard Tamm (TÜ FKKF).
- 7.–8. maini korraldas Tartu Observatoorium Tartus ajakirja „Astronomy and Astrophysics“ direktorite nõukogu traditsioonilise aastakoosoleku. Koos kirjastajate ja toimetajatega ulatus koosolekust osavõtjate arv ligi 30-ni, paljud neist külastasid ka observatooriumi Tõraveres.
- 2.–5. juunini toimus Käärikul sünkrotronkiirguse suvekool („Synchrotron Radiation Summer School“), kus oli 39 osavõtjat (Eesti, Soome, Rootsi, Ungari), eesti teadlased esitasid 4 suulist ja 2 stendiettekannet. Korralduskomitee: Ergo Nõmmiste (TÜ FI), Edvin Kukk (Oulu Ülikool).
- 18.–20. juunini korraldasid EFS noorfüüsikud Türisalu Puhkeskuses noorfüüsikute II suvekooli kõigile füüsikahuvilistele.
- 6.–9. juulini toimus Tartus IV rahvusvaheline kaasaegsete optikamaterjalide ja -seadiste alane konverents (*The Fourth International Conference on Advanced Optical Materials and Devices, AOMD-4*), milles osales 95 teadlast Eestist, Iisraelist, Lätist, Leedust, Poolast, Prantsusmaalt, Rootsist, Saksamaalt, Soomest, USA-st ja Venemaalt. Korralduskomitee koosseis: Alar Gerst, Raivo Jaaniso, Arnold Rosental (esimees), Ilmo Sildos, Liivia Sildos, Aivar Tarre, Imbi Tehver (kõik TÜ FI). TÜ FI teadlased esitasid 14 ettekannet.
- 11.–16. juulini toimus Riias Läti Ülikoolis Läti Ülikooli Tahkisefüüsika Instituudi ja TÜ FI ühisel organiseerimisel XV rahvusvaheline konverents „Defektid dielektrilistes materjalides“ (*The 15th International Conference on Defects in Insulating Materials, ICDIM-2004*). Korralduskomitee kaasesimehed olid prof A. Luštšik (TÜ FI) ja prof I. Tale (Läti Ülikool), korralduskomiteesse kuulusid TÜ FI-st T. Kärner, V. Nagirnõi ja S. Zazubovitš. Konverentsi materjalid avaldatakse ajakirjas Phys. Stat. Solidi (c), külalistoimetajateks A. Luštšik, S. Zazubovitš ja I. Tale. Konverentsil oli 235 osavõtjat 30 riigist.

- 8.–10. okt toimus TÜ Kääriku Spordi- ja puhkekeskuses Eesti Füüsika Seltsi noorte füüsikute VI sügiskool, osavõtjaid oli 57. Organiseerijad: Margus Saal (TÜ FI), Andi Hektor (KBFI) ja Arvo Kikas (TÜ FI).
- 26. okt toimus TÜ Füüsika Instituudis seminar, mis oli pühendatud tuumasünteesi programmile „European Fusion Programme“ ja eesti teadlaste võimalikule osalusele selles programmis. Ülevaateettekande „European Fusion Programme“ esitas dr Barry Green (*Scientific Officer, EU Directorate-General for Research*). Eesti teadlaste osalusperspektiividest kõnelesid Aleksandr Luštšik (TÜ), Matti Laan (TÜ), Ülo Ugaste (TPÜ) ja Karl Rebane (TÜ FI ja ETA).
- 11. nov toimus Eesti Põllumajandusülikoolis Eesti säästliku arengu edendamisele pühendatud konverents „Taastuvate energiaallikate uurimine ja kasutamine VI“, korraldajateks Eesti Biokütuste Ühing (Meeli Hüüs), EPMÜ (Valdur Tiit), Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium ning SA Archimedes (Maria Habicht).
- 14. dets toimus Tartu Ülikoolis seminar, mis pühendatud Eesti TA liikme, füüsikadoktori professor Paul Kardi 90ndale sünniaastapäevale. Ettekande „Meenutades Paul Kardi (15.12.1914 – 3.09.1985)“ esitas Ivar Piir.

## V. TEADUSTÖÖ

- Pikaajalise tulemusliku teadus- ja arendustöö eest pälvis riigi teaduspreemia TÜ Füüsika Instituudi erakorraline vanemteadur, akadeemik, füüsika-matemaatikadoktor Tšeslav Luštšik.
- Riigi teaduspreemia said:
  - täppisteaduste alal TÜ Füüsika Instituudi erakorraline vanemteadur, füüsika-matemaatikadoktor, emeriitprofessor Nikolai Kristoffel ja TÜ füüsika-keemiateaduskonna dotsent, füüsika-matemaatikakandidaat Teet Örd tööde tsükli „Magneesiumdiboriidi ülijuhtivuse mehhanism“ eest;
  - geo- ja bioteaduste alal TTÜ Meresüsteemide Instituudi vanemteadur geofüüsikadoktor Helgi Arst tööde tsükli „Mittekomponendiliste looduslike vete optilised omadused ja veealune valgusväli“ eest;



- tehnikateadusete alal TTÜ Küberneetika Instituudi mehaanika ja rakendusmatemaatika osakonna vanemteadur füüsika-matemaatikakandidaat Arkadi Berezovski töö „Faasiirdefrondid martensiitsetes tahkistes“ eest.
- TÜ FI tuumaspektroskoopia labori juhataja dr Enn Realo sai EV haridus- ja teadusministri preemia.
- Tartu Linna Volikogu andis Tartu linna aukodaniku nimetuse ning sellega kaasneva Tartu Suurtähe TO vanemteadurile akad Jaan Einastole.
- Maikuu valiti TÜ füüsikaosakonna vilistlane Edwin Kukk (PhD Oulu Ülikoolis 1996.a) Turu Ülikooli materjaliteaduse korraliseks professoriks alates 1. sept 2004.
- Septembris pälvis TÜ molekulaartechnoloogia doktorant Tanel Tätte (juh Ants Lõhmus, TÜ FI) Hispaanias nanotehnoloogia uute suundade konverentsil (*Trends in Nanotechnology*, Segovia, 13-17 Sept) diplomi ja preemia oma ettekande eest.
- 1. okt tähistati pidulikult Tõraveres uue observatooriumi avamise 40. aastapäeva. Aastapäeva jäävad meenutama tänukirjad Haridus- ja Teaduministeeriumilt ning Eesti Teaduste Akadeemialt.
- Oktoobris said erinevate valdkondade tippteadlasi ühendava Euroopa Akadeemia (*Academia Europaea*) liikmeteks Tartu Ülikooli rektor Jaak Aaviksoo, Eesti TA president Jüri Engelbrecht, Eesti haridusminister prof Toivo Maimets ja TÜ eetikakeskuse juhataja prof Margit Sutrop. Juba varasemast ajast kuuluvad liikmeskonda Eesti TA akadeemikud Karl Rebane ja Jaan Einasto ning TTÜ füüsikalise geoloogia professor Rein Vaikmäe.

**Teadus- ja arendusasutuste sihtfinantseeritavaid teadusteemasid  
2004. aastal  
Tartu Ülikool**

1. Jaak Aaviksoo – Kiirguse, plasma ja tahkise vastasmõju optilis-spektroskoopilised uuringud (0181791s01)  
2001–2005, 802 000 kr
2. Lembit Pung – Laia keelutsooniga dielektriliste ja optiliste materjalide süntees ja füüsikalised omadused (0182134s02)  
2002–2006, 675 000 kr

3. Rein Rõõm – Atmosfääriprotsesside dünaamiline ja statistiline modelleerimine (0182133s02)  
2002–2006, 2 009 000 kr
4. Agu Laisk – Taimede fotosüntees ja selle seos keskkonnatingimustega (0182535s03)  
2003–2007, 1 110 000 kr
5. Rein Tamsalu – Läänemere ja Eesti suurjärvede ökosüsteemi matemaatiline modelleerimine ning operatiivse prognoosimudeli koostamine (0182589s03)  
2003–2007, 1 040 000 kr
6. Risto Tammelo – Stohhastilised protsessid mittetasakaalulistes füüsikalistes süsteemides (0182647s04)  
2004–2008, 820 000 kr

#### **TÜ Füüsika Instituut**

1. Enn Realo – Eesti keskkonna radioaktiivsus ja kiirgusdoos (0382144s02)  
2002–2006, 735 000 kr
2. Vladimir Hižnjakov – Aine süvastruktuuri teooria (0382145s02)  
2002–2006, 2 473 000 kr
3. Peeter Saari – Laserfüüsika ja laseroptilised tehnoloogiad (0382146s02)  
2002–2006, 2 145 000 kr
4. Aleksandr Luštšik – Fundamentaalnähtused laia keelutsooniga materjalides ja nende rakendusperspektiivid (0382148s02)  
2002–2006, 3 073 000 kr
5. Kristjan Haller – Nanostruktuursed materjalid (0382149s02)  
2002–2006, 2 569 000 kr
6. Jaak Kikas – Valgustundlike materjalide laserspektroskoopia ja nende rakendused (0382150s02)  
2002–2006, 2 050 000 kr
7. Arvi Freiberg – Biofüüsikalised elementaarprotsessid ja nende dünaamika (0382147s02)  
2002–2006, 1 143 000 kr

#### **Tallinna Tehnikaülikool**

1. Urve Kallavus – Ainete ja materjalide struktuuriuuringud (0141752s01)  
2001 – 2005, 601 000 kr

2. Andres Õpik – Elektrit juhtivate polümeeride omaduste ja kasutamise võimaluste uurimine mitmekihilistes struktuurides (0142080s02)  
2002 – 2005, 733 000 kr
3. Priit Kulu – Pihustus- ja sadestuspinded (materjalid, tehnoloogia, omadused) (0142082s02)  
2002 – 2005, 1 200 000 kr
4. Hiie Hinrikus – Bioelektriliste signaalide interpreteerimine (0142084As02)  
2002 – 2006, 891 000 kr
5. Malle Krunk – Nano ja submikroonsete kilede keemia ning tehnoloogia (0142515s03)  
2003 – 2007, 536 000 kr
6. Enn Mellikov – Pooljuhtpäikesenergeetika materjalide keemia, füüsika ja tehnoloogia (0142516s03)  
2003 – 2007, 1 647 000 kr
7. Ülo Rudi – Disperssete (gaas-tahked osakesed) vooluste teooria arendamine ja rakendused energeetikas (0812526s03)  
2003 – 2007, 936 000 kr

#### **TTÜ Meresüsteemide Instituut**

1. Jüri Elken – Läänemere vee- ja ainevahetusprotsessid muutuvates kliimatingimustes (0822522s03)  
2003 – 2007, 1 226 000 kr
2. Tarmo Soomere – Rannikumere dünaamika ja optika (0822523s03)  
2003 – 2007, 1 002 000 kr

#### **Tartu Observatoorium**

1. Jaan Einasto – Struktuuride areng Universumis kaugest minevikust tänapäevani (0062465s03)  
2003 – 2007, 2 300 000 kr
2. Tõnu Kipper – Tähtede ehitus, keemiline koostis ja evolutsioon (0062464S03)  
2003 – 2007, 2 589 000 kr
3. Tiit Nilson – Eesti ning Balti regiooni keskkonna optilise kaugseire alused (0062466s03)  
2003 – 2007, 2 070 000 kr

**Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut**

1. Endel Lippmaa – Keemiline spektraalfüüsika (0222598s03)  
2003 – 2007, 5 508 000 kr

\* \* \*

**Eesti Teadusfondi uurimistoetused 2004. aastal**

**1.3. Füüsika**

1. Aabloo, Alvo – TÜ Füüsika Instituut  
Modelleerimise kasutamine polümeeride interfeisside uurimisel (4513)  
2001–2004, 100 000 kr
2. Aben, Hillar – TTÜ Küberneetika Instituut  
Mittelineaarne integraalne fotoelastsusmeetod (4972)  
2002–2005, 100 000 kr (kaasfinantseeritakse tehnikateadustes)
3. Aints, Märt – Tartu Ülikool  
Mitteiseseisva lahenduse optiliste ja elektriliste karakteristikute uurimine (5675)  
2004–2006, 70 000 kr
4. Danilkin, Mihhail – Tartu Ülikool  
Luminesentsnähtused korrastatud mittehomogeensetes tahketes lahustes (5779)  
2004–2007, 50 000 kr (kaasfinantseeritakse keemias ja molekulaarbioloogias)
5. Heinmaa, Ivo – Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut  
Kõrglahutusega tahke keha TMR madalatel temperatuuridel proovikeha maagilisel pöörlemisel (5550)  
2003–2005, 80 000 kr
6. Hižnjakov, Vladimir – TÜ Füüsika Instituut  
Tahkiste mittelineaarne kvantdünaamika: lokaliseeritud ergastused korrastatud ja korrastamata süsteemides (5023)  
2002–2004, 170 000 kr
7. Jaaniso, Raivo – TÜ Füüsika Instituut  
Edendatud funktsionaalsete materjalide lasersadestus (6010)  
2004–2006, 200 000 kr (kaasfinantseeritakse tehnikateadustes)

8. Kalda, Jaan – TTÜ Küberneetika Instituut  
Iseorganiseeruvalt kriitiliste dünaamiliste dissipatiivsete süsteemide statistiline topograafia (5036)  
2002–2004, 55 000 kr (kaasfinantseeritakse tehnikateadustes)
9. Kikas, Arvo – TÜ Füüsika Instituut  
Röntgenenergastuste kiirguslik ja mittekiirguslik lagunemine tahkistes, kiledes ja molekulides (5024)  
2002–2004, 210 000 kr
10. Kikas, Jaak – TÜ Füüsika Instituut  
Ühismõõduta faaside optiline spektroskoopia (5544)  
2003–2006, 285 000 kr
11. Kink, Ilmar – TÜ Füüsika Instituut  
Heterogeensete materjalide ruumiliste nanostruktuuride omadused (5545)  
2003–2004, 110 000 kr
12. Kõnsin, Peet – TÜ Füüsika Instituut  
Elektrivälja ja fotoindutseeritud efektid ferroelektrik-üljuhtstruktuurides (5025)  
2002–2004, 65 000 kr
13. Kristoffel, Nikolai – TÜ Füüsika Instituut  
Korrastused dopingmuutlike energiaspektritega üljuhitudes (4961)  
2002–2004, 140 000 kr
14. Kropman, Daniel – Eesti Mereakadeemia  
Süsteemi Si-SiO<sub>2</sub> punktdefektide identifitseerimine ja nende mõju uurimine süsteemi omadustele (5727)  
2004–2006, 30 000 kr
15. Krustok, Jüri – Tallinna Tehnikaülikool  
Rekombinatsiooniprotsessid CuInSe<sub>2</sub>-l baseeruvates päikesepanoolides (5149)  
2002–2005, 100 000 kr
16. Kundla, Enn – Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut  
Tuumamagnetilise polarisatsiooni kinemaatika pulbertermostaadis määrava võrrandi lahendi detailsuse sõltuvus võrrandi esitusest (5934)  
2004–2006, 100 000 kr
17. Kuusk, Piret – TÜ Füüsika Instituut  
Stringiteooria, braanikosmoloogia ja aja probleem (5026)  
2002–2005, 70 000 kr

18. Kärner, Tiit – TÜ Füüsika Instituut  
Erinevate kiirguste selektiivne detekteerimine metallioksiidsete ühendite oma- ja lisandluminesentsi abil (5027)  
2002–2004, 305 000 kr
19. Käämbre, Henn – TÜ Füüsika Instituut  
Elektronemissioon ja koroonalahendus metall-dielektriiksüsteemidest (5028)  
2002–2004, 95 000 kr
20. Laan, Matti – Tartu Ülikool  
Laserablatsioon ja aerosooli osakesed (5690)  
2004–2006, 100 000 kr
21. Lippmaa, Endel – Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut  
Multispinn-tuumamagnetresonants – kvantarvutustehnika eksperimentaalne realiseerimine (5132)  
2002–2005, 180 000 kr
22. Luštšik, Aleksandr – TÜ Füüsika Instituut  
Üksikute VUV-footonite poolt laia keelutsooniga kristallides tekitatud ruumiliselt korreleeritud ergastuste või defektide rühmad (5029)  
2002–2004, 370 000 kr
23. Nagel, Urmas – Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut  
Madaladimensioonsete spinnpiluga ainete uurimine ülikõrges magnetväljas (4926)  
2001–2004, 120 000 kr
24. Ots, Ilmar – TÜ Füüsika Instituut  
Kõrgemad spinnid standardmudelil ja väljaspool (4510)  
2001–2004, 85 000 kr
25. Peet, Viktor – TÜ Füüsika Instituut  
Uued laserkimbud ning nende omadused mittelineaarses optikas (5030)  
2002–2004, 155 000 kr
26. Pikver, Rein – Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut  
Negatiivse iooni kineetilise energia fokuseerimise kiirenduspidurdusmeetodi edasine arendamine deprotoneeritud biomolekulaarsete ionide kõrge lahutusega ITR mass spektrite registreerimiseks (5134)  
2002–2004, 25 000 kr (kaasfinantseeritakse tehnikateadustes ja keemias ja molekulaarbioloogias)

27. Realo, Enn – TÜ Füüsika Instituut  
Tehnogeensete radionukliidide migratsiooni ja levi modelleerimine keskkonnas (4691)  
2001–2004, 130 000 kr
28. Rebane, Karl – TÜ Füüsika Instituut  
Foononvabad jooned kui kõrglahutusega spektroskoopia, ühe lisandimolekuli spektroskoopia, spektrite sälkamise nurgakivi (5547)  
2003–2006, 160 000 kr
29. Rosental, Arnold – Tartu Ülikool  
Pinna- ja siirdekihtide mõju laia keelutsooniga oksiidikilede aatomkihtkasvule ja omadustele (5861)  
2004–2007, 350 000 kr (kaasfinantseeritakse tehnikateadustes)
30. Rõõm, Toomas – Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut  
Molekulaarmagnetite magnet-optika (5553)  
2003–2006, 150 000 kr
31. Saari, Peeter – TÜ Füüsika Instituut  
Lokaliseeritud lainete süntees, levi ja muundumine lineaaroptilistes süsteemides (5031)  
2002–2004, 190 000 kr
32. Sammelselg, Väino – TÜ Füüsika Instituut  
Tahkise pinna uurimine teravik- ja sondmeetoditega (5032)  
2002–2005, 140 000 kr (kaasfinantseeritakse tehnikateadustes)
33. Samoson, Ago – Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut  
Dünaamilise rotatsiooniga TMR (4929)  
2001–2004, 115 500 kr (kaasfinantseeritakse keemias ja molekulaarbioloogias ning tehnikateadustes)
34. Sarv, Priit – Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut  
Bimetalsed mesoporsed ja mikroportsed materjalid ja nende uuringud tahke keha tumamagnetresonants (TMR) spektroskoopia meetoditega. (5936)  
2004–2005, 80 000 kr (kaasfinantseeritakse tehnikateadustes)
35. Selg, Matti – Tartu Ülikool  
Eksimeeride ja eksimeerisarnaste tsentrite tekkemehhanismi ning kiirgusliku lagunemise spektroskoopilised uuringud inertgaasides ja inertkristallides (5863)  
2004–2007, 235 000 kr

36. Sildos, Ilmo – Tartu Ülikool  
 Õhukeste metalloksiidkilede ja -fiibrise spektroskoopilised uu-  
 ringud ja uudsed rakendused (5864)  
 2004–2006, 230 000 kr
37. Stern, Raivo – Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut  
 Kvantsiirete tuumaresonantsuuringud mitmesuguse dimensio-  
 naalsusega frustreeritud antiferromagneetilistes spinnpiluga  
 süsteemides (4931)  
 2001–2004, 90 000 kr
38. Stolovitš, Andres – TÜ Füüsika Instituut  
 Elektronide transport ja relaksatsioon madaladimensionaalsetes  
 elektrijuhtides (5033)  
 2002–2005, 115 000 kr
39. Sherman, Aleksei – TÜ Füüsika Instituut  
 Spektraalsete ja magnetiliste omaduste uurimine kahemõõtme-  
 lises tugevalt korreleerivas elektronsüsteemis (5548)  
 2003–2005, 90 000 kr
40. Zazubovitch, Svetlana – TÜ Füüsika Instituut  
 Uute stsintillatsioonimaterjalide aeglahutusega spektroskoopia  
 (5045)  
 2002–2004, 180 000 kr
41. Tehver, Imbi – TÜ Füüsika Instituut  
 Relaksatsiooni ja energia ülekanne tahkistes ja molekulaarsüs-  
 teemides: kvantteooria arendus ja mudelarvutused (5549)  
 2003–2005, 80 000 kr
42. Treshtshalov, Aleksei – TÜ Füüsika Instituut  
 Inertgaasides tugevvoolu elektrilahenduste spektroskoopiline  
 diagnostika VUV laserite pumpamiseks (5044)  
 2002–2004, 80 000 kr
43. Ugaste, Ülo – Tallinna Pedagoogikaülikool  
 Vastaskidifusiooni eksperimentaalse uurimise optimaalne me-  
 toodika kolmekomponentsetes metallsüsteemides (5080)  
 2002–2004, 40 000 kr
44. Varlamov, Viktor – TPÜ Ökoloogia Instituut  
 Naftareostuste identifitseerimine mittelineaarse fluorestsentse  
 spektroskoopia meetodil (4717)  
 2001–2004, 30 000 kr (kaasfinantseeritakse tehnikateadustes)



45. Raidal, Martti – Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut  
Mass, lõhn ja sümmeetriad (5135)  
2002–2004, 130 000 kr
46. Raidal, Martti – Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut  
LHC CMS andmeanalüüs ja selle infotehnoloogilised rakendused (5935)  
2004–2007, 125 000 kr
47. Renge, Indrek – TÜ Füüsika Instituut  
Spektraalse ülikõrglahutusega fotokroomsete materjalide väljarendamine orgaaniliste värvainete alusel ja nende rakendused (4511)  
2001–2004, 90 000 kr (kaasfinantseeritakse keemias ja molekulaarbioloogias)
48. Voolaid, Henn – Tartu Ülikool  
Füüsikalised väärkontseptsioonid ja väärkasutused ning nende mõju õpitulemustele (5321)  
2002–2004, 40 000 kr

#### 1.4 Astronoomia

1. Einasto, Jaan – Tartu Observatoorium  
Universumi struktuuri evolutsioon kaugest minevikust tänapäevani (4695)  
2001–2004, 240 000 kr
2. Gramann, Mirt – Tartu Observatoorium  
Superparvede, parvede ja galaktikate dünaamiline evolutsioon Universumis (5347)  
2003–2006, 88 000 kr
3. Hörrak, Urmas – Tartu Ülikool  
Atmosfäärielektirilised meetodid keskkonnaseires (4622)  
2001–2004, 300 000 kr
4. Kaasik, Marko – Tartu Ülikool  
Metsade ja lendtuha atmosfäärsesse sissekande vastasmõju (5002)  
2002–2004, 31 000 kr (kaasfinantseeritakse bio- ja geoteadustes ning põllumajandusteadustes)
5. Kipper, Tõnu – Tartu Observatoorium  
Suure absoluutheledusega mittestatsionaarsete tähtede evolutsioon (5003)  
2002–2005, 215 000 kr

6. Kärner, Olavi – Tartu Observatoorium  
 Globaalsete temperatuuriridade mudelleerimine (5004)  
 2002–2005, 35 000 kr
7. Mirme, Aadu – Tartu Ülikool  
 Elektrilise ja optilise aerosoolospektromeetri mõõtmistulemuste võrreldavuse sõltuvus keskkonna tingimustest (5855)  
 2004–2006, 130 000 kr
8. Nilson, Tiit – Tartu Observatoorium  
 Satelliidipiltide aegridade analüüs taimestiku muutuste hindamiseks (4696)  
 2001–2004, 100 000 kr (kaasfinantseeritakse põllumajandusteadustes)
9. Ohvril, Hanno – Tartu Ülikool  
 Ohusamba veeauru- ja aerosoolisisalduse uurimine (5857)  
 2004–2007, 110 000 kr
10. Pelt, Jaan – Tartu Observatoorium  
 Suure täpsusega statistilised- ja arvutusmeetodid astronoomias (4697)  
 2001–2004, 70 000 kr
11. Pustõlnik, Izold – Tartu Observatoorium  
 Füüsikalised protsessid ja evolutsioonilised trendid kaksiksüsteemides valgete kääbustähtede formeerumise varajases staadiumis (5760)  
 2004–2006, 75 000 kr
12. Rõõm, Rein – Tartu Ülikool  
 Ilmutamata protsesside füüsikaline parametrizeerimine kõrglahutuslikus mittehüdrostaatilises atmosfääridünaamikas rakendustega numbrilises ilmaennustuses ja keskkonnaseisundi modelleerimisel (5711)  
 2004–2007, 130 000 kr
13. Sapar, Arved-Ervin – Tartu Observatoorium  
 Tähespektrid ja kiirguslevi: teooriast mudelarvutusteni (4701)  
 2001–2004, 100 000 kr
14. Sulev, Madis – Tartu Observatoorium  
 Energiametsa (hall lepp ja paju) kiirgusrežiim, arhitektuur ja biomassi toodang Eesti tingimustes (4699)  
 2001–2004, 40 000 kr (kaasfinantseeritakse bio- ja geoteadustes ning põllumajandusteadustes)

15. Tamm, Eduard – Tartu Ülikool  
Atmosfääriaerosooli mõõtmespektri struktuuri seosed atmosfääri elektriliste ja optiliste parameetritega ning õhumassi päritoluga (5387)  
2003–2006, 300 000 kr
16. Veismann, Uno – Tartu Observatoorium  
Atmosfääri optiliste parameetrite mõju Päikese ultraviolettkiirgusele maapinnal (5348)  
2003–2006, 100 000 kr
17. Vennik, Jaan – Tartu Observatoorium  
Galaktikate ja nende allsüsteemide ehitus erinevatel arenguetappidel (4702)  
2001–2004, 190 000 kr

### 1.5 Biofüüsika

1. Freiberg, Arvi – TÜ Füüsika Instituut  
Autolokaliseerunud eksitonid ja eksimerid fotosünteesis: Füüsikalised mehhanismid ja praktilised rakendused (5543)  
2003–2006, 275 000 kr
2. Laisk, Agu – Tartu Ülikool  
Fotosüsteemi kui lehe fotosünteesiaparaadi tuumik: elektrontranspordi kineetika ja regulatsioon normaalsetes ja stressitingimustes (5236)  
2002–2005, 45 000 kr (kaasfinantseeritakse keemias ja molekulaarbioloogias)
3. Muring, Koit – TÜ Füüsika Instituut  
Valgu struktuurimuutuste kineetika ja termodünaamika (5546)  
2003–2006, 130 000 kr
4. Sikk, Peeter – Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut  
Tsütoskeleti/tsütosooli valkude roll mitokondrite regulatsioonis *in vivo*: proteoomsed aspektid (4930)  
2001–2004, 100 000 kr
5. Sõber, Anu – Tartu Ülikool  
Lehtede veereziimi ja fotosünteesi struktuursete ja funktsionaalsete karakteristikute ontogeneetiline kujunemine heitlehises puistus (5305)  
2002–2005, 30 000 kr (finantseeritakse bio- ja geoteadustes ning põllumajandusteadustes)

6. Tammelo, Risto – Tartu Ülikool  
Üldistatud Browni osakeste dünaamika kvaasiperioodilistes mit-  
telinearsetes keskkondades (5662)  
2003–2005, 110 000 kr
7. Vanatalu, Kalju – Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut  
13C/2H/15N märgistatud valkude ja peptiidide preparatiivse  
biosünteesi meetodika väljatöötamine. Peptiidhormoonide toi-  
me struktuursete ja dünaamiliste aspektide NMR uuringud ve-  
delas ja tahkes faasis (5138)  
2002–2005, 40 000 kr (finantseeritakse keemias ja molekulaar-  
bioloogias ning tehnikateadustes)

\* \* \*

- Eesti teadlased osalevad järgmistes Euroopa Teadusfondi (ESF) programmides:
  - Nonlinear Acoustic Techniques for Microscale Damage Diagnostics (NATEMIS) 1/2000-12/2004. Eesti esindaja programmitöökomitees on dr Arvi Ravasoo (TTÜ Küberneetika Instituut);
  - Nanotribology (NATRIBO) 01/2002–12/2006. Eesti esindaja programmitöökomitees on dr Ants Lõhmus (TÜ FI).
- Tartu Observatooriumi teadlased said uurimistoetusi järgmiste projektide elluviimiseks:
  - Keskkonnaministeeriumi riikliku keskkonnaseire programmi maastike kaugseire alamprogramm: U. Peterson, T. Lükk – 140 kEEK.
  - Ajavahemikel 1992–1993 ja 2000–2002 tehtud lageraiete kaardistamine Landsat TM ja Landsat ETM piltidelt – SA Keskkonnainvesteeringute Keskus: M. Lang – 80 kEEK.
  - EL Marie Curie reintegratsiooni grant „Eesti veekeskkonna kaugseire Peipsi järve näitel“: A. Reinart – 40 kEUR (kasutamiseks aastatel 2004–2005).
- TÜ keskkonnafüüsika instituut alustas projekti, mille sisuks on loodusteadusliku kooli- hariduse edendamine, toetudes GLOBE programmi kaudu saadud materjalidele ja kogemustele. Aastatel 2004–2007 toimuvat projekti finantseerib USA Saatkond Tallinnas. Eesmärgiks on teha koolidele emakeeles kättesaadavaks

NASA haridusprogrammide materjalid Maa uurimise kaasaegsetest meetoditest ning koolitada õpetajaid neid materjale kasutama. Projekt toetab ka õpilaste loodusteaduslikke uurimusi ja nende juhendamist.

- TÜ keskkonnanafüüsika instituudil on sõlmitud koostööleping (2003–2006) Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudiga (EMHI) ja Soome Meteoroloogia Instituudiga (FMI) numbrilise ilmaennustuse arendamiseks.
- TÜ keskkonnanafüüsika instituut osales rahvusvahelises koostööprojektis „Baltic HIRLAM“ 2003–2004 (osavõtjad: EMHI, FMI, Venemaa Hüdrometeoroloogia Instituut Peterburis, SMHI (Rootsi Hüdrometeoroloogia Instituut), LMS (Leedu Meteoroloogiateenistus)).
- TÜ keskkonnanafüüsika instituudis jätkub koostöö (A. Mirme) maailma juhtiva aerosooli uurimise aparatuuri tootva firmaga TSI Incorporated (USA).
- TÜ Füüsika Instituudis jätkusid teaduskoostööd välispartneritega, kelle nimekiri toodud EFS 2003. a aastaraamatus.
- Alustas tööd Tallinna Tehnikaülikooli ja Tartu Ülikooli materjaliuuringute ühisseminar. 7. aprillil toimus seminaripäev Tartus TÜ Füüsika Instituudis ja 17. novembril Tallinna Tehnikaülikoolis.
- TÜ Füüsika Instituudis jätkus spektroskoopiaseminari töö, milles osalejaid üle kahekümne. Esitati 14 ettekannet. Seminari toimkond: Arvi Freiberg, Vladimir Hižnjakov, Jaak Kikas, Peeter Saari, Ilmo Sildos, Aleksandr Luštšik.
- TÜ Füüsika Instituudis jätkus tahkisetooria seminari töö. Toimus 13 istungit.
- Tartu Observatooriumis regulaarselt toimusid astrofüüsika, kosmoloogia ja atmosfäärifüüsika seminarid.
- TÜ füüsikaosakonnas jätkasid regulaarset tööd teoreetilise füüsika, astronoomia, gaaslahenduse ja keskkonnanafüüsika seminarid.
- 15. detsembril asutatati Tallinnas Eesti Nanotehnoloogiate Arenduskeskuse AS, kus TÜ teadlased hakkavad tegelema ettevõtluses rakendatavate nano- ja sensortehnoloogiate väljatöötamisega. Tartu Ülikool osales arenduskeskuse asutamisel teaduspartnerina. Ettevõtluspartneritena osalesid asutamisel MikroMasch

Eesti OÜ, Evikon MCI OÜ, Maico Metrics OÜ, NexTech Supply OÜ ja USA firma K-TEK International.

- Loodi uus koostöövõrgustik Nordic Grid Neighbourhood, mille eesmärgiks on toetada ja edendada koostööd Põhjamaade, Baltimaade ja Loode-Venemaa teadusasutuste vahel Grid-tehnoloogia arendamiseks. Eesti poolt osalevad projektis KBFI, TÜ ja EENet, projekti koordinaatoriks on Andi Hektor (KBFI).
- KBFI ülijuhtivusega tegelevate teadlaste rühm (koordinaator R. Stern) võeti vastu Eesti „sõlmena“ (*node*) Euroopa teadusvõrgustikku SCENET – *The European Network for Superconductivity*, mille tegevust rahastatakse Euroopa Komisjoni teadusuuringute ja tehnoloogilise arendustegevuse Viienda Raamprogrammi GROWTH programmi raames.
- Eesti osaleb COST (*European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research*) projektis P16 „ECOM: Emergent Behaviour In Correlated Matter“. Eestipoolseteks liikmeteks projekti juhtkomitees on KBFI vanemteadurid Toomas Rõõm ja Raivo Stern.

## VI. RAAMATUD JA KOGUMIKUD

- Ugaste, Ü., Saukas, J., Füüsika gümnaasiumile. Küsimusi ja ülesandeid III. Tallinn, Avita, 2004.
- Reiska P, Experimente und Computersimulationen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Frankfurt am Main, Peter Lang, 2005.

## VII. IN MEMORIAM

- **Rutt Koppel** 29. X 1938 – 25. IX 2004

25. septembril lahkus raske haiguse tagajärjel meie hulgast kaua-aegne kolleeg, Tartu Observatooriumi atmosfääriseire töörühma insener Rutt Koppel (65). Töötades tagasihoidlikel laborandi ja inseneri ametikohtadel, aitas ta kaasa paljude teadustööde valmimisele – oma elu viimasel aastakümnel peamiselt töödele, mis olid pühendatud atmosfääriosooni ja Päikese

ultraviolettkiirguse uurimisele, varasematel aastatel aga helkivate ööpilvede uurimisele ning Maa atmosfääri uurimisele kosmosest.

Rutt Koppel lõpetas Paide Keskkooli 1957. aastal ja viis aastat hiljem Tartu ülikooli matemaatikaosakonna astronoomia erialal. Pärast ülikooli lõpetamist asus ta tööle Füüsika ja Astronoomia Instituudis Tõraveres ning töötas samas (vahepeal mitmeid nimesid muutnud asutuses) kuni surmani. Töö algusaastatel tegeles ta helkivate ööpilvede üleliidulise vaatlusvõrgu ja Ch. Villmanni eestvõttel loodud rahvusvahelise helkivate ööpilvede andmetöötluskeskuse töö korraldamisega, vaatlusandmete töötlemiseks ettevalmistamise, andmebaaside koostamise ja kokkuvõtete tegemisega vaatlusandmetest. Aastatel 1970–1993 oli Rutt Koppeli töö seotud instituudi kosmoseuuringute ja kosmilise radiomeetria sektorite osalusega N. Liidu kosmoseprogrammides, põhiliselt teaduspublikatsioonide ja mahukate lepingutööde aruannete vormistamise kaudu, kuid olulise osalusega ka andmetöötluses. Eesti taasiseseisvumise järel lülitus ta koos senise üsna suure kollektiivi väheste instituuti jäänud liikmetega eestikesksemale teemaatikale – atmosfääri osoonikihi ja maapinnani jõudva ultraviolettkiirguse uurimisele – tegeles andmebaaside moodustamise ja korrastamisega ning publikatsioonide trükiks ettevalmistamisega.

Kestvalt oli Rutt Koppel seotud kahe suure hobiga – taidluse ja orienteerumisspordiga, olles mõlema puhul oluliseks eestvedajaks ja initsiaatoriks.

- **Kaljo Schults** 26. XII 1925 – 18. X 2004

Kaljo Schults, vaitaalne ja täis elutahet, töötas veel 78-aastaselt TTÜ Virumaa Kolledži erakorralise dotsendi ja reaalkeskuse juhatajana. Tema lahkumine oli kõigile valusalt ootamatu.

Kaljo Schults sündis Tallinnas. Hiiu algkooli järel jätkus tema haridustee Tallinna Reaalkoolis, mille pidi lõpetama 1944. a, kuid sõjakeerises sattus 1943. a oktoobris Soome, olles jalaväerügemendi-200 radist, ja pöördus soomepoisina Eestisse tagasi 1944. Tänu juhusele ja noorusele jäi ta julgeolekule märkamata ja nii sai ta 1945. a reaalkooli lõpetada.

1945–1951 õppis ta TPI mehaanikateaduskonnas, mille lõpetas insener-elektrikuna elektrimasinate ja aparatuuride alal.

Pedagoogiline töö algas 1948.a Tallinna Toiduainete Tööstuse Tehnikumi ja Merekalandustehnikumi tehnilise mehaanika ja metallide tehnoloogia õpetajana. Järgnes töö TPI elektrotehnika teoreetiliste aluste kateedris ning hiljem füüsika kateedris. Aastatel 1953–1956 õppis ta samas aspirantuuris tahke keha füüsika erialal. Kandidaadikraadi kaitses ta 1961 ja 1963 omistati talle dotsendi kutse.

1962.a alates elas ja töötas Kaljo Schults Kohtla-Järvel. Tema tööga on seotud TPI õppe-konsultatsioonipunkti muutmine TPI üldtehniliseks teaduskonnaks, kus ta oli 10 aastat kateedrijuhataja ning 7 aastat dekaan. Seejärel 1992.a alates töötas ta Virumaa Kõrgkooli füüsika õppetooli juhatajana, dotsendina ja professorina. 2000.a alates kuni surmani õpetas ta TTÜ Virumaa Kolledžis füüsikat ja mitut tehnilist distsipliini. Pedagoogina oli ta väga nõudlik, kuid seejuures hinnatud ja armastatud õppejõud nii kolleegide kui ka üliõpilaste seas. Ta oli suurepärase õpetaja, tema loengutes leidis alati kasvatuslikku ja eetilist. Ta pidas väga oluliseks õppe-metoodilist tööd, kirjutades ja avaldades viimastelgi aastatel rea mitmesuguseid füüsika ja tehnilise mehaanika alaseid õppevahendeid. Mitme põlvkonna füüsikutele ja inseneridele on asendamatuks teatmikuks olnud Kaljo Schultsi brošüür „Mõõtühikud füüsikaliste suuruste mõõtmiseks. Rahvusvaheline mõõtühikute süsteem SI“. Ta oli ka kuldsete kätega praktik. Tema meelisharrastused olid male ja bridž, milles ta oli arvestatava tasemega mängija.

Kaljo Schults oli Eesti Füüsika Seltsi asutajaliige ning kuulus 1990. a EFSi juhatusse.

• **Gleb Bichele** 30. VII 1909 – 28. XII 2004

Gleb Bichele sündis 30. juulil 1909 Narvas. Ta lõpetas Tartu ülikooli matemaatika osakonna 1932.a ja omandas 1936.a matemaatikamagistri kraadi töö „Проблема полета ракеты“ eest. Töö teemaatika oli tolle aja praktikast tublisti ees – selles arvutati soodsaid orbiite inimeste lennuks Kuule, Veenusele ja Marsile. 1946.a atesteeriti magistrikraad ümber füüsikamatemaatikakandidaadi teaduskraadiks. Aastail 1944–46 töötas



G. Bichele TRÜ teoreetilise mehaanika kateedri assistendina ja 1946–52 sealsamas dotsendina (dotsendi kutse omistati 1949. a). Ta luges teoreetilise mehaanika, hüdromehaanika jt kursusi nii matemaatikutele kui füüsikutele. Aastail 1948–51 kuulus ta 1947. a asutatud TA Füüsika, Matemaatika ja Mehaanika Instituudi koosseisu, olles matemaatika ja mehaanika sektori vanemteadur. 1952. a läks G. Bichele tööle Eesti Põllumajanduse Akadeemiasse, kus asus juhatama mehaanika kateedrit. Sel ametikohal töötas ta üle kahe aastakümne, kuni 1973. a. Aastail 1957–62 oli ta ühtlasi ka põllumajanduse mehaniseerimise teaduskonna dekaan. Loengute pidamist EPAs jätkas G. Bichele veel pensionieaski.

## VIII. FÜÜSIKAHARIDUSLIK TEGEVUS

- 28.–30. juunini korraldasid GLOBE programm ja Eesti Füüsika Selts GLOBE teaduspäevad Ida-Virumaal. Sillamäel toimunud laagrist võttis osa sadakond õpilast ja õpetajat. Eesmärgiks oli innustada venekeelseid koole mitmekesistama loodusteaduslikku haridust ning osalema ülemaailmses teadus- ja haridusprogrammis GLOBE. Ettekande materjalimaailmast pidas prof J. Kikas, GPS-süsteemi tutvustas dr T. Plank. Suure osa ajast hõivasid praktilised atmosfäärivaatlused ja mõõtmised klindialuses metsas ning veekogudel. Juhendajatena tegutsesid TÜ teadlased-õppejõud koos kogenud GLOBE õpetajatega Tartu Miina Härma ja Kivilinna Gümnaasiumist. Õhtune rollimäng „Tulnukad Ida-Virumaal“ pani koos tegutsema eesti- ja venekeelsed lapsed ja koostöö sujus vägagi hästi vaatamata teineteise keele mittemõistmisele. Üritust rahastas USA Eesti saatkond, eestvedajaks oli GLOBE programmi Eesti koordinaator Ü. Kikas TÜ keskkonnafüüsika instituudist.
- 11.–16. aug toimus Krabi Põhikoolis Võrumaal Astronoomia-huviliste IX üle-Eesti kokkutulek. Peeti 13 ettekannet, igal õhtul toimusid astronoomilised vaatlused. Ettekannetega esinesid J. Jaaniste (EPMÜ), M. Nissinen (Tähtitieteellinen yhdistys Ursa, Soome), J. Pelt (TO), T. Eenmäe (Tartu Tähetorni Astronoomia-ring), I. Piir, M. Jõeveer (TO), T. Viik (TO), T. Tuvikene (Tartu

Tähetorni Astronoomiaring), M. Kama (TÜ), J. Einasto (TO) ja I. Pustõlnik (TO). Amatöörastronoomide ümarlauas tutvustati vaatlusriistu ning arutati koostööd Soome amatööridega. Toimus kontsert, kus kõlas Urmas Sisaski muusika ja Anne Kahro luule.

- 11. nov toimus Tallinnas Teadusete Akadeemia saalis Õpilaste Teadusliku Ühingu (ÕTÜ) avaseminar. 1980. aastal asutatud ÕTÜ oli aktiivne viimati 1995. aastal, nüüd alustas ühing taas tegevust. ÕTÜ missiooniks on toetada õpilaste teadusliku loomevõime arengut. ÕTÜ seminari avas Teaduste Akadeemia president prof Jüri Engelbrecht, ettekannetega esinesid Riigikogu esimees akad Ene Ergma, akad Richard Villems, Einar Meister (TTÜ Kübl) ja Marko Kaasik (TÜ FKKE). Projekti „Tulevikukool“ tutvustas partner Rootsist Scott Hall. ÕTÜ eesmärkidest ja tulevikust rääkisid prof Peeter Lorents (EBS) ja Terje Tuisk (SA Archimedes). Oma esimestest sammudest teaduse tegemisel tegid ülevaate õpilased, erialasektsioonide juhid rääkisid oma eriala võimalustest ÕTÜ liikmetele.
- 12. nov avati Tartus Wilde kohviku veranda-talveaias teaduskohvik – *Café Scientifique*, mis on Briti Nõukogu ja teaduskeskuse AHHA uue sariürituse teadusteemade arutamiseks vabas õhkkonnas. Seekordne teema oli „Nanomaailm: suur hüve või oht?“, peaesinejaks prof Neil Champness Inglismaalt Nottinghami ülikoolist. Kohvikuõhtupoolikut juhatas prof Jaak Kikas (TÜ).
- 26. nov leidis Tallinna Tehnikaülikoolis aset traditsiooniline robotivõistlus „Robotex 2004“. Populaarne robotivõistlus toimub juba neljandat aastat. Seekordne võistlusülesanne oli ehitada robot, mis leiab etteantud mõõtmetega võistlusplatsil üles objektid ja pöörab need ringi (lisainfo [www.robotex.ee](http://www.robotex.ee)).
- Tartu Observatoorium on jätkuvalt populaarne ekskursioonide sihtpunkt – 2004. aastal külastas Tõraveret 193 gruppi ligikaudu 4900 külastajaga. TO giidid K. Annuk, I. Kolka, L. Leedjärv, A. Puss, I. Pustõlnik, M. Ruusalepp, J. Vennik ja T. Viik rääkisid huvilistele astronoomia ja atmosfäärifüüsika põhiteadmisi ja uudiseid.
- Tallinna Tähetornis jätkas tegevust loodusteaduste huvialaring, kus noorte astronoomiahuvilistega töötasid T. Aas, V. Harvig ja M. Mars (TTÜ).

- Tartu Tähetornis on jätkanud tegevust astronoomiaring, kus koostöös AHHAA-keskusega korraldatakse laiale huviliste ringile mõeldud vaatlusi ja loenguid. Endiselt ilmub 6 korda aastas veebiajakiri astronoomiahuvilistele „Vaatleja“, mille leiate veebiaadressilt <http://www.obs.ee/>.
- Teaduse populariseerimisega tegeles aktiivselt Teaduskeskus AHHAA, korraldades planetaariumi ja teadusteatri etendusi ning näitusi. Huvilised said kasutada ka populaarteaduslikku laborit LabPro ning osaleda töötubade töös.
- 11. veebr toimus Tartu Ülikoolis II akadeemiline füüsikaolümpiaad, millest võttis osa 15 üliõpilast alates esmakursuslastest kuni kraadiõppureini ning kaks kooliõpilast. I preemia sai füüsika doktorant Valter Kiisk ja II preemia füüsika 1. a tudeng Mihkel Kree. Ergutuspreemiad said Oleg Košik (MI teaduskond), Sander Mirme (FK teaduskond), Aleksandr Morozenko (Narva Humanitaargümnaasium), Margus Pala (FK teaduskond) ja Urmo Visk (FK teaduskond). Preemiasumma jagati järgmiselt: I koht – 3000 krooni, II koht 2000 krooni, ergutuspreemiad 5×200 krooni. Auhinnatud said füüsikaosakonnalt mälestuseks ka raamatu, Teaduskooli eripreemia – TÜ raamatupoe kinkekaardi – sai teine osalenud kooliõpilane Fjodor Novožilov (Narva Humanitaargümnaasium).
- 7.–8. märtsini toimus Tartu Ülikoolis Eesti koolinoorte 51. füüsikaolümpiaadi lõppvoor.

#### **Eesti koolinoorte 51. füüsikaolümpiaadi lõppvooru žürii otsus**

I Autasustada 1. järgu diplomiga

– Keskkooli arvestuses:

- \* Aleksandr Morozenko (11. klass, Narva Humanitaargümnaasium);
- \* Fjodor Novožilov (12. klass, Narva Humanitaargümnaasium).

– Põhikooli arvestuses:

- \* Andrei Lošitski (9. klass, Narva Humanitaargümnaasium);
- \* Aleksei Filippov (9. klass, Narva Kesklinna Gümnaasium).

II Autasustada 2. järgu diplomiga

- Keskkooli arvestuses:
  - \* Margus Niitsoo (11. klass, Tallinna Reaalkool);
  - \* Margus Sepp (12. klass, Tallinna Reaalkool);
  - \* Siim Ainsaar (11. klass, Tallinna Reaalkool);
  - \* Ove Kangur (11. klass, Tallinna Reaalkool);
  - \* Dmitri Derkatš (11. klass, Tallinna Läänemere Gümnaasium).
- Põhikooli arvestuses:
  - \* Tatjana Sokolova (9. klass, Jõhvi Vene Gümnaasium);
  - \* Hardi Koduvere (9. klass, Tallinna Reaalkool);
  - \* Kristel Kosk (9. klass, Tallinna Reaalkool);
  - \* Olga Bulgakova (8. klass, Narva Pähklime Gümnaasium);
  - \* Mihhail Komaško (9. klass, Narva Pähklime Gümnaasium);
  - \* Edvard Ljulko (9. klass, Tallinna Reaalkool).

III Autasustada 3. järgu diplomiga

- Keskkooli arvestuses:
  - \* Karel Aru (11. klass, C.R. Jakobsoni Gümnaasium);
  - \* Riho Taba (12. klass, Hugo Treffneri Gümnaasium);
  - \* Konstantin Astapov (12. klass, Narva Humanitaargümnaasium);
  - \* Andrei Anissimov (12. klass, Narva Humanitaargümnaasium);
  - \* Holger Haas (10. klass, Pärnu Koidula Gümnaasium);
  - \* Laur Tooming (10. klass, Hugo Treffneri Gümnaasium);
  - \* Martin Sepp (10. klass, Tallinna Reaalkool);
  - \* Mattias Linnap (11. klass, Tallinna 21. Kool).
- Põhikooli arvestuses:
  - \* Andres Laan (8. klass, Tallinna Inglise Kolledž);
  - \* Jana Tšerkašina (8. klass, Narva Humanitaargümnaasium);
  - \* Aleksandr Bitjukov (9. klass, Lasnamäe Vene Gümnaasium);
  - \* Aleksandr Belugin (9. klass, Narva Pähklime Gümnaasium);
  - \* Andrei Klevtsov (8. klass, Tallinna Kesklinna Vene Gümnaasium);

\* Martin Parker (9. klass, Kaiu Põhikool).

IV Autasustada eridiplomiga

- Erki Metsanurk (11. klass, Saaremaa Ühisgümnaasium) – parim eksperimentaator;
- Kätlin Hein (12. klass, Tallinna Reaalkool) – parim neiu keskkooli arvestuses;
- Irina Ljubovskaja (12. klass, Mustamäe Realgümnaasium) – parim neiu keskkooli arvestuses;
- Tatjana Sokolova (9. klass, Jõhvi Vene Gümnaasium) – parim neiu põhikooli arvestuses;
- Olga Bulgakova (8. klass, Narva Pähklikmäe Gümnaasium) – parim 8. klassi õpilane;
- Taavi Vaikjärv (12. klass, Tallinna Reaalkool) – raskete ülesannete eduka lahendamise eest;
- Ando Aasa (12. klass, Pärnu Koidula Gümnaasium) – raskete ülesannete eduka lahendamise eest;
- Jaan Vajakas (11. klass, Tallinna Reaalkool) – raskete ülesannete eduka lahendamise eest.

V Eriauhinnad toetajatelt:

- Aleksandr Morozenko (11. klass, Narva Humanitaargümnaasium) – Füüsika Instituudi eriauhind;
- Holger Haas (10. klass, Pärnu Koidula Gümnaasium) – Eesti Füüsika Seltsi eriauhind;
- Kätlin Hein (12. klass, Tallinna Reaalkool) ja Irina Ljubovskaja (12. klass, Mustamäe Realgümnaasium) – OÜ Reves Grupi eriauhinnad;
- Tatjana Sokolova (9. klass, Jõhvi Vene Gümnaasium) ja Olga Bulgakova (8. klass, Narva Pähklikmäe Gümnaasium) – MTÜ Loodusajakiri eriauhinnad.

VI Žürii avaldab tänu õpilaste hea ettevalmistamise eest õpetajatele:

Elmu Mägi (Pärnu Koidula Gümnaasium); Guido Vegman (Tallinna Inglise Kolledž); Jaak Saukas (Tallinna Reaalkool); Lilian Tambek (C.R. Jakobsoni Gümnaasium); Ljubov Šugajeva (Lasnamäe Vene Gümnaasium); Madis Reemann (Treffneri Gümnaasium); Maie Tibar (Tallinna 21. Kool); Mart Kuurme (Tallinna Reaalkool); Mihhail Jemeljanov (Narva Pähklikmäe Gümnaasium); Nadežda Tšerkašina (Narva Humanitaargümnaasium);

Nelli Afonina (Narva Kesklinna Gümnaasium); Olga Astahhova (Tallinna Läänemere Gümnaasium); Rimma Kvjatkovskaja (Tallinna Kesklinna Vene Gümnaasium); Rita Romaškevitš (Jõhvi Vene Gümnaasium); Väino Kundla (Kaiu Põhikool); Miroslava Belova (Mustamäe Realgümnaasium) ja Arne Loorpuu (Saaremaa Ühisgümnaasium).

VII Vastavalt olümpiaadi statuudile arvata Eesti võistkonna liikmeks rahvusvahelisel füüsikaolümpiaadil Aleksandr Morozenko (11. klass, Narva Humanitaargümnaasium).

VIII Nimetada rahvusvahelise füüsikaolümpiaadi Eesti võistkonna kandidaatideks Fjodor Novožilov, Margus Niitsoo, Margus Sepp, Siim Ainsaar, Sander Sõnajalg, Ove Kangur, Dmitri Derkatš, Karel Aru, Riho Taba, Konstantin Astapov, Andrei Anissimov, Holger Haas, Laur Tooming, Martin Sepp, Mattias Linnap, Erki Metsanurk, Jürgen Lina, Jaan Vajakas, Irina Ljubovskaja ja Andres Hunt.

Henn Voolaid, füüsikaolümpiaadi žürii esimees

Ly Sõõrd, komisjoni esimees

Tartus, 8. märtsil 2004. a.

- 28.–30. apr peeti Tallinnas Eesti-Soome maavõistlus füüsikas. Sami Kivistö Soomest pälvis KBFI poolt välja pandud peauhinna. II auhinna sai Fjodor Novožilov Narva Humanitaargümnaasiumist, III kohta jagasid Lauri Ahlorth (Soome), Timo Voipio (Soome), Aleksandr Morozenko (Narva Humanitaargümnaasium), Dimitri Derkatš (Tallinna Läänemere Gümnaasium), Riho Taba (Hugo Treffneri Gümnaasium) ja Siim Ainsaar (Tallinna Reaalkool).
- 15.–23. juulini Lõuna-Koreas Pohangis toimunud 35. rahvusvahelisel füüsikaolümpiaadil IPhO'XXXV pälvisid pronksmedali Siim Ainsaar (Tallinna Reaalkool) ja Fjodor Novožilov (Narva Humanitaargümnaasium) ning diplomi ja sellega kaasneva klaasmedali Aleksandr Morozenko (Narva Humanitaargümnaasium), Dimitri Derkatš (Tallinna Läänemere Gümnaasium) ja Riho Taba (Hugo Treffneri Gümnaasium). Auhindadega naasid koju kõik Eesti võistkonna liikmed.
- 1.–9. okt Ukrainas Krimmis toimunud Rahvusvahelisest astro-noomiaolümpiaadist võttis esimest korda osa ka Eesti võistkond,

millesse kuuluvad Annika Tiko (Tallinna Reaalkool, 10. klass), Edvard Ljulko (Tallinna Reaalkool, 10. klass), Jana Tšerkašina (Narva Humanitaargümnaasium, 9. klass) ja Andrei Lošitski (Narva Humanitaargümnaasium, 10. klass). Võistkonna esindajatena olid kaasas Nadežda Tšerkašina (Narva Humanitaargümnaasium) ja Jaak Jaaniste (EPMÜ prof).

- 27. nov toimus TÜ täppisteaduste koolis Eesti koolinoorte 15. füüsika lahtine võistlus. Nooremas rühmas võttis võistlusest osa 230 õpilast, vanemas rühmas 125 õpilast.
  - Noorema rühma tulemused
    1. Aleksei Filippov, 50 pt, Narva Pähklime Gümnaasium, 10. kl, õpetaja Mihhail Jemeljanov
    2. Sander Pajusalu, 49 pt, Hugo Treffneri Gümnaasium, 10. kl, õpetaja Madis Reemann
    3. Fjodor Gainullin, 48 pt, Tallinna Tõnismäe Reaalkool, 9. kl, õpetaja Tatjana Belousova
  - Vanema rühma tulemused
    1. Aleksandr Morozenko, 56 pt, Narva Humanitaargümnaasium, 12. kl, õpetaja Nadežda Tšerkašina
    2. Ott Rebane, 55 pt, Tallinna Reaalkool, 12. kl, õpetaja Mart Kuurme
    3. Siim Ainsaar, 53,5 pt, Tallinna Reaalkool, 12. kl, õpetaja Mart Kuurme

\* \* \*

Kroonika koostas Anna Aret (TO). Andmeid andsid Piret Kuusk (TÜ FI), Hugo Mändar (TÜ FO magistriskomisjon), Virge Anso (TÜ FO dekanat), Lehho Jõumees (Kohtla-Järve Järve Gümnaasium), Kalju Eerme (TO), Mare Ruusalepp (TO), Henn Voolaid (TÜ FKMF), Andi Hektor (KBFI), Raivo Stern (KBFI), Pavel Suurvarik (TTÜ), Aleksandra Linnas (TÜ FKMF), Rein Rõõm (TÜ FKMF), Tõnu Laas (TPÜ). Andmed ETF uurimistoetuste kohta pärinevad ETF koduleheküljelt <http://www.etf.ee>. Andmed sihtfinantseeritavate teadusteemade kohta ja üliõpilaste teadustööde riikliku konkursi kohta pärinevad Haridusministeeriumi koduleheküljelt <http://www.hm.ee/>. Andmed kooliõpilaste füüsikaolümpiaadide ja füüsika lahtise võistluse kohta pärinevad TÜ täppisteaduste kooli koduleheküljelt <http://www.ttkool.ut.ee/>. Andmed akadeemilise füüsikaolümpiaadi kohta pärinevad TÜ FO uudiste leheküljelt <http://www.physic.ut.ee/uudised/>.

SUMMARY

The 15th Annual of the Estonian Physical Society starts with an article by Ivar Piir who gives an overview of the history of theoretical physics in Tartu during 1921–1960. Piret Kuusk and Indrek Martinson continue their series of articles devoted to Estonian physicists who were forced to leave Estonia after the Second World War and to continue their work abroad. The article “Estonian physicists in exile IV” describes the life and work of Hinrek Neuhaus, Uno Öpik and Olev Mathiesen. The article named “Asymptotic Freedom in Quantum Chromodynamics” by Ilmar Ots and Hannes Liivat is devoted to the Nobel Prize in Physics 2004.

The second part consists of a full report by Kalle Kepler and abstracts of the oral and poster presentations, both from the 35th Estonian Days of Physics (March 22–23, 2005).

The third part of the Annual presents official documents of the Estonian Physical Society. The 2004 Honorary Citation winners were Ülle Kikas, Jaak Lõhmus and Rein Veskimäe. The Estonian Physical Society awarded Margo Plaado, Kristjan Saal and Tanel Tätte the award for the best student poster at the 34th Estonian Days of Physics. Prof Jaan Einasto, member of the Estonian Academy of Sciences, has been elected as a honorary member of the Estonian Physical Society. The Statute of the High School Student Award, the Annual Report for 2004, the lists of the new members and the Board members of the Estonian Physical Society are published in the third part of the Annual. The programs of the 2nd Summer School and the 6th Autumn School for Young Physicists, the Summer School for Physics Teachers 2004 and the 26th Physics Teachers Day are also included in this part. At the 26th Physics Teachers Day it was decided to combine future Physics Teachers Days with Estonian Days of Physics.

The last part of the Annual lists the most significant events in the development of physics in Estonia in 2004.