

## SISUKORD

SISUKORD .....	1
SISSEJUHATUS .....	2
RELATIIVNE JA INVARIANTNE MASS RELATIIVSUSTEORIAS.....	3
HARRY ÕIGLASE TEADUSTEGEVUSEST JA RAAMATUTEST .....	26
HARRY ÕIGLASE BIBLIOGRAAFIA.....	31
Füüsikapäevade programm 20-21. märts 2007. a.....	43
FÜÜSIKAVÄLINE FÜÜSIKA: KOMPLEKSSÜSTEEMID JA PEHMIS .....	46
ÜLIVOOLAV TAHKE HEELIUM? .....	55
FÜÜSIKAÕPPE EFEKTIIVSUSE MÕÕTMINE .....	62
EESTI FÜÜSIKA SELTS 2007 .....	67
FÜÜSIKAKROONIKA .....	77
SUMMARY .....	102
Raamatus kasutatud lühendid.....	103

## SISSEJUHATUS

2007. aastal alustati radikaalseid struktuurireforme nii Tallinna kui Tartu ülikoolides. Tallinna Ülikool koosneb nüüd seitsmeteistkümnest instituudist ja kolmest kolledžist; füüsikud moodustavad Matemaatika ja Loodusteaduste Instituudi loodusteaduste osakonnas kaks õppetooli – teoreetilise füüsika õppetool ja rakendusfüüsika õppetool. Tartu Ülikoolis koondati kaks teaduskonda – füüsika-keemia ja bioloogia-geograafia – ning kolm teadusarendusasutust – TÜ Füüsika Instituut, TÜ Tehnoloogiainstituut ja TÜ Eesti Mereinstituut – üheks suureks loodus- ja tehnoloogiateaduskonnaks (lühendatult LOTE), mis hakkab koosnema kuuest iseseisvast teadusarendusasutusest: TÜ Füüsika Instituut, TÜ Keemia Instituut, TÜ Tehnoloogiainstituut, TÜ Molekulaar- ja Rakubioloogia Instituut, TÜ Ökoloogia ja Maateaduste Instituut ning TÜ Eesti Mereinstituut. Sellega on ühtlasi lõpule viidud ammusel kavandatud Tartu Ülikooli füüsikud üheks institutsiooniks, mis korraldaks nii teadustegevust kui ka õppetööd.

Eesti Füüsika Seltsi 18. aastaraamatu avaartiklis vaagib Ilmar Ots massi mõistet erirelatiivsusteoorias, kaasates ka ajaloolisi ja pedagoogilisi aspekte. Seejärel meenutame Harry Õiglast (5. III 1927 – 17. VII 1999), vaimsuselt entsüklopedisti ja füüsika väsimatut populariseerijat, kes sõjajärgsetel aastakümnetel pani aluse elementaarosakeste füüsika alasele uurimistööle Eestis ning aastail 1976–1981 oli ENSV TA Füüsika Instituudi direktor.

Eesti XXXVII füüsikapäevade ja XXIX füüsikaõpetajate päevade istungitelt Tartus 20. –21. märtsil 2007 avaldame EFSi aastapreemia laureaadi Jaan Kalda ettekande „Füüsikaväline füüsika: kompleksüsteemid ja pehmis” ning Harry Allese artikli „Ülivoolav tahke heelium”, samuti ka Svetlana Ganina ja Henn Voolaiu artikli „Füüsikaõppe efektiivsuse mõõtmine“, mis tuleb ettekandmisele 2008. a füüsikapäevadel.

Aastaraamatu lõpetavad Eesti Füüsika Seltsi rubriik ja 2007. aasta füüsikakroonika.

Piret Kuusk, toimetaja

# RELATIIVNE JA INVARIANTNE MASS RELATIIVSUSTEORIAS

Ilmar Ots

TÜ Füüsika Instituut

On näidatud, kuidas tekkis relatiivsusteoorias relatiivse, kiirusest sõltuva massi mõiste ja millal ning miks hakkas see asenduma kiirusest sõltumatu, invariantse massi mõistega. Tänapäevaks ei ole enam kahte massi – seisumassi  $m_0$  ja liikuva objekti massi  $m$ . On vaid üks mass  $m$ , mille väärtus ei sõltu taustsüsteemist, milles teda mõõdetakse.

## **Sissejuhatus**

Mass on füüsika üks põhilisemaid mõisteid. Viimastel aastakümnetel, seoses massi rolli suurenemisega ja temaga seotud probleemidega elementaarosakeste füüsikas ja sellega üha tihedamates sidemetes olevates astrofüüsikas ja kosmoloogias, on massi mõiste veelgi tähtsustunud. Massiga seotud küsimused on kujunenud osakeste füüsika keskseks teemaks ja nende lahendamine aitaks selgust tuua ka astrofüüsika ja kosmoloogia massiprobleemidesse.

Praegune elementaarosakeste teooria – Standardmudel – ei anna vastust paljudele massi puudutavatele olulistele küsimustele.

Miks on kõige fundamentaalsemad elementaarosakesed, mõõtmeteta alusosakesed, jaotunud kolme sarnaste omadustega perekonna vahel, mille vastavad osakesed erinevad vaid masside suuruselt? Miks on alusosakeste massiskaala nii lai, et raskeim teadaolev alusosake – top-kvark – kaalub 350000 korda enam kui kergeima mõõdetud nullist erineva massiga osake – elektron? Kas Standardmudeli järgi osakeste masse genereeriv Higgsi väli tõepoolest eksisteerib? Ja kui jah, kui suur on siis Higgsi välja kvanti – Higgsi bosoni – mass? Millised osakesed ja kui rasked on Universumi nähtamatu aine, tumeaine taga? Kuidas seletada Universumis olevat tohutu suurt tumeenergia hulka? Neile ja paljudele teistele massiga seonduvatele küsimustele oodatakse vastuseid arendatavatelt Standardmudeli välistelt nn uue füüsika mudelitelt, mis peavad olema fundamentaalsemad kui Standardmudel, samuti tulevikukiirendite katsetelt, mis uue füüsika järelemeid kontrollivad. Massi tähtsuse oluline kasv ja paljud massiga seotud lahendamata probleemid arenevates teadusharudes tõstavad huvi ka massi mõiste enese vastu, osakeste füüsika seisukohalt konkreetselt selle vastu, kuidas mõistetakse massi (eri-)relatiivsusteoorias, mis teadupärast on kvantmehaanika kõrval osakeste füüsika teoreetilise aluse – kvantväljateooria – teiseks komponendiks. Asja lähemalt uurides selgub mõneti üllatav tõsiasi: teadlased polegi praeguseks

jõudnud täielikule üksmeelele massi mõiste suhtes. Ja “süüdi” selles on just elementaarosakeste füüsikud – suurimad relatiivsusteooria tarbijad. Nemad on need, kes hakkavad kõigutama pärast relatiivsusteooria tekkimist valdavaks kujunenud kiirusest sõltuva massi kontseptsiooni ja “taaskehtestama” Newtoni muutumatu massi mõistet. Vaidlused selle üle, kumba massi mõistet, kas relatiivse, kiirusest sõltuva või invariantse, muutumatu massi oma, on õigem kasutada, on olnud ja on veel praegugi kohati üsna ägedad. Asi hakkab siiski selginema: üks vaidluspool on võitmas. Võiks isegi öelda – on võitnud. Allpool anname lühikese ülevaate, kuidas, millal ja miks kaks massi kontseptsiooni tekivad, missugused on vaidlejate argumendid ja milline on olukord praegusel hetkel.

## **Newtoni mass**

Massi mõiste tõi füüsikasse Isaac Newton oma kuulsas töös “Philosophiae naturalis principia mathematica” 1687. aastal [1]. Newton annab massi mõiste sõnades kohe oma suurtöö alguses. Ladina keelest inglise keelde tõlgituna näeb see nii välja: “*Definition I. The quantity of matter is the measure of the same, arising from its density and bulk conjointly*”. Ja definitsiooni selgitavas osas lisab ta, et määratletud suurus ongi see, mida nimetatakse massiks. Nagu ütleb tuntud osakeste füüsika teoreetik Lev Okun Moskvast (kellega allpool veel tihti kohtume), on see definitsioon niivõrd ebaselge, et selle loogilist mõtet uuritakse veel tänapäevalgi [2]. Siiski on arusaadav, mida Newton öelda tahab. Mass on aine hulga mõõt. Ning aine hulk tuleneb nii keha suurusest kui aine tihedusest temas. Newtoni selline määratlus pole definitsioon, vaid pigem arusaam massist kui keha sisemisest omadusest. Keha (objekti) sisemine omadusena ei sõltu mass sellest, kas keha on paigal või liigub. See tähendab aga ka seda, et keha inertsi, mille mõõduks on inertne mass, ei suurene keha kiiruse kasvades. Newtoni massi määratlusest tuleneb ka massi aditiivsus: liitkeha mass on tema osiste masside summa. Aditiivsusomadusega seondub omakorda massi jäävus. Nii Newtoni massi määratlus kui sellest tulenevad massi omadused on kui mitte kõik just suisa käegakatsutavad, siis ikkagi otseselt tunnetatavad. Niisugusena elab mass üle kaheksa aasta. Ja sama kaua elavad ka sellist massi sisaldavad Newtoni ehk klassikalise mehaanika võrrandid – nii need, kus mass on gravitatsioonilise tõmbejõu allika rollis kui ka need, kus mass on keha inertsi mõõduks. Siis tulevad muutuste ajad.

## **Kaks massi mõistet relatiivsusteoorias**

Ülemöödunud sajandi lõpuaastateks on teadus maailma tunnetamisel jõudnud igapäevapraktikast üksjagu kaugemale. Teadus on läinud väljapoole otsese inimtaju piirkonda. Eelmise sajandi algul sünnib Einsteini relatiivsusteooria, hakkab tärkama kvantteooria. Nende teooriate printsiibid ja neist tulenevad järeloomid ei mahu enam “terve mõistuse” raamidesse. Uued, modernsed teooriad – relatiivsusteooria varem, kvantteooria hiljem – muudavad oluliselt arusaamu meid ümbritsevast maailmast, seal valitsevatest seadustest ja mõistetest, mille abil neid seadusi formuleeritakse. Muu hulgas muudavad nad ka oluliselt arusaamu massist.

Alljärgneva seisukohalt on tähtis, et relatiivsusteooria tekkimisega muudetakse “kehtetuks” kaks Newtoni massi omadust. Esiteks selgub relatiivsusteooriast, et mass mõõdab mitte keha aine, vaid energia hulka. Ning teiseks muutub Newtoni konstantne mass relatiivsusteoorias relatiivseks, kiirusest sõltuvaks suuruseks. Et mass on keha energiasisalduse mõõduks, näitab Einsteini kuulus massi ja energiat siduv valem. See valem toob välja ühe relatiivsusteooria suurema erinevuse Newtoni ehk klassikalisest teooriast. Ta näitab, et vabal kehal on energia ka siis, kui keha seisab, ja et

need energiavarud on tohutu suured. Et aga mass tõepoolest võib olla energia, seda näitavad üsna piltlikult palju hilisemad, viimaste aastakümnete uuringud elementaarosakeste füüsikas. Nukleonide (prootonite ja neutronite) massid on peaaegu võrdsed ja võrduvad ligikaudu  $1 \text{ GeV}$  (gigaelektronvolt)/ $c^2$ . Samas on nukleonide koostisosade – kolme kvargi (prootonis u-, u- ja d-kvark, neutronis u-, d- ja d-kvark) – kogumass umbes  $10 \text{ MeV}$  (megaelektronvolt)/ $c^2$  piires; praegustel katseandmetel ei ületa ta igal juhul  $20 \text{ MeV}/c^2$ . Kogu nukleoni mass moodustub praktiliselt kvarke nukleonis koos hoidva tugeva interaktsioonivälja (värvivälja) energiast.

Arusaam kiirusest sõltuvast massist tekib juba enne relatiivsusteooria loomist, kinnistub aga läinud sajandi kahekümnendateks aastateks. Siis hakatakse kiirusest sõltuva ehk relatiivse massi mõistet pidama relatiivsusteooria üheks põhiliseks ja absoluutselt vajalikuks tugitalaks. Sellele tugitalale toetudes tehakse teadust, õpetatakse ülikoolides ja kirjutatakse aimeraamatuid. Aga ometi, alates juba läinud sajandi viiekümnendatest aastatest, sellest ajast, kui elementaarosakeste füüsika muutub iseseisvaks ja tähtsaks teadusharuks, algab Newtoni muutumatu massi rehabiliteerimine. Elementaarosakesi kirjeldavaks rühmaks on Lorentzi rühma ja nihkeid neljamõõtmelises ruumis ühendav Poincaré rühm. Selle rühma invariantideks on muutumatu mass ja spinn, mis iseloomustavad erinevaid elementaarosakesi. Relatiivne, kiirusest sõltuv mass on elementaarosakeste füüsikutele üleliigne, ainult segav mõiste. Seetõttu teda algul lihtsalt ignoreeritakse. Aga kuuekümnendatel aastatel algab juba diskussioon kahe erineva massi – relatiivse ja invariantse – üle. Üheks algtähtsaks on siin Robert Brehme'i artikkel relatiivsusteooria nelivektor-formalismi kasutamise eelistest õppetöös [3]. Artiklis tutvustab autor üksikasjalikult nelivektor-formalismi ja demonstreerib selle kasulikkust. Aga ühtlasi ründab ta otseselt relatiivse massi mõistet ja selle kaudu loomulikult ka selle mõiste kasutajaid. Muu hulgas ütleb ta, et füüsikateaduste ajalooline areng ei pruugi tagada parimat filosoofilist vaatepunkti. Ja nagu näitena öeldule lisab, et relatiivse massi kontseptsioon, mis on relatiivsusteoorias mänginud väga prominentset rolli, väärrib tegelikult hoopis tagasihoidlikumat positsiooni, kui ta on nautinud, eriti sellepärast, et tema interpretatsioonid on olnud paljudele relatiivsusteooria õpetajatele segaduste allikaks. Taoline ja teravamgi ründav stiil jääbki vastaspoole kritiseerimisel invariantse massi pooldajatele omaseks. Esialgu, peaaegu 80-ndate aastate lõpuni, toimub diskussioon siiski vaoshoitult. Siis muutuvad debatilised akadeemiliseks sõnasõjaks. Sõnasõja põhjustab kolme relatiivse massi mõiste kasutamise vastase artikli publitseerimine soliidsetes ajakirjades. Neist esimene, ameeriklase Carl Adleri artikkel [4] ilmub 1987. aastal. Seda toetavad paar aastat hiljem publitseeritud kaks artiklit Lev Okunilt [5,6]. Eriti ärritab relatiivse massi pooldajaid Okuni apologetiline, ründav stiil, mida ka paljud invariantse massi kasutajad heaks ei kiida. Samas on Okuni matemaatika-füüsika pinnal olevad relatiivse massi mõiste kasutamist kritiseerivad argumendid leidnud palju rohkem positiivset vastukaja kui kriitikat. Aga ka viimast on. Sest mõlemal vaidluspoolel on oma advokaadid, osa neist üsna radikaalsed, kelle arvates nende interpretatsioon on ainuõige ja kasulik tarvitada nii teaduses kui õppetöös, vastaspoole oma aga kui (või pehmemalt, kuigi) mitte päris vale, siis vähemalt ebakorrekne ja segadusi tekitav. Praeguseks on seis selline, et relatiivse massi kasutamise pooldajad pole suutnud muutumatu massi eelistajate rünnakutele ja argumentidele vastu seista ja oma kohta teaduses ja pedagoogikas hoida. Kiirusest sõltuva massi mõiste on soliidsete teadusajakirjade artiklitest juba mitmeid aastakümneid kadunud. Selle kasutamiseks on lihtsalt puudunud ka vajadus. Ja nüüdseks on see samuti pedagoogikast valdavas osas välja tõrjutud. Enam ei ole ei relatiivset ega seisumassi, on vaid üks mass  $m$ , mis jääb suvalisest inertsiaalsüsteemist vaadatuna muutumatuks. Miks eelistatakse nüüd ühe massi kasutamist, seda alljärgnevas arutamegi. Kõigepealt vaatame Einsteini kuulsat

valemit ja näitame, et selle erinevad interpretatsioonid viivad erinevatele massi kontseptsioonidele: üks viib vältimatult relatiivsele massile, teine invariantsele massile. Vaatame ka Einsteini tekstidest väljaloetavaid interpreteerimisi. Seejärel vaatame, kuidas tuleb kohandada relatiivsusteooriale kahte Newtoni mehaanikavalemit. Neist esimeses, impulsivalemis on mass kordajaks impulsi ja kiiruse, teises, jõuvalemis, jõu ja kiirenduse vahel. Ka siin on erinevaid võimalusi saadud valemite interpreteerimiseks. Edasi näitame, miks relatiivsusteooria geomeetrilise, nelivektor-formalismi seisukohalt tuleks eelistada invariantse massi kasutamist. Artikli lõpuosas vaagime kahe massi probleeme pedagoogikas. Nii selles kui eelnevates osades toome invariantse ja ka relatiivse massi mõiste pooldajate argumente.

## ***Einsteini kuulus valem ja mass***

Üheks sõlmpunktiks, mille ümber kahe vaidluspoole debatid keerlevad, on saanud Einsteini kuulus massi ja energiat siduv valem. Vaidluspooled interpreteerivad seda valemit erinevalt ja saavad sel viisil mõlemad sealt endale meelepärase massi mõiste.

Einsteini valem, mis ütleb, et energia võrdub massi ja valguse kiiruse ruudu korrutisega

$$E = mc^2, \quad (1)$$

on kahtlemata kuulsaim ja tuntuim valem füüsikas. Ta on niivõrd tuntud, et on saanud massikultuuri osaks ja jõudnud juba ka päris igapäevaellu, näiteks embleemina T-särkidele. Aga mis tegelikult seisab selle nii tuntud valemi sümbolite taga? Küsimus võib siin tunduda pentsikuna, sest mõni rida tagasi on valem sõnadega ära toodud. Küsimus on siiski omal kohal. Selge on, et nii sümbolid kui sõnad määravad üheselt viimase teguri valemis – valguse kiiruse ruudu. Sest valguse kiirus on universaalne konstant, igäühe jaoks sama, sõltumata inertsiaalsüsteemist, kus teda mõõdetakse. Aga energia ja mass? Kas valemi vasakul poolel on seisva keha energia? Või tähistab  $E$  keha koguenegiat, kus seisuenegiale lisandub keha kui terviku liikumis- ehk kineetiline energia? Vastustest nendele küsimustele sõltub ka massi (sümboli  $m$ ) tähendus. Kui  $E$  on seisuenegia, on mass valemis konstantne suurus. Kui  $E$  taga nähakse koguenegiat, ei saa mass konstantne olla, sest kineetiline energia sõltub kiirusest: kasvab kiiruse kasvades. Kuid siis peab ka mass võrduse paremal poolel sõltuma kiirusest ja kasvama kiiruse kasvades.

Kui mass sõltub kiirusest, on ta relatiivsusteoorias samasugune suhteline suurus kui aeg ja pikkus. Vaatleja suhtes liikuv kell käib relatiivsusteooria järgi teatavasti aeglasemalt kui seisva vaatleja oma ja keha pikkus lüheneb liikumise sihis. Ja nüüd siis paistab ka liikuva keha mass seisvale vaatlejale suuremana kui sama keha mass paigalolekus. Kui  $E$  taga on tõesti koguenegia, on Einsteini valem tegelikult samasus. Ta ütleb, et mass on energia ja energia on mass. Konstantne kordaja  $c^2$  energia ja massi vahel asja ei muuda. Einstein ja Infeld ütlevad oma kuulsas raamatus “Füüsika evolutsioon” [7], et nii energia kui mass on valuutad. Ainult et mass on kallis ja energia on odav valuuta, sest vahetuskurss  $c^2$  on väga suur. Aga võib valida ka mõõtühikute süsteemi, kus valguse kiiruse arväärtus on 1. Süsteemi, kus  $c = 1$  ja sama väärtus on ka modifitseeritud Plancki ehk Diraci

konstandil ( $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1$ ), kasutatakse kvantteooriates. See lihtsustab tublisti valemiteid ja

väljateoreetilisi arvutusi. Niisuguse süsteemi valikul võib Einsteini valemit anda kujul

$$E = mc^2, \quad (2)$$

kus energia ja mass on üks ja sama "valuuta". Nii või teisiti, olgu  $c$  arväärtus kas  $3 \cdot 10^8$  või 1, kõik see ei muuda järeldust, et  $E$  koguenergia olles on energia ja mass ekvivalentsed. Aga seda, et  $E$  tähistab Einsteini valemis koguenergia, väidavadki relatiivse massi pooldajad. Valemite veidi ümber kirjutades saavad nad sellest massi definitsiooni: keha mass võrdub tema koguenergia ja valguse kiiruse ruudu jagatisega

$$m = \frac{E}{c^2}. \quad (3)$$

Ilma seisumassi mõisteta relatiivse massi pooldajad läbi ei saa, kuid see mass on vaid üks punkt kiirusest sõltuval massiskaalal. Juhul kui keha seisab, on valemite (1) ja (3) seisumass  $m_0$  ja Einsteini valem seisva keha korral kirjutatakse kujul

$$E_0 = m_0 c^2. \quad (4)$$

Kiirusega  $\vec{v}$  liikuva keha mass avaldub seisumassi kaudu valemiga

$$m = \gamma m_0, \quad (5)$$

kus

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (6)$$

Seisumassi ja kinemaatilise teguri  $\gamma$  abil võib Einsteini valemit nüüd anda uuel kujul:

$$E = \gamma m_0 c^2. \quad (7)$$

Kinemaatiline tegur, mis relatiivsusteoorias annab ka aja aeglustumise (dilatatsiooni) ja pikkuste lühenemise (kontraktsiooni) kiirusel  $\vec{v}$ , määrab valemis (5) massi  $m$  käitumise keha kiiruse suurenemisel. Mass kasvab kiiruse kasvades ja seda kiiremini, mida lähemale jõuab keha kiirus

valguse kiirusele. Piirkiirusel  $v = c$  muutub mass lõpmatuks. Nagu Newtoni mass, on ka kiirusest sõltuv ehk relatiivne mass aditiivne. Ka siin võrdub liitkeha mass tema koostisosade masside summaga ja isoleeritud süsteemi mass on jääv suurus. Kui mass on ekvivalentne energiaga ja energia on jääv suurus, on relatiivse massi jäävus loomulik. Massita osakesi relatiivse massi teoorias ei ole. Footonil on mass, mis võrdub footoni energiaga. Et seisumassita osakesed liiguvad kõik valguse kiirusega, ei vii energiast sõltuvus siin kiirusest sõltuvusele. Energia sõltub footoni võnkesagedusest, kasvades sageduse suurenemisega.

Niisugune on relatiivse massi kontseptsioon. Võrreldes Newtoni massiga on siin kiirusest sõltumatuse kaotamisega kaotatud ka massi kui keha sisemise omaduse mõiste, sest keha kui terviku liikumise kiirus pole tema sisemine omadus, vaid tema omadus aja ja ruumi suhtes.

Teistmoodi interpreteerivad Einsteini valemit invariantse massi pooldajad. Nende arvates seisab sümboli  $E$  taga vaid seisenergia  $E_0$ , mis tulebki valemis (1)  $E$  asemele kirjutada. Sellega näevad nad Einsteini tuletatud valemit kujus

$$E_0 = mc^2. \quad (8)$$

Kuigi Einsteini valem kehtib nüüd vaid seisva keha korral, ei vaja massi tähistus  $m$  indeksina nullikest, sest mingit teist massi ei olegi. Mass ei sõltu kiirusest ja läheb ka valemitesse, kus keha liigub, ikka samana. Seisenergia vajab indeksit, sest liikuvate kehade korral energia muutub. Invariantse massi kontseptsiooni järgi ütleb Einsteini valem, et mass on seisva keha energia mõõt. Sellega defineeritakse mass kui keha seisenergia ja valguse kiiruse ruudu jagatis:

$$m = \frac{E_0}{c^2}. \quad (9)$$

Invariantse massi korral on iga mass energia, kuid iga energia ei ole mass. Energia ja massi täielikku ekvivalentsust ei ole. Invariantne mass ei ole aditiivne. Liitkehade mass moodustub tema osiste masside summast ja kõigi osiste kineetilisest energiast. Nii sõltub liitkehade korral ka invariantne mass liikumisenergiast, kuid mitte keha kui terviku liikumisenergiast, vaid tema osiste liikumisenergiast keha sees. Invariantse massi korral võivad eksisteerida ka massita osakesed. Praeguste teadmiste järgi on sellisteks osakesteks footonid. Niisugune on invariantse massi kontseptsioon.

Püüame nüüd leida vastust küsimusele, kumb Einsteini valemi ülaltoodud interpretatsioonidest on õigem. Vaatame, kas leiame vastuse Einsteini enese töödest. Ennekõike vaatame tema pioneerlikku tööd, kus ta oma kuulsaks saanud valemi tuletab. See, 1905. aasta sügisel ajakirja "*Annalen der Physik*" saadetud artikkel [8] kannab pealkirja "Kas keha inerts sõltub tema energiasaldusest?" ja on nagu postskriptumiks sama aasta juunis samale ajakirjale saadetud relatiivsusteooria sünnitanud põhitööle "Liikuvate kehade elektrodünaamikast" [9]. Einstein analüüsib siin mõttelist protsessi, kus keha kiirgab üheaegselt vastassuundades kaks valguslainet. Esmalt vaatab ta protsessi keha seisusüsteemiks oleva vaatleja seisukohast, seejärel keha suhtes väikese kiirusega liikuva vaatleja seisukohast. Kasutades energia jäävust võrrutab ta mõlema vaatleja süsteemis protsessi algoleku energia lõppoleku energiaga. Saanud nii kaks võrrandit, lahutab ta paigaloleva süsteemi võrrandi liikuva süsteemi omast. Saadud tulemist teeb ta järelduse: "Kui keha



annab radiatsioonina ära energiahulga  $L$ , siis tema mass väheneb  $L/V^2$  võrra". Sellest teeb ta üldisema järelduse: "Keha mass on tema energiasalduse mõõduks: kui energia muutub  $L$  võrra, siis tema mass muutub samas mõttes  $L/9 \cdot 10^{20}$  võrra, kui energiat mõõdetakse ergides ja massi grammides."

See üldisem järeldus ongi Einsteini kuulsale valemi esmaesitus, antud sõnade kaudu, lisaks kasutatud vaid üht tähistust ja üht arvu – valguse kiiruse ruudu mõõtarvu tekstis toodud ühikutes. Nüüdistähistustes ( $L=E$ ,  $V=c$ ) näeks esmaesitus valemina välja nii:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}. \quad (10)$$

Aga me võiksime  $\Delta E$  asemel rahuliku südamega  $\Delta E_0$  panna, sest tegemist on siin päris kindlasti seisueenergia muuduga. Sellele viitab juba artikli pealkirjas olev sõnapaar "keha energiasaldus", aga ka valemi tuletuskäik, kus lähtutakse seisvast kehast ja arutluste tulemusel leitud avaldist võrreldakse eelmises, põhitöös tuletatud relativistliku kineetilise energia valemiga

$$W = \mu V^2 \left\{ \frac{1}{\left[ 1 - \frac{v^2}{V^2} \right]^{1/2}} - 1 \right\}, \quad (11)$$

kus  $\mu$  tähistab täiesti kindlasti invariantset massi.

Tegelikult on juba selles, eelmise töö valemis, seisva keha energia. Ja koguni kahes kohas, ühes kohas ilmselt, teises kohas peidus seal, mida varsti hakatakse nimetama relativistlikuks energiaks või koguenergiaks, millist mõistet ka meie oleme kasutanud.

Tõepoolest, tuues ka selle valemi nüüdistähistustes ja kirjutades tema parema poole kahe eraldi liikmena, saame:

$$W = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - mc^2. \quad (12)$$

Arendades nüüd esimese liikme  $v^2/c^2$  järgi ritta, saamegi avaldise

$$W = mc^2 + \frac{mv^2}{2} + \frac{3mv^4}{8c^2} + \dots - mc^2, \quad (13)$$

kust juba mõlemad seisueenergia liikmed on ilmsel kujul näha. Need konstantsed liikmed koonduvad, jättes relativistliku kineetilise energia avaldise kiirusest sõltuvate liikmete reana.

Seega võib öelda, et kahes esimeses relatiivsusteooriat loovas artiklis kasutab Einstein vaid invariantset massi.

Edaspidiste töödega teeb Einstein aga pildi kirjumaks ja segasemaks. Okunit [5] uskudes on järgmisel 1906. aastal ikka samas ajakirjas ilmutatud artiklis [10], mille tekstist saab välja lugeda, et autor peab seda eelmise töö edasiarenduseks, massi mõiste laialivalgavam. Et siin räägitakse juba massi ja energia täielikust ekvivalentsusest, näitab relatiivse massi sissetoomist. Järgmise, 1907. aasta töös [11] on mass taas ekvivalentne vaid seisueenergiaga, muutub aga 1911. aastal publitseeritud artiklis [12] jälle relatiivseks massiks. Einstein pole oma interpretatsioonides järjekindel ja varustab nendega niimoodi mõlemaid hilisemaid vaidluspooli. Paistab, et vanuigi on Einstein siiski võtnud kindla, vaid invariantse massi mõiste kasutamist toetava positsiooni. Tema 1948. aastal teadusajakirjanik Lincoln Barnettile saadetud kirjas on read: "Ei ole hea rääkida keha

massist  $M = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ , kuna M jaoks ei ole selget definitsiooni. Parem on piirduda seisumassiga m.

Lisaks sellele, kui tahetakse näidata liikuvate kehade inertsiaalset käitumist, võib kasutada impulsi ja energia avaldise.<sup>1)</sup> Selge positsioon. Aga see ei muuda enam midagi. Kiirusest sõltuv mass on muutunud juba üldiseks arusaamaks ja valitsenud pea kolm aastakümnet.

On arvatud, et kui Einstein oleks üksikasjalikumalt ja järjekindlamalt oma 1905. aastal ilmunud töid seletanud ja ka edaspidi hoidnud kinni vaid invariantse massi mõistest, poleks kiirusest sõltuval massil kahekümnendatel aastatel enam elujõudu olnud. Kas see oleks nii olnud? Vaatame reaalselt olukorda. Kiirusest sõltuva massi mõiste, nagu juba eespool mainitud, ei tekkinud koos relatiivsusteooriaga või pärast seda, vaid varem. Samuti ei hakanud Einstein oma kuulsaks saanud valemit tuletama puhtalt lehelt. Massi ja energia vahekorra probleeme arutavad 19. ja 20. sajandi vahetuse paiku paljud teadlased. Tekib arusaam massist kui energiast. Arendatavas elektromagnetilise massi teorias (mis hiljem kinnitust ei leidnud) hakkab mass sõltuma kiirusest. Juba 1881. aastal, uurides aeglaselt liikuva laetud sfääri genereeritud elektromagnetilist energiat, leiab J.J. Thomson, et elektrifitseerimisel on sama mõju, nagu oleks sfääri mass suurenenud [13]. 1902. aastal arvab Max Abraham, et kogu elektroni mass võib olla elektromagnetiline [14]. Ideed, et elektroni mass on eranditult elektromagnetiline, et tal pole üldsegi materiaalselt massi, toetavad paljud teadlased. Eriti pärast seda, kui Abrahami järgmisel aastal arendatud laetud sfäärilise elektroni mudeli järeldus elektroni massi suurenemisest tema kiiruse kasvuga leiab kinnituse Walter Kaufmanni katsetes [15]. Siiski, nagu pärast selgub, tegelikult see massi muutumist ei näita. Kiirusest sõltuva massi mõiste toob esimesena selgelt teoriasse Hendrik Lorentz juba 1899. aastal [16] ja 1904. aastal esitab ta oma teooria edasiarenduse [17]. Lorentz seob elektromagnetilise massi uurimise kahe, longitudinaalse ja transversaalse massiga. Esimene toimib siis, kui kiirendav jõud mõjub piki kiirendatava keha liikumissuunda, ja teine siis, kui jõud mõjub risti keha liikumissuunaga. Need, suupärasemalt öelduna, piki- ja põikmassid muutuvad tollal nii teoreetiliselt kui

<sup>1)</sup> Autori tõlge Einsteini saksakeelsest kirjast [6], mis adressaadile inglise keelde tõlgiti.

eksperimentaalselt väga populaarseteks uurimisobjektideks. Juba sajandi algusest toimuvad katsed  $\beta$ -kiirtega (elektronidega), mida erinevate magnet- ja elektriväljadega kallutatakse, tegemaks kindlaks piki- ja põikmasside sõltuvust kiirusest. Ja õige pea tõestavadki Walter Kaufmanni eespool mainitud katsed, et põikmass sõltub kiirusest. Katse interpreteerimisega on üksjagu raskusi. Millise massi kohta leitud tulemused käivad? Et katses oli tegemist just põikmassi kiirusest sõltuvuse mõõtmisega, arvatakse sellest, et katses rakendatav magnetjõud mõjub risti  $\beta$ -osakeste liikumissuunaga. Nagu juba öeldud, ei mõõda need katsed ei piki- ega põikmassi kiirusest sõltuvust: tegelikult mõõdetakse taoliste katsetega impulsi sõltuvust kiirusest. Sellest seisukohast vaadates ei kinnita esimesed katsed relatiivsusteooriat. Tänu katsetundlikkuse suurenemisele hakatakse kooskõlale jõudma läinud sajandi teise kümnendi keskel. Aga nii piki- kui põikmassi uurijate kui ka veidi hilisemate, juba pärast relatiivsusteooria loomist publitseeritud C.Lewise, R.Tolmani [18] ja R.Tolmani [19] tööde aluseks on Newtoni mehaanika võrrandite transportimine relativistlikku piirkonda.<sup>2)</sup> On arvatud [5], et just Lewise ja Tolmani töödega, millest viimases veendakse kombinatsiooni  $\gamma m_0$  pidama massiks, kallutati vaekauss relatiivse massi poole. Newtoni valemeid kasutab "ebaseaduslikult" ka Henri Poincaré, kui ta enne Einsteini paneb paberile energiat ja massi seostava valemi [20]. Poincaré vaatab elektromagnetilise välja lainepaketti impulsi ja energiaga nüüdistähistustes vastavalt  $\vec{p}$  ja  $E$ . Poyntingi teoreemi järgi kehtib energia ja impulsi suuruse vahel seos  $p=E/c$ . Poincaré kõrvutab seda, ülimalt relativistlikku valemit, Newtoni mitterelativistliku impulsivalemiga, kuhu kiiruse  $v$  asemele paneb valguse kiiruse, s.o. valemiga  $p=mc$ . Võrdsustades Poyntingi ja oma kehtivuspiirkonnast välja viidud Newtoni valemi vasakud pooled, saabki Poincaré massi ja energia vahele sama seose, mis Einstein 5 aastat hiljem. Et Poincaré võttis energiaks kiirgusenergia, peaks tema saadud valemis lugema massi kiirguse massiks.

Läinud sajandi esimesel paaril kümnendil publitseeritakse veelgi kenake hulk nii kiirusest sõltuva massi mõistet kasutavaid kui massi ja energiat seostavaid töid. Hea ülevaate nendest võib saada W.Fadneri 1988. aastal publitseeritud tööst ja seal toodud viidetest [21] või Abraham Paisi Einsteini-raamatust [22].

Kõigist neist paistab, et kiirusest sõltuva massi mõiste kasutamisel on juba enne relatiivsusteooriat pikk traditsioon ja see jätkub ka pärast relatiivsusteooria sündi. Ka Einstein ise ei pääse selle traditsiooni mõjust ja sellega võivad seletatavad olla tema kõikuvad massi interpretatsioonid. Aga kui Einstein oleks ka algusest lõpuni järjekindlalt invariantse massi taga seisnud, on kahtlane, kas see oleks ajalugu muutnud.

Paljud toleaeagsed teoreetikud ei aktsepteeri relatiivsusteooriat ja tema valemite tõlgendusi. Ka Poincaré ja Lorentzi vaated ei ühti Einsteini omadega. Kõnekas on fakt, et Einstein ei saa Nobeli preemiat ei eri- ega üldrelatiivsusteooria loomise eest, kuigi ettepanekuid tehakse. 1922. aastal saab ta küll 1921. aasta Nobeli preemia, kuid Rootsi Akadeemia poolt Einsteinile saadetud kaaskirjas öeldakse, et Kuninglik Akadeemia andis talle preemia tema teenete eest teoreetilises füüsikas, eriti fotoelektrilise efekti seaduse avastamise eest. Rõhutatakse aga, et arvesse ei võetud relatiivsus- ja gravitatsiooniteooriaga loodud panust, mille väärtus võib kinnitust leida alles tulevikukatsetes [2].

---

<sup>2)</sup> Enne relatiivsusteooriat on Newtoni valemite ebaõige kasutamine arusaadav. Imestama paneb aga, et see jätkub veel pikka aega pärast relatiivsusteooria sündi, mõnedes õppe- ja aimeramatutes kuni uue sajandini.

Ajaloo ironia! Nüüd Nobeli preemia toonud fotoefekti teooria aluseks olevat Einsteini kvantiseeritud elektromagnetvälja ideed peeti pikka aega rumalaks veaks. Einsteinile tema kandideerimisel Preisi Akadeemiasse 1913. a antud soovituskirjas, mille koostajate hulgas on ka Max Planck, kirjutatakse: “Kokkuvõtteks võib öelda, et suurte probleemide hulgas, mille poolest moodne füüsika on nii rikas, võib vaevalt leida ühtegi, millesse Einstein poleks teinud märkimisväärset panust. Et ta võib oma spekulatsioonidega mõnikord mööda lasta, nagu oma valguskvandi hüpoteesiga, ei räägi tema vastu, sest ka kõige täpsematesse teadustesse ei saa ilma mõnikord riskimata tuua täiesti uusi ideid” (tõlgitud M.Veltmani raamatust [23]). Niisugune on tollane aeg. Aga aasta enne Nobeli auhinna andmist Einsteinile kirjutab nooruke üliõpilane Wolfgang Pauli entsüklopeediaartikli “*Relativitätstheorie*” [24], milles ta heidab küll kõrvale piki- ja põikmassid, kuid säilitab kiirusest sõltuva, relatiivse massi mõiste. Inglise keelde tõlgituna [25] saab sellest mitmete põlvkondadele õpperaamat sissejuhatuses relatiivsusteooriasse. Kiirusest sõltuvale massile on antud elujõud enam kui pooleks sajandiks.

### ***Newtoni võrrandid ja relatiivsusteooria***

Ladina keelest tulnud sõna ‘relatiivne’ otsene eestikeelne vaste on ‘suhteline’. Ja nii on ka Newtoni ehk klassikaline mehaanika relativistlik – suhtelisuse, mitte suurte kiiruste piirkonna tähenduses, nagu seda sõna väga tihti kasutatakse. Newtoni mehhaanika on relativistlik, sest ta käsitleb relatiivset suurus – kiirust, mille suurus sõltub taustsüsteemi valikust. Teatavasti nimetatakse taustsüsteeme, kus kehtib Newtoni esimene seadus, inertsiaalsüsteemideks. See seadus väidab, et keha liigub ühtlaselt ja sirgjooneliselt niikaua, kuni temale mõjuv välisjõud ei sunni teda sellist liikumisolekut muutma. Kõik inertsiaalsüsteemid on võrdväärsed ja nendes kehtivad ühed ja samad looduseadused. See tõdemus on teada juba Galileile. Oma kuulsas 1632. aastal kirjutatud raamatus “*Dialogo kahest maailmasüsteemist*” [26] kirjeldab ta värvikalt, kuidas ühegi mehaanilise katsega ei saa laevast välja vaatamata kindlaks teha, kas laev liigub kalda suhtes ühtlaselt sirgjooneliselt või mitte. Liikuv laevas hüpatakse laeva nina ja ahtri poole sama palju nagu liikumatuski, sõbrale ükskõik mis suunas midagi visates läheb vaja ühepalju jõudu nii liikuv kui seisvas laevas. Vesi langeb ülesriputatud pudelist tilkhaaval, sõltumata laeva liikumisest, ikka samasse kohta kui seisvas laevaski, kuigi tilga langemise jooksul on liikuv laev üksjagu edasi liikunud. Laeva kaasa võetud kalad ujuvad ja liblikad lendavad nii seisvas kui liikuv laevas ikka ühtviisi igas suunas ja põlemissuits tõuseb alati otse õhku. Väidet, et mehaaniliste katsetega ei saa eristada ühte inertsiaalsüsteemi teisest, tuntakse kui Galilei relatiivsusprintsipi. Aga võib-olla tuleks relatiivsusprintsipi esmaväljendajat otsida veelgi kaugemast minevikust. Sest peaaegu kaks sajandit enne Galilei ülalmainitud raamatu ilmumist kirjutab kardinal Nicolaus Cusanus 1440. aastal ilmunud raamatus “*De docta ignorantia*” [27]: “Meile on juba selge, et meie Maa tegelikult liigub, kuigi me seda ei märka. Sest liikumist näeme ainult seda millegi liikumatuga võrreldes. Tõesti, kui keegi laeval keset vett ei teaks, et vesi voolab, ja ei näeks kaldaid, kuidas ta siis märkaks laeva liikumist?” (eestikeelne tõlge [28] järgi). Sama kui Galileil või, õigemini, Galileil sama kui Cusanusel. Ainult et ühel on katsed pakutud, teisel mitte. Aga ajalugu kujunes selliseks, et temasse ei jäänud relatiivsusprintsipi teadusesse toojana Rooma Katoliku Kiriku Saksa kardinal Nicolaus Cusanus (ka Nikolaus von Kues, 1401-1464), vaid Galileo Galilei. Matemaatiliselt väljendub Galilei printsip selles, et Newtoni võrrandid ei muutu ühe inertsiaalsüsteemi koordinaatidelt teise inertsiaalsüsteemi koordinaatidele üle minnes. Üleminekuteisendust, mille suhtes võrrandite kujud jäävad samaks, nimetatakse Galilei teisenduseks. Et erinevad inertsiaalsüsteemid liiguvad üksteise suhtes ühtlaselt ja sirgjooneliselt, võib ühe süsteemi

( $S$ ) koordinaatteljed teise süsteemi ( $S'$ ) vastavate telgedega paralleelseks võtta ja lasta süsteemil ( $S'$ ) kulgeda  $S$  suhtes piki ühist  $x(x')$  telge kiirusega  $v$ . Sel juhul  $y$ - ja  $z$ -koordinaat ei teisene ja teisendusvalem on lihtsam:

$$x' = x - vt, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = t. \quad (14)$$

Oluline on Galilei teisendustes see, et aeg ei teisene. Ta on kõikides inertsiaalsüsteemides üks ja sama. Relatiivsusteooria toetub Einsteini relatiivsusprintsibile, mille järgi mitte ainult mehaaniliste, vaid ka suvaliste teiste (optiliste, elektriliste, ...) katsetega pole võimalik inertsiaalsüsteeme eristada. Matemaatiliseks väljenduseks Einsteini printsibile on võrrandite samakujuliseks jäämise nõue Lorentzi teisenduste

$$x' = \gamma(x - vt), \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \gamma\left(t - \frac{vx}{c^2}\right) \quad (15)$$

suhtes.

Lorentzi teisendused sündisid uuringutest, mille keskmes oli küsimus niisuguste lineaarteisenduste leidmisest, mis jätaaks elektrodünaamika võrrandid invariantseteks. Leitud teisendustele andis Lorentzi nime Poincaré [29]. Lorentzi nime järgi hakati kutsuma ka meile juba tuttavat kinemaatilist  $\gamma$ -tegurit teisendustes. Huvitav on fakt, et Galilei teisendused said Galilei nime alles 1909. aastal, kui sellekohase ettepaneku tegi austria füüsik Philipp Frank [30]. Aga Lorentzi teisendustega on sama lugu mis Galilei relatiivsusprintsibiga – mitte Lorentz ei olnud tema nime saanud teisenduste esimene kirjapanija. Selleks oli Woldemar Voigt. Tema näitab juba 1887. aastal [31], et

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{\partial^2}{c^2 dt^2} = 0 \quad (16)$$

tüüpi lainevõrrandid säilitavad koordinaatide lineaarteisendustel

$$x' = x - vt, \quad y' = \frac{y}{\gamma}, \quad z' = \frac{z}{\gamma}, \quad t' = t - \frac{vx}{c^2} \quad (17)$$

oma kuju. Need teisendused on mastaabikordaja täpsusega identsed Lorentzi teisendustega. Voigt kasutab neid teisendusi Doppleri nihke arutamiseks, teeb seda aga ainult juba enne teada oleva täpsuseni, mis võib olla ka üheks põhjuseks, et tema töö jääb tähelepanuta. Lorentz ise tuletab teisenduse samuti mastaabikordaja täpsusega 1899. aastal [16]. Enne teda, 1898. aastal leiab

Lorentzi teisendused juba nüüdiskujus Joseph Larmor [32]. Tõsi, töö ilmub alles aasta pärast Lorentzi tööd. Lorentz ise jõuab nüüdiskujuliste omanimeliste teisendusteni 1904. aastal [17]. Kui Voigt ja Lorentz vaatavad teisendusi vaid matemaatilise võttena, siis Larmor annab neile füüsikalise sisu, näidates, et neid võib kasutada Fitzgeraldi pikkuse kontraktsioonivalemi tuletamiseks.

Aga ka Lorentzi teisenduste juurde viiva relatiivsusprintsiiibi esmaseks kujundajaks pole Einstein, kuigi teda seoses sellega enamasti nimetatakse, nagu ka meie tegime. Selleks on Henri Poincaré. Niisuguse järeldotseni võib jõuda tema 1895-1905 kirjutatud artiklite põhjal. Et aga tervikpilt relatiivsusprintsiiipist kujuneb õige mitmes tema nimetatud perioodi töös väljaõeldust, ei võimalda meie kirjutise maht neid kõiki siinkohal analüüsida. Toome vaid ta viimase selle perioodi töös [29] – selles samas, kus ta Lorentzi teisendustele Lorentzi nime annab – avaldatud mõtte, mis võtab kokku mahuka osa ka eelnevates artiklites väljaõeldust. Seal ütleb Poincaré, et Lorentzi teisenduste aktsepteerimine tähendabki võimatust kindlaks teha absoluutset liikumist.

Põikame nüüd Galilei ja Lorentzi teisenduste juurde tagasi. Galilei ja Lorentzi teisenduste suureks erinevuseks on see, et viimastes teiseneb ka aeg. Lorentzi teisendused näitavad aja ja ruumi suhtelisust: ruum teiseneb siin ajaks ja aeg ruumiks. Lorentzi teisendustest on lihtne tuletada aja aeglustumise ja pikkuste lühenemise valemeid. Aga see pole siin eesmärgiks.

Pärast pikka ettevalmistavat osa oleme nii targad, et peame võimalikuks alustada uurimist, kas ja kui jah, siis kuidas tuleb muuta Newtoni impulsi- ja jõuvalemit relatiivsussteoorias. Newtoni impulsi valem defineerib teatavasti impulsi ehk liikumishulga keha massi ja kiiruse korrutisena

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} . \quad (18)$$

Valem ütleb, et impulss on võrdeline kiirusega. Võrdetegur-mass on siin keha inertsuse näitaja rollis. Võib näidata, et selline impulsi valem on kooskõlas Galilei teisendustega, Lorentzi teisendustega aga mitte. Valem ei ole kooskõlas ka katsega. Impulssi saab katsest otseselt mõõta. Eespool juba mainisime, et läinud sajandi alguses tehtud katsed piki- ja põikmassi kiirusest sõltuvuse tuvastamiseks olid tegelikult impulsi mõõtmise katsed. Katse taga olev füüsika on selline. Kui lasta elektrilaenguga osake, näiteks elektron, homogeenesse magnetvälja risti välja jõujoontega, kaldub osake otseteest kõrvale ja hakkab liikuma mööda ringjoone kaart. Ühtlase kiirusega liikuva keha hoidmiseks ringorbiidil peab kehale mõjuma tema liikumissuunaga risti olev, orbiidi tsentri poole suunatud jõud ( $\vec{F}$ ). Jõud peab olema seda suurem, mida suuremad on keha mass ja kiirus. Teisalt läheb suurema raadiusega ( $R$ ) orbiidi korral vaja väiksemat jõudu, sest siis tuleb keha liikumissuunda vähem kallutada. Selliste omadustega jõud klassikalises mehhaanikas on juba koolikursusest tuttav tsentripetaaljõud

$$F = \frac{mv^2}{R} . \quad (19)$$

Katses on osakese liikumisteid kallutavaks jõuks magnetjõud, mida kirjeldab Lorentzi jõu valem ja on siin määratud magnetvälja tugevuse  $B$ , osakese elektrilaengu  $q$  ja kiiruse  $v$  korrutisega

$$F = Bqv \quad . \quad (20)$$

Võrrutades kahe jõu avaldised ja kasutades Newtoni klassikalist impulsivalemit (18) saame näidata, et impulss võrdub magnetvälja tugevuse, osakese laengu ja tema liikumisorbiidi raadiuse korrutisega

$$p = BqR \quad . \quad (21)$$

Et magnetvälja tugevus ja osakese elektrilaengu suurus on teada, annab osakese liikumiskõvera raadiuse mõõtmine otseselt tema impulsi. Kui katseandmed läinud sajandi teisel kümnendil hakkavad usutavaks minema, selgub, et aeglaste elektronide korral langevad nad Newtoni impulsivalemiga kokku, suuritel kiirustel aga mitte. Siis kasvab impulss mitte võrdeliselt kiirusega, vaid palju kiiremini, ja hoopis järsult siis, kui elektroni kiirused jõuavad lähedale valguse kiirusele. Katseandmed on kooskõlas valemiga, mis saadakse Newtoni valemi parema poole korrutamisel Lorentzi teguriga, s.o.

$$\vec{p} = \gamma m \vec{v} \quad . \quad (22)$$

Katsetulemust pole raske seletada: katse taga oleva füüsika selgitamisel transportisime meiegi klassikalise füüsika valemi suurte kiiruste piirkonda. Relatiivsusteooria on saanud katsetulemust juba mõnda aega oodanud, sest relativistliku impulsi valemi (22) tuletab Max Planck vaid aasta peale relatiivsusteooria sündi [33]. Küsimus on nüüd selles, kuidas interpreteerida Newtoni impulsivalemi kohandamist relatiivsusteooriale  $\gamma$ -teguri sissetoomisega. Eelneva põhjal võib tulemust juba ette öelda: relatiivse, kiirusest sõltuva massiga. Et mitte muuta Newtoni valemi väliskuju, tõlgendatakse massi  $m$  Newtoni valemis seisumassina  $m_0$ . Seisumass ja Lorentzi kordaja  $\gamma$  korrutis on siis relatiivne mass (5). Sellega säilitatakse Newtoni valemi kuju ka relatiivsusteoorias, samas viiakse massi mõiste keha sisemisest omadusest väljapoole.

Aga on ka teine võimalus Newtoni impulsivalemi kohandamiseks relatiivsusteooriale – võimalus siduda  $\gamma$ -tegur mitte massi, vaid kiirusega. Kiirus, teadagi, on läbitud teepikkuse tuletis aja suhtes

$$\vec{v} = \left. \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \right|_{\Delta t=0} = \frac{d\vec{r}}{dt} \quad . \quad (23)$$

Kuid mis aeg võtta kiirusvalemi nimetajasse? Kui seisva kellaga mõõdetud aeg, nimetatakse seda koordinaatajaks, ka tavaajaks, ja kiirust koordinaat- või tavakiiruseks. Aga relatiivsusteoorias on veel

teine aeg – omaaeg. Seda näitab liikuva kehaga kaasaliikuv kell. Kui kiirusvalemis on omaaeg, nimetatakse kiirust omakiiruseks.<sup>3)</sup> Omakiirus on hübriidsuurus, kus läbitud teelõigu pikkust mõõdetakse ühes, tee suhtes liikumatus taustsüsteemis, läbimisaega aga teises, läbija endaga seotud taustsüsteemis. Seetõttu võib omakiiruse mõiste võõristavana näida. Kuigi kasutatakse teda igapäevaelus tihti. Kui kuhugi sõidame, mõõdame läbitud teed teeäärsete kilomeetripostide kaudu, aga aega vaatame oma uurilt või autokellalt. Et meie kiirust ei anna valguse kiirusega võrreldagi, on siin tava- ja omakiiruse vahe kujutlematult väike ja mõõdetamatu, põhimõtteline aga küll. Omaaeg  $\tau$  on tavaajaga seotud Lorentzi teisendustega, seega avaldub jälle Lorentzi teguri kaudu:

$$\tau = \frac{t}{\gamma} . \quad (24)$$

Siit tuleneb seos omakiiruse  $\vec{u}$  ja tavakiiruse  $\vec{v}$  vahel

$$\vec{u} = \gamma \vec{v} . \quad (25)$$

Et  $\gamma > 1$ , on omakiirus suurem kui tavakiirus. Tema kasv tavakiiruse suurenemisel on täpselt sama kui eelpool toodud relatiivse massi oma. Erinevalt tavakiirusest pole omakiirusel seepärast piirangut: kui tavakiirus kasvab, kasvab omakiirus tõkestamata ja muutub tavakiiruse piirväärtusel – valguse kiirusel – lõpmata suureks. Omakiiruse kasutamisel jääb mass Newtoni impulsivalemis ka relatiivsusteoorias invariantseks ja väljendab keha sisemist omadust. Ja, samuti kui relatiivse massi korral, võib impulsivalemit anda Newtoni kujus, ainult omakiirusega tavakiiruse asemel:

$$\vec{p} = m\vec{u} . \quad (26)$$

Kumb tee on õigem? Kas minek Newtoni massilt relatiivsele massile või tavakiiruselt omakiirusele? Vastame sellele küsimusele veidi hiljem. Enne vaatame veel, millise kuju võtab relatiivsusteoorias Newtoni jõuvalem ja kuidas seda interpreteeritakse relatiivse ja invariantse massi seisukohtadelt. Newtoni jõuvalem, mis ütleb, et jõud on võrdne kiirendatava keha massi ja kiirenduse korrutisega

---

<sup>3)</sup> Omaaeg ja omakiirus on põhilised mõisted neljamõõtmelise aegruumi kasutatavas formalismis. Nendest ja nende tähendustest räägime järgmises osas.



$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (27)$$

on ka juba kooliajast tuttavaks saanud valem. Ta näitab, et kehale rakendatud jõu mõjul saab keha jõu suunalise kiirenduse, mille suurus sõltub keha massist. Aga see valem pole esmane, vaid tuletatud üldisemast. Üldine jõuvalem antakse impulsi muudu kaudu. Vaba keha liigub muutumatu impulsiiga. Impulsi muutuse tekitab väline jõud. Niisiis

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (28)$$

Newtoni teoorias on valemid (27) ja (28) samaväärsed, sest impulsivalemis (18) muutub ajas vaid kiirus ja selle muut ongi kiirendus:

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} \quad (29)$$

Relatiivsusteoorias on impulsivalemi paremal poolel veel kiirusest sõltuv  $\gamma$ -tegur (22), ja siin pole valemid enam samaväärsed. Impulsi muutuse kaudu defineeritud jõuvalem on keerulisem. Selle võib anda kujus [5]

$$\vec{F} - \frac{(\vec{F} \cdot \vec{v})\vec{v}}{c^2} = m\gamma\vec{a} \quad (30)$$

Selleni pole raske jõuda. Kasutades relativistliku impulsi valemit saame

$$\vec{F} = \frac{d}{dt}(m\gamma\vec{v}) = m \left( \frac{\gamma d\vec{v}}{dt} + \frac{\vec{v} d\gamma}{dt} \right) = m\gamma \left[ \vec{a} + \gamma^2 \frac{\vec{v} (\vec{a} \cdot \vec{v})}{c} \right] \quad (31)$$

Korrutades seda  $\vec{v}$ -ga, saame

$$\vec{a} \cdot \vec{v} = \frac{\vec{F} \cdot \vec{v}}{m\gamma \left( 1 + \gamma^2 \frac{\vec{v}^2}{c^2} \right)} = \frac{\vec{F} \cdot \vec{v}}{m\gamma^3} \quad (32)$$

Selle tulemuse tagasiviimine esialgsesse võrrandisse (31) viibki valemiga (30) antud relativistliku jõu valemieni. Valem näitab, et jõu tekitatud kiirendus ei ole enam tekitava jõu suunaline, sest valemis on ka kiiruse suunaline liige, mille suurus sõltub peale kiiruse veel nurgast jõu ja kiiruse vahel. Kiirendus on jõu suunas vaid juhtudel, kui jõud mõjub kas piki keha liikumissuunda või sellega risti. Kui  $\vec{F} \parallel \vec{v}$ , siis

$$\vec{F} = \gamma^3 m \vec{a}, \quad (33)$$

kui  $\vec{F} \perp \vec{v}$ , siis

$$\vec{F} = \gamma m \vec{a}. \quad (34)$$

Ja  $\gamma^3 m$  ning  $\gamma m$  nendes valemities ongi need kiirusest sõltuvad piki- ja põikmassid, mida möödunud sajandi algul intensiivselt uuriti. Leitud jõuvalemid näitavad, et Newtoni liikumisvõrrandid üldiselt muudavad relatiivsusteoorias oma kuju. Neid ei saa alati massi või kiiruse mõiste muutumisega viia samasse kujju kui klassikalises teoorias. Impulsivalemiga oli see võimalik, üldiselt siiski mitte. Veel näitavad valemid, et massi on kergem kiirendada risti tema liikumissuunaga kui piki liikumissuunda. Ja siin ütlevad muutumatu massi pooldajad, et kui seda asjaolu põhjustav  $\gamma$ -tegur kuulub massi juurde, tundub kummalisena, et kehal on rohkem massi liikumissuunas ja vähem ristisuunas. See muudab relatiivse massi mõiste kasutamise keerulisemaks, kui arvata võis. Lihtsam on võtta mass invariantseks, mis viib suunast sõltuvuse massist eraldatud  $\gamma$ -tegurisse. Selline valik säilitab ka massi kui keha sisemise omaduse. Relatiivne mass seevastu on siin peale keha sisemise omaduse ( $m_0$  kaudu), kiiruse  $\vec{v}$  kaudu sõltuv vaatelejast ja jõu suuna kaudu ka jõu rakendajast [4].

Relatiivse massi kaitsjatel on siin vastuväide. Kiirusest sõltuva massi korral saame tuletise reegleid kasutades

$$\vec{F}' = m \vec{a} + \vec{v} \frac{dm}{dt}, \quad (35)$$

mis näitab, et  $\vec{F} = m \vec{a}$  kehtib vaid siis, kui  $m$  on konstant. Aga kiirusest sõltuv mass  $m = \gamma m_0$  on konstantne vaid siis, kui kiirus on konstantne. Kiirus on konstantne omakorda siis, kui jõud ja kiirus on risti. Ja seepärast annab relatiivse massi definitsioon seisumassi  $m_0$  ja  $\gamma$  kaudu "transversaalse" massi. Tegelikult on see ikkagi relatiivne mass, mis ei vaja seda teist nime. Aga piki- või, üldisemalt, nurgast sõltuv mass on eksitud, mis tulenevad mittekorrektsest katsest kasutada massi definitsioonina

$m = \frac{|\vec{F}|}{|\vec{a}|}$  ka siis kui  $\vec{F} \neq m \vec{a}$  [34]. Vajab siiski täpsemat uurimist, kas sellega on ülaltoodud kriitikale

ammendavalt vastatud. Küll on relativistliku jõu valemist (30) kerge näha, et nii relatiivse kui

invariantse massi korral ei ole jõud võrdne massi ja kiirenduse korrutisega. Seetõttu ei saa inertset massi defineerida kui jõu ja kiirenduse jagatist: kuna tulemus sõltub jõu ja kiiruse vahelisest nurgast, poleks mass üheselt määratav. Relativistlikus füüsikas pole mass enam keha inertsi mõõduks.

## **Mass ja geomeetria**

Näitame siin, et relatiivse massi mõiste ei ole kooskõlas relatiivsusteooria nelivektor-formalismi kasutava geomeetrilise variandiga.

Aja ja ruumi suhtelisus, nende muutumine teineteiseks Lorentzi teisendustel viib Saksamaal töötava matemaatiku ja füüsiku Hermann Minkowski mõned aastad pärast relatiivsusteooria sündi mõttele võtta uues teoorias kasutusele neljamõõtmeline ruum, kus kolmele ruumikoordinaadile lisandub ajakoordinaat [35]. Neljamõõtmelises kirjeldamises on otstarbekas teha kõik koordinaadid ühe ja sama dimensiooniliseks. Selleks korrutatakse ajakoordinaati valguse kiirusega. Saadud uus ajakoordinaat  $ct$  on nüüd nagu kolm ruumikoordinaatigi pikkuse dimensiooniga, mis tähendab, et ka aega mõõdetakse pikkusega. Vastupidine on tuntud astronoomias, kus kaugusi mõõdetakse valgusaastates. Ka siin ei saa ütlemata jätta, et Minkowski polnud mitte esimene neljamõõtmelise formalismi kasutaja. Aega neljanda koordinaadina kasutab juba ligi sada aastat enne teda prantsuse matemaatik ja mehaanikateadlane Joseph Lagrange ja hiljem veel teisi. Aga kõigil nendel on aeg ja ruumikoordinaadid üksteisest sõltumatud ja nende ühendamine puht formaalne. Minkowski aeg-ruum on sündmuste ruum, kus iga punkt on määratud ajaga ja asukohaga ruumis. Liikumisjoont selles ruumis nimetatakse maailmajooneks.

Minkowski neljamõõtmelise aegruumi kasutamisega muutub relatiivsusteooria geomeetriliseks teooriaks, kus väga tähtsat rolli mängivad neljakomponendilised vektorid. Nende prototüübiks on kohavektor (nihkevektor)  $\vec{R}$ <sup>4)</sup>

$$\vec{R} = (ct, x, y, z) . \quad (36)$$

Lorentzi teisendustele vastab koordinaatide pööramine Minkowski aeg-ruumis. Vektori koordinaadid muutuvad, kuid nagu pööretel kolmruumis ei muutu kolmvektori ruut, ei muutu Lorentzi teisendustel nelivektori ruut. Erinevalt eukleidilisest kolmvektorist, kus vektori ruut võrdub tema komponentide ruutude summaga, on Minkowski ruum pseudoeukleidiline ja siin on vektori ruudu valemis ajakoordinaadi ruudu ja ruumikoordinaatide ruutude ees erinevad märgid. Seetõttu võib nihkevektori ruut olla kas positiivne, negatiivne või võrduda nulliga. Selle järgi eristatakse ajasarnaseid, ruumisarnaseid ja isotroopseid nelivektoreid. Kuid see ei muuda vektori ruudu invariantust. Lorentzi teisendustel jääb ta muutumatuks. Lähtudes nihkevektorist saadakse neljakomponendiline impulsi-vektor ehk neli-impulss. Selleks diferentseeritakse nihkevektorit omaaja järgi ja saadakse omakiiruse nelivektor (nelikiirus):

---

<sup>4)</sup> Nüüd ja edaspidi tähistame nelivektoreid suurte tähtedega.

$$\vec{V} = \frac{d\vec{R}}{d\tau} = \left( c \frac{dt}{d\tau}, \frac{d\vec{r}}{d\tau} \right) = \left( \gamma c \frac{dt}{dt}, \gamma \frac{dx}{dt}, \gamma \frac{dy}{dt}, \gamma \frac{dz}{dt} \right) = (\gamma c, \gamma v_x, \gamma v_y, \gamma v_z) = (\gamma c, \gamma \vec{v}), \quad (37)$$

kus  $d\tau$  on invariantne aeg, mis kulub objektile löigu  $d\vec{r}$  läbimiseks ja mis on mõõdetud objektiga kaasaliikuva kellaga. Tema invariantseuse tõttu on ka omakiiruse nelivektor Lorentzi vektor, ehk teisisõnu, teiseneb seetõttu nagu nihkevektor. Kui korrutada omakiiruse nelivektor massiga, saadaksegi impulsi nelivektor ehk neli-impulss:

$$\vec{P} = m \vec{V} = (m c \gamma, m \gamma v_x, m \gamma v_y, m \gamma v_z) = (m c \gamma, m \gamma \vec{v}). \quad (38)$$

Et neli-impulss oleks Lorentzi vektor, peab mass  $m$  olema Lorentzi teisenduste suhtes invariantne, ehk meile juba tuttav kiirusest sõltumatu invariantne mass. On üsna lihtne näidata, et invariantse massi korral on neli-impulsi ruut konstantne suurus. Tõepoolest,

$$|\vec{P}|^2 = (m\gamma c)^2 - (m\gamma\vec{v})^2 = m^2\gamma^2(c^2 - \vec{v}^2) = \frac{m^2}{1 - \frac{\vec{v}^2}{c^2}}(c^2 - \vec{v}^2) = m^2 c^2. \quad (39)$$

Valemist (39) saame kirjutada seose

$$m^2\gamma^2 c^2 - (m\gamma\vec{v})^2 = m^2 c^2. \quad (40)$$

Et  $m\gamma c^2$  on võrdne relativistliku energiaga ehk koguenegiaga (valem (7), kus  $m_0=m$ ),  $m\gamma\vec{v}$  aga relativistliku impulsi (22), saame impulsi nelivektori anda koguenegia  $E$  ja kolmimpulsi  $\vec{p}$  kaudu

$$\vec{P} = \left( \frac{E}{c}, \vec{p} \right). \quad (41)$$

Sellisenä kutsutakse teda energia-impulsi nelivektoriks. Rõhutame siin, et sarnaselt nihkevektori koordinaatidele  $ct$  ja  $\vec{r}$  on ka  $\frac{E}{c}$  ja  $\vec{p}$  nelivektori koordinaadid, mis muutuvad üleminekul ühest inertsiaalsüsteemist teise vastavalt Lorentzi teisendustele. Energia-impulsi nelivektori ruut annab tähtsa seose energia, kolmimpulsi ja massi vahel:

$$\frac{E^2}{c^2} - \vec{p}^2 = m^2 c^2. \quad (42)$$

Valem ütleb, et mass on antud Lorentzi vektori – energia-impulsi nelivektori – ruuduga ja on seetõttu invariantne Lorentzi teisenduste suhtes. Ehk teisisõnu, mass ei sõltu kiirusest. Relatiivse massi korral sarnast geomeetrilist relatiivsusteooriat arendada ei saa. Diferentseerides kohavektorit tavaaja järgi, saame neljakomponendilise suuruse, mis ei ole aga Lorentzi vektor, sest tavaaeg, mille järgi diferentseeritakse, muutub Lorentzi teisendustel ja rikub sellega saadud suuruse Lorentz-loomuse. Võib ju selle saadud mitte-Lorentzi vektori korrutada relatiivse massiga ja saada sama neli-impulss mis invariantse massi teoorias. Aga see pole õige teooria, kus üks neljakomponendiline suurus, nihkevektor, on Lorentzi vektor, aga see suurus, mis peaks kiirus olema, ei ole. Ja veel. Nelivektorid tulevad teooriasse tänu aeg-ruumi kinemaatilistele omadustele – sümmeetriatele. Sellise neli-impulsi tuletuskäiguga öeldakse, et aeg-ruum pole küllalt sümmeetriline ja pannakse massile selle “ebasümmeetria” parandaja roll. Sellepärast tegutseb valdav osa relatiivse massi pooldajaid teisiti. Nad tuletavad neli-impulsi täpselt samuti nagu tehakse invariantse massi teoorias: diferentseerivad nihkevektorit omaaja järgi ja korrutavad saadud Lorentzi nelikiirusvektorit invariantse massiga, mis nende jaoks on seisumass  $m_0$ . Saadud neli-impulsi avaldises võtavad nad aga omakiiruselt  $\gamma$ -teguri ja “kingivad” selle seisumassile, mis koos  $\gamma$ -teguriga muutub siis relatiivseks massiks [36]. Aga kordame jälle! Just kiirus kui pikkuse ja aja suhe on seotud aeg-ruumi sümmeetriaga, mitte mass. Newtoni massi relativistlik moderniseerimine, tema muutmine kiirusest sõltuvaks, viib vastuollu relatiivsusteooria enese esialgsest modernsema, geomeetrilise käsitlusega. Kui me eespool küsisime, kumb viis Newtoni impulsvalemi muutmisel, kas Newtoni massi muutmine kiirusest sõltuvaks või kiiruse enese muutmine tavakiirusest omakiiruseks on õigem, siis nüüd saame anda vastuse: relatiivsusteooria neljamõõtmelise geomeetrilise käsitluse seisukohalt on eelistatavam viimane meetod. Relatiivse massi mõiste on vastuolus Einsteini relatiivsusteooria geomeetrilise esituse põhisümmeetriaga – neljamõõtmelise aeg-ruumi sümmeetriaga. Loomulikult ei saa öelda, et relatiivse massi kasutamine oleks seetõttu vale. Einsteini relatiivsusteooria originaalvariandis, mehaanilises formalismis, kus aega ja ruumi pole ühtseks aeg-ruumiks ühendatud, kiirusest sõltuva massiga vastuolu ei teki. Mehaanilises formalismis kasutatavad mõisted – kiirus, impulss, jõud jne., kuigi suurem osa neist teise valemiga antud, on Newtoni mehaanikale lähemal, kui enam matemaatilise Minkowski formalismi mõisted – aeg-ruum, nelikiirus, neli-impulss, ruumisarnane vektor, maailmajoon, ... . Seetõttu võiks arvata, et relatiivsusteooria omandamine, sellest aru saamine on siin lihtsam. See ongi relatiivse massi tarvitajate seisukoht. Invariantse massi kaitsjate enamik nii ei arva. Nende jaoks on just Minkowski teooriaga õpetamine lihtsam ja segadusi vältiv. Mõlemal poolel jälle oma arvamus. Neid vaagime meie kirjatöö viimases osas. Aga seda võib küll öelda, et kui Minkowski meetod on omandatud, näeb paljusid asju lihtsamini ja selgemini kui mehaanilises formalismis. Abraham Pais [22] nimetab geomeetrilist meetodit suureks formaalseks lihtsustajaks.

Einsteinile ei jäta Minkowski teooria esialgu erilist muljet. See paistab talle pigem relatiivsusteooria segaseks ajajana, mitte lihtsustajana. Aga umbes nelja aasta pärast, olles Minkowski meetodi omandanud, tema suhtumine sellesse paraneb. Ja peale üldrelatiivsusteooria loomist (1916) ta juba tunnustab Minkowski selle eest, et Minkowski geomeetriline teooria kergendas tal üleminekut erirelatiivsusteoorialt üldrelatiivsusteooriale. Koos teaduse kaugenemisega igapäevapraktikast ta matematiseerub üha rohkem. Ka matemaatika kaugeneb senikasutatust.

Einsteini teooriale sobib geomeetiline lähenemine enam kui esialgne mehaaniline. Üldrelatiivsusteooria ei saa üldse ilma geomeetriata läbi. Minkowski neljakomponendilist formalismi vajavad ka hiljem tekkinud teadusharud. Keegi ei kujuta ette, et elementaarosakeste füüsikas või mõnes teises teadusharus tehakse kvantväljateoreetilisi arvutusi ilma nelivektori formalismi kasutamata. Ka relatiivse massi pooldajad mitte.

Ülaltoodud spekulatsioonid erinevate mõistete ja matemaatiliste formalismide kasutamisest võivad kergitada küsimuse, kas kahe massi probleemi relatiivsusteoorias üldse ongi. Kui kogu asi taandub erinevatele formalismidele ja mõistetele, on ta definiitne. Massi võib defineerida üht ja teistpidi, kasutada üht või teist formalismi, aga teooria viib ikka ühtedele ja samadele katseliselt kontrollitavatele järeldustele. Sest valemid, need, millest mõõdetavad efektid leitakse, on sisuliselt samad. Nii et katse kontseptsioone ei erista. Milleks siis vaielda?

Invariantse massi leer on siin siiski teisel seisukohal. Küsimus on selles, kas defineeritud suurus täidab teoorias fundamentaalset, teooriaga orgaaniliselt seotud rolli, kas ta on hädavajalik, ilma milleta läbi ei saa ja mida kasutavad ka teised arenevad teadusharud, mis relatiivsusteooriaga seotud. Selline on invariantse massi mõiste. Või on defineeritud suurus tehisklik, pole teooriaga orgaaniliselt seotud, pigem lõhub teda. Ilma temata saab läbi, sest enne teda on defineeritud temaga ekvivalentne suurus. Teda ei kasuta ka arenevad modernsed teadusharud. Selline on relatiivne mass. Kumba eelistada?

Võib-olla võiks siin otsese vastuse asemel vastata ühe lauselõiguga Austraalia kirjaniku Alan Marshalli tuntud raamatust "Ma suudan hüpata üle lompile". See lauselõik ütleb, et suur osa asju, mis pole valed, ei pruugi olla ka päris õiged.

### **Mass ja pedagoogika**

Kumba massi kontseptsiooni kasutada pole niivõrd teaduse kui pedagoogika küsimus. Liiatigi veel praegusel ajal, kui teadlased on oma valiku juba teinud. Teine lugu on pedagoogikaga. Siin on probleemid teravamad. Neid oli, on ja jätkub tulevikuski. Sellest tingituna on neile ka diskussioonides pöörõhk pandud. Meenutame Brehme artiklit, mis tegeliku diskussiooni algatas. Juba tema pealkiri ütleb, mille üle diskuteerida tahetakse: "Nelivektoriga relatiivsusteooria õpetamise eelised". Õpetamisprobleemid on ka edaspidiste debattide keskmes. Ja just nendest tekibki akadeemiline sõnasõda kahe vaidleva poole vahel. Kõik kolm artiklit, nii Adleri artikkel kui kaks Okuni artiklit, mida kirjatöö algul sõnasõja põhjusena mainisime, on pedagoogiliste probleemide ajendatud.

Pisut enam kui 20 aastat tagasi, pärast esimest õppepäeva keskkoolis (*high school*) küsib üks Ameerika koolipoiss isalt: "Paps, kas mass tõepoolest sõltub kiirusest?". Poiss ootab isalt, filosoofiadoktorilt tuumafüüsika alal, Ida-Carolina ülikooli professorilt Carl G. Adlerilt kahtlemata oma küsimusele selget ja autoriteetselt vastust. Aga isa vastab: "Ei! Noh, sõltub ... Tegelikult ei sõltu, aga ära seda õpetajale ütle". Pärast isa sellist hämamist arvab poeg, et füüsika on ikka üks segane asi ja loobub järgmisest päevast füüsikaõpingutest. Aga nagu selgub isa peagi publitseeritud artiklit lugedes, peegeldub tema vastusest tollane olukord Ameerika koolides ja ülikoolides. Mitte ainult erinevates koolides ja ülikoolides ei käsitleta massi erinevalt, vaid ka suuremate ülikoolide ja kolledžite erinevates osakondades õpetatakse ühes relatiivsest, teises invariantsest massist lähtudes.

Niisiis, erinevalt teaduses toimuvast, kasutati Ameerika Ühendriikides tol ajal pedagoogikas veel laialdaselt relatiivset massi. Pedagoogika on inertsem kui teadus, tema seniselt teelt kallutamine nõuab rohkem aega ja jõudu. Aga poja küsimus ja otsus füüsika õppimisest loobuda ärgitavad Adlerit kirjutama relatiivse massi mõiste kasutamise vastast artiklit. Sellele artiklile, mille pealkirjaks on poja küsimus, oleme juba mitu korda viidanud. Okuni artiklite eelmäng algab juhuse tahtel just Adleri artikli ilmumisaastal, kui ta ühe tolleaegse Nõukogude Liidu Haridusministeeriumi moodustatud komisjoni liikmena peab aitama kindlaks teha parimaid füüsika-alaseid õpperaamatuid. Paarikümnet õpperaamatut sirvides hämmastab teda, et kõikides nendes leiab ta vaid kiirusest sõltuva massi. Hämmastus kasvab, kui selgub, et suurem osa komisjoni liikmetest – pedagoogidest ja metoodikutest – polnud kuulnudki teise vaatepunkti võimalikkusest. Need hämmastavad avastused ajendavad Okunit esimesi artikleid kirjutama. Ja suur osa nende sisust seondub pedagoogikaga. Kuid relatiivse massi kasutamist pedagoogilisest seisukohast kritiseerides võtavad Adler ja Okun, piltlikult öeldes, lahingu vastu vastase poolt valitud lahinguväljal. Sest just pedagoogilisel pinnal on relatiivse massi pooldajatel vastastele enam kaalukamaid argumente vastu seada kui füüsikalisel-matemaatilisel pinnal. Ja nii satuvad invariantse massi kasutajad ise rünnaku alla. Neile öeldakse üsna poeetiliselt, et kiirusest sõltuva massi mõistega teooria “maalib loodusest pildi, mis on imetore oma lihtsuses” ja sellepärast peab sellise massi mõistega õppetööd jätkama. Sest neid noori üliõpilasi, kes on suutelised limiteeritud aja jooksul aru saama nelivektoriga kirjeldamisest, on väga vähe. Noored üliõpilased on raskustes juba kolmekomponendiliste vektoritega, vaid kahekomponendilised on neile jõukohased. Nelivektorite kasutamine teeb õppimise asjatult raskeks, lükkab relatiivsusteooria kontseptsioonid nende kogemustest veelgi kaugemale. Just seepärast tuleb õpetamisel kasutada relatiivset massi [34]. Kuid invariantse massi järgi õpetamine on raske ka ilma geomeetriat kasutamata. Vaadaku vastaspool, kui palju neil tuleb liita masse ja energiad seletamiseks tuumade ehitust või kiirendiprotsesse. Ja ilma relatiivse massita on väga keeruline selgitada, miks on osakesi raske kiirendada, kui nende kiirus on jõudnud lähedale valguse kiirusele. Aga relatiivset massi kasutades on see nii lihtne: “Väga suurte kiirusteni jõudnud osakese edasine kiirendamine on raske, sest mass on kasvanud väga suureks”. Vaatame nüüd, kuidas seletab nähtust invariantse massi seisukohalt Adler. Adler ütleb, et see, et kiireid osakesi on raskem kiirendada kui aeglaselt, on illusioon, mis tuleb aja dilatatsioonist. Seisva vaatleja kella järgi läheb kiiresti liikuvale kehale rakendatud jõul enam aega kiiruse tõstmiseks kui sama suureks tõstmiseks aeglaste kehade korral. Sest liikuv kell käib seda aeglasemalt, mida kiiremini keha liigub. Kui mõõta aega liikuva kellaga, tekitab sama jõud sama aja jooksul alati sama efekti. Ja mingeid kiirendamisraskusi suuritel kiirustel ei ole. Tõepoolest, hoopis enam mõtlemist nõudev seletus. Võib-olla tuleks sellele eelistada Einsteini eelpool toodud soovitus, et suure kiirusega liikuvate kehade inertsiaalse käitumise seletamiseks tuleks kasutada energia ja impulsivalemit. Nendest valemistest on näha, palju kordi tuleb suurendada osakese energiat või impulssi, et tõsta veidikenegi osakese kiirust, mis on jõudnud valguse kiirusele väga lähedale. Kiirendite juures tähendab see, et selles kiirkonnas pumbatakse kiirendusaja suurendamisel osakestele juurde vaid energiat, kiirus muutub ülivähe. Ja energia kasvatamine ongi siin eesmärgiks, mitte kiiruse tõstmine. Energia või impulsivalemiga kiirendamisraskusi seletades näeme, et asi ei ole mitte illusioonis, millist sõna Adler siinkirjutaja arvates üsna vaieldavalt kasutab. Aga nii või teisiti, kui pedagoogikas oleks lihtsus ainuke kriteerium, tuleks relatiivse massi mõistest lähtuvat seletust eelistada. Kuid loomulikult pole lihtsus ainukeseks kriteeriumiks. Relatiivse massi leer rõhutab veel vanade tuntud arusaamade suurt tähtsust õppetöös, nagu just Einsteini kuulus valem massi ja energia täieliku ekvivalentsuse näitajana. Sellised arusaamad on õpilastele-üliõpilastele kas

aimekirjandusest või kusagilt mujalt pähe kulunud ja on kasulikud pidepunktid relatiivsusteooria õpetamisel. Relatiivse massi kaitsjatest õppetöös on vast tuntuim Wolfgang Rindler, korduvalt parandatud ja täiendatud trükkidena välja antud populaarsete eri- ja üldrelatiivsusteooria õpperaamatute autor. Ta on väga solvunud vastaste ründavast stiilist, millest võib välja lugeda, nagu oleks relatiivse massi mõiste kasutamisega tehtud mingisugune suur prohmakas. Kuigi midagi niisugust tehtud ei ole [37]. Rindleri arvates on kiirusest sõltuv mass õppetöös asendamatu heuristiline mõiste. Ja seda mitte kasutada on sama, kui sõita autoga sidurit kasutamata (mis on hea ajastamisega võimalik) või kirjutada romaan ilma e-tähte kasutamata (üks veidrik on taolise 50000 sõnaga romaani kirjutanud). Kuid tema tahab relatiivsusteooriat õpetades ikka vajalikku sidurit ja e-tähte kasutada. Aga nagu vastab Rindlerile Okun, on fakt, et juhtivate füüsikaajakirjade nagu *“Physical Review”*, *“Physical Review Letters”*, *“Physics Letters”* jt. artiklites relatiivse massi mõistet ei kasutata. Kas need ajakirjad on sidurita autod [38]? Vastus on küll natuke mööda, sest üks räägib relatiivse massi kasutamisest õppetöös, teine teaduses. Kuid relatiivse massi mõiste puudumist teaduses võib lugeda argumendiks tema kasutamise vastu kõikjal, ka pedagoogikas.

Loomulikult on korduvate väljaannetena ilmuvate õpperaamatute lugupeetud ja tunnustatud autoritel raske loobuda aastaid sisse tallatud õpetamisradadest. Suur osa on seda siiski suutnud ja hilisemates korduustrükkides invariantsest massist lähtunud. Võib väita, et paari viimase aastakümne jooksul ilmunud korduustrükkides ja ka uutes õpperaamatutes on valdavalt kasutatud invariantset massi. Aga leidub ka teisitimõtlejaid – nagu Rindler, kelle õpperaamatute kõige hilisem, 2006. a väljaanne tugineb jätkuvalt relatiivsele massile [39]. Rindleri taolised “viimased mohikaanlased” kinnitavad, et kuigi relatiivset massi teaduses enam ei kasutata, peab ta säilima pedagoogikas, sest relatiivne mass on pedagoogiline mass. Ja vahel lisatakse järeleandlikumalt, et vähemalt õpetamise algastmel.

Okun vastupidi, nimetab kiirusest sõltuvat massi pedagoogiliseks viiruseks, mis ikka ja jälle nakatab uute põlvkondade professoreid ja tudengeid ning kutsub selle viiruse tõrjeks tõhusamalt tööd tegema.

Enne loo lõpetamist vaatame, milline on olukord Eestis. Sirvides taasiseseisvunud Eesti Vabariigi ajal välja antud kesk- ja kõrgkoolidele mõeldud muidu väga häid õpperaamatuid leiame sama, mis Okun Venemaal 20 aastat tagasi: kõik nad kasutavad “vana head” kiirusest sõltuvat massi. Ja see ei pane meid imestama. Sest nii on õpetatud nende õpperaamatute autoreid. Nii on õpetatud raamatute autorite õpetajaid. Pedagoogiline viirus töötab. Päris puutumata meie õppetöö invariantsest massist siiski pole. Autori teada on viimasel ajal üliõpilastele loetud elementaarosakeste füüsika algkursustes, mille ettevalmistamisel on kasutatud rahvusvaheliselt levinud populaarseid õpperaamatuid, lähtunud invariantsest massist. Aga üldiselt oleme pedagoogilises massikäsitluses ajale jalgu jäänud. Paratamatult tuleb teha pööre ja minna igal pool üle invariantsele massile. Sest kiirusest sõltuv mass on siiski minevik, aga invariantne mass on olevik ja ka tulevik. Vähemalt senikaua, kuni teadus midagi täiesti uut leiab.

Autor tänab Piret Kuuske paljude kasulike nõuannete eest.



## Kirjandus

1. I.Newton, Philosophiae naturalis principia mathematica [Mathematical Principles of Natural Philosophy], transl. in English by A.Motta, revised and annotated by F.Cajori, Univ. of California Press, 1966.
2. L.B.Okun, The concept of mass in the Einstein Year, arXiv:hep-ph/0602037 (2006).
3. R.Brehme, Am. J. of Physics **36**, 896 (1968).
4. C.G.Adler, Am. J. of Physics **55**, 739 (1987).
5. L.B.Okun, Sov. Phys. Usp. **32**, 629 (1989), tõlgitud vene keelest Usp. Fiz. Nauk **158**, 511 (1989).
6. L.B.Okun, Phys. Today **42**, 31 (1989).
7. A.Einstein, L.Infeld, Füüsika evolutsioon, Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, 1962.
8. A.Einstein, Ann. d. Physik **18**, 639 (1905).
9. A.Einstein, *ibid.* **17**, 891 (1905); eesti k. vt. Akadeemia nr. 7 (2005).
10. A.Einstein, *ibid.* **20**, 371 (1906).
11. A.Einstein, *ibid.* **23**, 197 (1907).
12. A.Einstein, *ibid.* **35**, 898 (1911).
13. J.J.Thomson, Philos. Mag. **11**, 229 (1881).
14. M.Abraham, Phys. Z. **4**, 57 (1902).
15. W.Kaufmann, Phys. Z. **4**, 55 (1902) ja Gött. Nachr. Math. Phys. **4**, 90 (1903).
16. H.Lorentz, Proc. Roy. Acad. Sci., Amsterdam **1**, 427 (1899).
17. H.Lorentz, *ibid.* **6**, 809 (1904).
18. G.Lewis, R.Tolman, Philos. Mag. **18**, 510 (1909).
19. R.Tolman, Philos. Mag. **23**, 375 (1912).
20. H.Poincaré, Arch. Neerland **5**, 252 (1900).
21. W.Fadner, Am. J. of Physics **52**, 114 (1988).
22. A. Pais, The Science and the Life of Albert Einstein, Oxford Univ. Press, 1982.
23. M. Veltman, Facts and Mysteries in Elementary Particle Physics, World Scientific, 2003.
24. W.Pauli, Relativitätstheorie, Encykl. Math. Wiss. **19**, Teubner, Leipzig 1921.
25. W.Pauli, The Theory of Relativity, engl. transl. G.Field, Pergamon, New York 1951.
26. G.Galilei, Dialogue Concerning the Chief World Systems – Ptolematic and Copernican, engl. transl. S.Drake, foreword A.Einstein, 2nd ed., Univ. of California Press, 1967.
27. Nicholas of Cusa, On Learned Ignorance: a Translation and an Appraisal of De Docta Ignorantia by Jasper Hopkins, 2nd ed., A.J.Banning Press, Minneapolis, 1990.
28. P. Kuusk, Akadeemia nr. 2, 227 (1991).
29. H.Poincaré, Compt. rend. Acad. sci. (Paris) **140**, 1504 (1905).
30. P.Frank, Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien **118**, 373 (1909).
31. W.Voigt, Gött. Nachr. **41** (1887).
32. J.Larmor, Aether and Matter, Cambridge Univ. Press, 1900.
33. M.Planck, Phys. Zeitschr. **7**, 753 (1906).
34. T.R.Sandin, Am. J. of Physics **59**, 1032 (1991).
35. H.Minkowski, Gött. Nachr. **53** (1908).
36. O.Silde, Relatiivsusteooria põhiküsimusi geomeetria valguses, "Valgus", Tallinn, 1974.
37. W.Rindler, Physics Today, Letters **43**, 13 (1990).
38. L.Okun, Physics Today, Letters **43**, 114 (1990).
39. W.Rindler, Relativity (Special, General and Cosmological), 2nd ed., Oxford Univ. Press, 2006.

## HARRY ÕIGLASE TEADUSTEGEVUSEST JA RAAMATUTEST

Jaak Lõhmus

Harry Õiglase näol on meil tegemist mehega, kes tõi eesti inimese mõttemaailma aine ehituse probleemi sellel tasemel, nagu see siis tema elueal maailmas esile kerkis. Ta tegi seda teadlasena, õpetajana ja popularisaatorina (ehk *aimekirjanikuna*, nagu see tema enda loodud terminina kõlaks), siin ehk tuleks veel öelda – ka entsüklopedistina, sest ükski kasutatud sõnadest ei haara seda viimast aspekti.

Harry Õiglase teadlaskarjääri algus langeb aastatesse “enamvähem” 20. sajandi keskpaiku. See, nüüd meie jaoks juba möödunud 20. sajand oli füüsika ajaloos vaat et erakordne. See oli füüsika uute suurteooriate ja aine süvaehituse avastamise sajand, fundamentaaluuringute ja neist võrsunud tehnoloogiliste imede sajand.

Selle sajandi esimese veerandi jooksul loodi kolm uut suurt füüsikateooriat, mis avardasid inimese pilku täiesti uutesse maailmadesse – aine sügavusse ja kosmose hiigellaotusse, need olid *erirelatiivsusteooria* (1905), *üldrelatiivsus- ehk gravitatsiooniteooria* (1915) ja *kvantmehaanika* (1900–1930).

Aine ehituse alal pärandas üleelmise (19.) sajand eelmisele (20.) sajandile aatomi ja molekuli mõisted, sajandi viimastel aastatel aga juba esimese, tänini elementaarse-fundamentaalse algosakese, *elektroni* (1897). Ma ei hakka siin kordama koolifüüsikast tuntud aine ehituse arenguskeemi.

Kui relatiivsusteooria jõudis Eestisse mingil primitiivsel kujul kindlasti juba 1930-teks aastateks, mil ilmus esimene relatiivsusteooria alane populaarteaduslik raamatuke (J. Nuut, 1930), siis kvantfüüsika ideed olid visamad tulema. Esimeste kvantmehaanika loengutega alustas TTÜs 1941–1942 keemik Adolf Parts (1904–1996), temalt on ka mitmed füüsikalise keemia alased uurimused, mis kasutasid kvantmehaanika ideid ja meetodeid.

Siinkohal aga tuli vahele Suur Sõda ja võimude muutus. Tõsisemalt võttis kvantteooria käsile astrofüüsik akadeemik Aksel Kipper (1907–1984), kes oli muide ka Harry Õiglase juhendaja, hakates taasavatud Tartu (Riiklikus) Ülikoolis lugema kvantmehaanikat, kvantstatistikat ja kvantelektrodünaamika aluseid. Tema poolt alustatu viisid edasi Ruth Lias (sünd 1926), kauaaegne kvantmehaanika, kvantelektrodünaamika ja rühmateooria õppejõud TÜ teoreetilise füüsika kateedris, ja sama kateedri professor Paul Kard (1914–1985).

Akadeemik Kipper aga innustas oma õpilasi uurima elementaarosakeste teooria aluseks olevat väljade kvantteooriat. 1954. a kaitsesid esimesi sellealaseid väitekirju Eestis Ilse Kuusik (1921–1981) ja Harry Õiglase (1927–1999). Siinkohal algaski Harry Õiglase tee teadusse.

Harry Õiglase teadustööde esimene tsükkel [1–3,6,7] on pühendatud kvantelektrodünaamika kui alles kujunemisjärgus oleva teadusdistsipliini probleemidele. Kandidaaditöö (1953, [1]) kannab pealkirja “Elektroniteooria vaakumparandused” [1], väitekirja teemal on avaldatud 4 artiklit pealkirjadega “Vaakuumi geomeetriline teooria” [2], “Integreerimine pseudo-eukleidilises 4-ruumis” [3], “Vaba elektroni omamõju relativistlikult invariantne käsitlus kvantelektrodünaamikas” [6] ja “Seotud elektroni omamõju käsitlus kvantelektrodünaamikas” [7]. Need olid tolleaegse, alles hiljuti sündinud kvantelektrodünaamika aktuaalsed probleemid.

Teise, laiema tsükli moodustavad tööd *relativistlikult invariantsete lainevõrrandite* kohta [5,9-11,13,16,18,20,22,23]. Tüüpilised pealkirjad on siin “Vaba nukleoni lainevõrrand” [5], “Lainevõrrandid vabade fermionide (bosonite) multipllettide jaoks” [10,11], “Ühtne võrrand bosonite ja fermionide jaoks” [20], samuti relativistlikult-invariantsete võrrandite matemaatilist struktuuri puudutavad spetsiaalsemad probleemid [22,23]. Uurimistöösse on juba haaratud ka kolleegid-õpilased Galina Kutuzova ja Ain Ainsaar.

Kui seda suunda paari sõnaga iseloomustada, siis tuleks kõigepealt rõhutada ühendavat ehk süstemaatilist aspekti. Siin pole ühtki võrrandit ühe osakese jaoks, vaid vähemalt kahe osakese, osakeste dubleti jaoks, veelgi enam – osakeste multiplleti jaoks, ja veelgi-veelgi enam – bosonite ja fermionide jaoks koos, st midagi niisugust, mida me praegu nimetame *supersümmeetriaks*. Nagu kohe varsti näeme, pole see ainuke asi, mis Harry Õiglase töödes ajast kaugel ees.

Võrrandite uurijatest kujunes hiljem välja terve koolkond, kuhu kuuluvad Madis Kõiv, Rein-Karl Loide, Ilmar Ots, Ain Ainsaar, Rein Saar ja juba omakorda nende õpilased.

Kolmanda tööde tsüklinä tuleks välja eraldada *osakeste süstemaatika* ehk *klassifikatsiooni* alased tööd [4,8,12,14,21]. Siin on kõigepealt siis artikkel “Barüonide klassifikatsiooni üks võimalus” [4] kaheksa tollal teadaoleva barüoni kohta. Siis “Mesonite ja barüonide süstemaatikast” [8] – Gell-Mann-Nishijima süstemaatika üldistus, kus *isospinni* kõrval tuuakse sisse uus sisemine kvantarv nn *isomoment*. Skeemis ilmnevad ka uued osakesed, sealhulgas tähisega  $\Omega^-$  (küll pole selle jaoks näidatud selliseid omadusi, mis on hiljem sama tähisega osakesel unitaarsümmeetria barüonidekupletis). Samuti “Märkusi barüonide skeemi juurde” [12], kus 8 barüoni kirjeldatakse 10-ruumi 32-spiinorina, selles skeemis on barüonidel juba kolm sõltumatut sisemist kvantarvu.

Mingis mõttes kulmineerub süstemaatika suund töös [21], kus esitatakse *osakeste vastastikmõjust sõltuva süstemaatika* idee: osakeste süstemaatika (klassifikatsioon) oleneb vastastikmõjust, kus osakesed osalevad. Skeemi aluseks on 6-dimensiooniline “ühend-isoruum”, mille erinevates alamruumides realiseeruvad erinevatele vastastikmõjudele vastavad sümmeetriad ehk süstemaatikad. See oli geniaalne idee üldise ideena ja on tänapäevaks realiseerunud osakeste füüsika Standardmudeli all- või osasümmeetriatena  $SU(1)$  (elektromagn.),  $SU(2)$  (nõrk) ja  $SU(3)$  (tugev värisümmeetria). Tollal, vähemalt kümme aastat enne Standardmudeli esimesi töid, olid alamruumid ja vastavad sümmeetriad veidi teised. Allakirjutanut, tollal TÜ matemaatikaosakonna diplomandil, oli meeldiv võimalus selles töös osaleda, kuigi vast mitte selle ideelises osas.

Ja jälle tuleb üks suurem, neljas tööde tsükkel nõrga vastastikmõju, seda kirjeldavate *lagranžiaanide struktuuri- ja sümmeetriomaduste* kohta, [15,17,24,25,26,28,30,32], mis on mõnevõrra spetsiaalsem ja lihtterminis raskemini kirjeldatav. Siit leiame tööd pealkirjadega “Marshaki invariantus ja nelja fermioni vastastikmõju” [17], “Pauli-Fierzi teisenduste rühm ja nelja fermioni vastastikmõju lagranžiaan” [24-26]. Olgu vaid märgitud, et siit sai aluse nõrga mõju sümmeetriale vastav osa ühend-isoruumi skeemis [21], kus sisaldasid juba kaks neutriinot. Kaasautoreid-õpilasi on siin juba rohkem: Ain Ainsaar, Vello Loo, Rein Männik, Ilmar Ots ja Laur Palgi.

Viies tsükkel oleks *matemaatiline varia* [19,27,29,31], millest väärriks esiletõstmist esimene töö, “Rühma esituse mõiste võimalikust üldistamisest” [19]. See on omaette ilus töö, lausa šedööver, kus projektiivse esituse ideed, õigemini selle üldistust kasutatakse mitmete huvitavate algebraliste süsteemide saamiseks väga lihtsal viisil, väga elementaarsete rühmade esitustena (näiteks mitteassotsiatiivsed oktonioonühikud ruumipeegelduste rühma üldistatud esitustena!).

Tööde nimistust leiame veel mitu ülevaateartiklit Eesti füüsikast ja teadusest üldiselt, kirjutatud teatmeteoste, sealhulgas ENE jaoks.

Harry Õiglase raamatutest on kahtlemata kõige tuntum **“Vestlus relatiivsusteooriast”**, mis ilmus eesti keeles kolmes trükis aastatel 1958, 1965 ja 1973, esimene Eesti Riikliku Kirjastuse, teine ja kolmas juba kirjastuse “Valgus” väljaandel, ning vene keeles pealkirja all “В мире больших скоростей” (kirjastus “Nauka”, Moskva, 1967). See koosneb neljast peatükist, millest esimene käsitleb klassikalist füüsikat klassikalise relatiivsuspriintiibi seisukohalt, teine valgust, kolmas erirelatiivsusteooriat ja neljas üldrelatiivsus- ehk gravitatsiooniteooriat. Lõpuks veel Einsteini elulugu, elementaarosakeste tabel ja biograafiline isikuindeks. See on raamat, mida on meenutanud paljud oma saatuse füüsikaga sidunud inimesed.

Teine raamat on **“Mikromaailma sügavusse”** (ERK, Tln 1963), mis koosneb neljast osast:

I. Algelemendist aatomini alapealkirjaga Mõistus usu ja müstika vastu. II. Aatomist elementaarosakeseni alapealkirjaga *Mõistus mandunud mõtte vastu*. III (ja peamine). Mikromaailma sügavusse alapealkirjaga *Mõistus tardunud mõtte vastu* ja alajaotustega *Aatom. Aatomituum. Elementaarosake*. IV. Mõistus meeletuse vastu (tuumarelvast ja -tehnoloogiast).

Nagu pealkiri ja sisukirje ütlevad – see on raamat aine ehitusest, käsitletuna ajaloolises kujunemiskäigus. See on sama hea raamat nagu eelmine, kuid kahjuks vähem tuntud. Ainevaldkonna iseära tõttu on ta praeguseks ka mõnevõrra vananenud, kuid mitte oma väärtuse kaotanud selles, mis seal juba kirjas. Asi on lihtsalt selles, et relatiivsusteooria pole ju populaarsuse seisukohalt “Vestluse” esmatrükist (1958) saadik eriti muutunud, küll aga on muutunud osakestefüüsika alates 1963.a. On siiski kuulda olnud, et hiljem füüsika oma elualaks valinud inimesed on ka seda raamatut huviga lugenud.

Kolmas aimeraamat on **“Füüsika nagu ta on”** (“Valgus”, Tln 1979). Erinevalt eelmistest kahest, mis olid pühendatud kindlatele füüsika osadele – relatiivsusteooriale ja mikromaailmale, on selles raamatus juttu füüsika üldisematest probleemidest. Tagakaanelt loeme ehk kõige parema kokkuvõtte: “Kuidas kujunes nüüdisfüüsika, millega ta tegeleb, kuhu püüdleb, mis osa mängib ta

ühiskonnas; kuidas jagavad füüsikaga oma uurimisvaldkondi astrofüüsika, kosmoloogia, bioloogia ja matemaatika, mida saavad füüsikalt need ja teised teadused; kas füüsika leiab lahenduse energiaprobleemile; mis on ühist, mis erinevat elementaarosakesel ja universumil; palju maksavad loodusseadused – nendele küsimustele on pühendatud käesolev raamat”.

Esimest kaht ja seda kolmandat raamatut võrreldes näeme nende mõningat erinevust, milles peegeldub Harry Õiglase elukäik ja teadlaskarjäär. Esimesed raamatud olid kirjutatud areneva noore, täis põnevil huvi teadlaseks pürgiva mehe poolt, kolmas juba teadusemaailmas küllaltki mõjuka positsiooni leidnud mehe seisukohalt, me tunneme siin Harryt ära kui entsüklopedisti ja teadusorganisaatorit.

Järgmine tsükkel raamatutest võiks kanda nimetust *õppekirjandus*, selle moodustavad kaheosaline loengukursus matemaatikaüliõpilastele ja kolm keskkooli füüsikaõpikut.

Loengukursus kannab nime **“Kaasaegse teoreetilise füüsika põhikursus”**: I. Klassikaline teooria. II. Ettevalmistus kvantteooriateks (TRÜ kirjastusgrupp, Tartu, 1965, 1967). See on tugeva rühmateoreetilise kallakuga kirjutatud sissejuhatus relativistlikusse mehaanikasse ja elektrodünaamikasse. Mul oli au ja õnn kuulata Harry esimesi loenguid sel teemal. Ma ei tea küll kui paljudel, aga vähemalt minul tekkis hoopis sisukam ettekujutus oma aine, matemaatika, olemusest ja kohast maailma tunnetamisel. Kui meie senine üsna kuiv klassikaline matemaatikastuudium näitas meile matemaatikat tööriista osas, millega saab küll teha mingit väga keerulist tööd (meie ajal tuli Eestisse esimene arvuti ehk elektronarvutusmasin, nagu tookord öeldi), siis Harry Õiglase loengutes esines matemaatika hoopis uues, eksootilises rollis, maailmahoone ehituse kandjana.

Ja lõpuks siis üks väike komplekt hästi kenasid raamatukesi, need on keskkooli füüsikaõpikud – **Füüsika X klassile**, I osa: Aeg, ruum, liikumine; II osa: Molekulaarfüüsika; **Füüsika XI klassile**, I osa: Elekter ja magnetism. Kahjuks jäi see viie-raamatulisena kavandatud seeria lõpetamata, puudu on elektromagnetism ja optika ning aine ehitus (aatom, tuum, osakesed).

Need õpikud kavandas Harry Õiglane juba Tallinnas, TPÜ õppejõuna ja õpetajana Prantsuse Lütseumis. See oli vanameistri n.ö. viimane ring, läbi mõtlemaks ammutuntud asjad uuel eesmärgil – kuidas neid paremini edasi anda, kuidas nende vastu huvi äratada. Selline uus ring tähendab teatud mõttes ka uut ringi olemuse mõistmisel. See võib tunduda üllatusena – et mida siis uut!? Ent siiski – aine (antud juhul füüsika) õpetamine nõuab uut lähenemist asjade ja nähtuste olemuse mõistmisele. Olemus enda jaoks ja selle seletamine teistele on kaks ise asja.

Need õpikud on arvatavasti täiesti uus nähtus füüsika-alases õppekirjanduses. Me näeme siin aine põhitõdede kompaktselt ja lihtsat esitust. On toodud vaid oluline ja sisuline, miinimumhulga valemitega, hästi lihtsate joonistega, jõukohaste kordamisküsimustega. Selline õppetekst aga moodustab vaid poole õpiku kogumahust. Teine pool koosneb esseelaadi lühitekstidest põhiteksti ainevalla kohta: nähtuste ja seaduste avastamise kohta, tuntud teadusmeeste elulood, nende vaated, vaadete kujunemine. Õpiku esimene, faktoloogiline osa saab siin hoopis uue, maailmavaatelse värvingu, füüsika asetub elu, inimese ja mõistuse maailma ja ümberpöörduvalt, elu, inimene ja mõistus asetuvad füüsika maailma – senistes õpikutes seda tavaliselt ei leia ja seda peetaksegi praegu põhjuseks, miks füüsika õpilastele nii vastumeelt on.

On kuulda olnud arvamisi, et need õpikud on mõeldud humanitaarkallakuga õppuritele. Harry ise aga olevat rõhutanud, et füüsikat tuleks õpetada ühtses kultuurikontekstis kõigile, nii humanitaaridele kui reaalaralade inimestele.

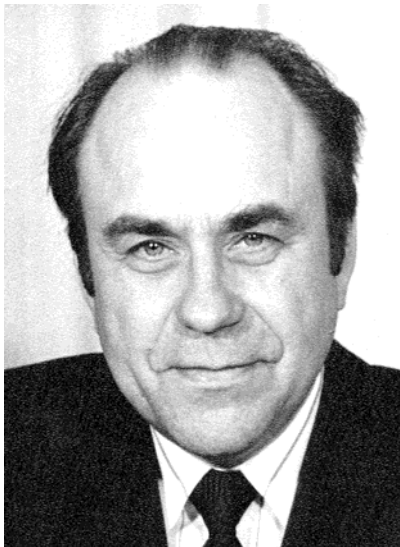
Harry Õiglase raamatute kohta võib öelda palju positiivset, kõige parema tahtmise korral ei tule mulle meelde midagi negatiivset. Osav sulg, erudeeritus, ... kõik see kahtlemata. Kuid ma tahaks lõpetada ühe asjaoluga, nende raamatute jaoks võib-olla kõige olulisemaga – peale kõige muu nad annavad lugejale hämmastava tahtmise ise veel edasi minna asjade ja nähtuste olemuse tunnetamise salapärasel teel.

Esitatud 5. märtsil 2002 TÜ Füüsika Instituudis Harry Õiglase mälestusseminaril.

Trükki toimetanud Elmar Vesman.

## HARRY ÕIGLASE BIBLIOGRAAFIA

Koostanud Elmar Vesman



*Õiglane, Harry-Hartwig* (5. 03.1927 Sõmeru vald – 17. 07.1999 Tallinn). Lõpetas 1945. a hõbemedaliga Rakvere keskkooli ja 1950. a kiitusega TRÜ. Töötas alates 1947. aastast Füüsika, Matemaatika ja Mehaanika Instituudis (1952. aastast Füüsika ja Astronoomia Instituut) ning instituudi pooldumise järel 1973. aastal Füüsika Instituudis kuni 1981. aastani. Lõpetas siin aspirantuuri, kaitses 1954. a kandidaadidissertatsiooni. Oli instituudis elementaarosakeste uurimissuuna rajaja. 1964. a sai teadusala asedirektoriks, 1976–1981 oli direktor. 1964. a alates võttis aktiivselt osa Eesti Nõukogude Entsüklopeedia (ENE) ühiskondliku toimetuse tööst, 1967–1989 oli ENE peatoimetaja asetäitja, algul poole koormusega, alates 1981. a täiskohaga; sai ENSV riikliku preemia ENE toimetuse kollektiivi koosseisus (1977). Aastail 1990–1991 oli Eesti Entsüklopeedia (EE)

peatoimetaja asetäitja. Elu lõpul töötas Tallinna Pedagoogikaülikoolis dotsendina ja Prantsuse Lütseumis füüsikaõpetajana. Oli väsimatu ja osava sulega teaduse popularisaator. Lisaks allpool esitatud trükisõnas avaldatud töödele esines ta palju kordi raadios ning televisioonis. Tema viimne rahupaik on Tallinna Metsakalmistul.

### TEADUSTÖÖD

1. Вакуумные поправки теории электрона. Tartu, 1954. Kandidaadi-dissertatsioon.
2. Геометрическая теория вакуума. – Труды ИФА АН ЭССР, т. 2, 1955, стр. 62-94.
3. Интегрирование по четырёхмерному псевдоевклидовому пространству. – Труды ИФА АН ЭССР, т. 5, 1957, стр. 85-92.
4. Одна возможность для классификации барионов. – ЖЭТФ, т. 33(6), 1957, стр. 1537-1538.
5. Волновое уравнение для свободного нуклона. – ЖЭТФ, т. 33(6) 1957, стр.1511-1512.
6. Релятивистски инвариантная трактовка самодействия свободного электрона в квантовой электродинамике. – Труды ИФА АН ЭССР, т. 5, 1957, стр. 93-99.
7. Трактовка самодействия связанного электрона в квантовой электродинамике. – Труды ИФА АН ЭССР, т. 5, 1957, стр. 100-118.
8. К систематике мезонов и барионов. – ЖЭТФ, т. 34(5), 1958, стр. 1337-1338.
9. Уравнение первого порядка для свободного нуклона. – Труды ИФА АН ЭССР, т. 9, 1959, стр. 43-56.

10. Волновые уравнения для мультиплетов свободных бозонов. – Труды ИФА АН ЭССР, т. 9, 1959, стр. 71-83.
11. Волновые уравнения для мультиплетов свободных фермионов. – Труды ИФА АН ЭССР, т. 9, 1959, стр. 57-70.
12. Замечание к схеме барионов. – ЖЭТФ, т. 37(2), 1959, стр. 558-559.
13. О волновых уравнениях элементарных частиц. – Проблемы современной теории элементарных частиц, Ужгород, 1959, стр. 109-116.
14. *Materia ammendamatuses sügavuti*. – TRÜ Toimetised, vihik 89, 1960, lk 89-98.
15. Распад барионов при слабом взаимодействии. – Труды ИФА АН ЭССР, т. 13, 1961, стр. 87-111.
16. Замечание к гамильтоновой форме для частиц со спином 0 и 1. – Труды ИФА АН ЭССР, т. 13, 1961, стр. 115-116.
17. Инвариантность Маршака и четырёхфермионное взаимодействие. – ЖЭТФ, т. 40(3), 1961, стр. 782-783.
18. Х.Х. Ыйглане, Г.Б. Кутузова. Об уравнении для дублета бозонов. – ЖЭТФ т. 40(3), 1961, стр. 780-781.
18. О возможных обобщениях понятия представления группы. – Труды ИФА АН ЭССР, т. 16, 1961, стр. 90-105.
20. Г.Б. Кутузова, Х.Х. Ыйглане. Единое уравнение для бозонов и фермионов. – Труды ИФА АН ЭССР, т. 16, 1961, стр. 81-89.
21. Я. Лыхмус, Х. Ыйглане. Зависящая от взаимодействия систематика элементарных частиц. – Труды ИФА АН ЭССР, т. 19, 1962, стр. 113-123.
22. А. Айнсаар, Х. Ыйглане. О трансформационных свойствах  $\beta$ -матриц. – Труды ИФА АН ЭССР, т. 19, 1962, стр. 132-139.
23. Релятивистски инвариантный ортонормированный базис матриц Кеммера-Дэффина. – Труды ИФА АН ЭССР, т. 20, 1963, стр. 138-144.
24. А. Айнсаар, И. Отс, Х. Ыйглане. Группа преобразований Паули-Фирца и лагранжианы четырёхфермионного взаимодействия. – Труды ИФА АН ЭССР, т. 22, 1963, стр. 54-60.
25. В. Лооритс, Х. Ыйглане. Группа преобразований Паули-Фирца и лагранжианы четырёхбозонного взаимодействия. Случай 5-рядного представления. – Труды ИФА АН ЭССР, т. 22, 1963, стр. 61-65.
26. В. Лооритс, Х. Ыйглане. Группа преобразований Паули-Фирца и лагранжианы четырёхбозонного взаимодействия. Случай 10-рядного представления. – Труды ИФА АН ЭССР, т. 25, 1964, стр. 70-74.
27. Generalized method of arithmetic means as a method of regularization in quantum electrodynamics. – XV International Conference on High Energy Physics, Kiev, 1970. Abstracts of Contributions, vol. 2, p. 820.
28. А. Ainsaar, H. Õiglane. On Lagrangians of four-particle interactions, invariant under Fierz transformations. – XV International Conference on High Energy Physics, Kiev, 1970. Abstracts of Contributions, vol. 2, p. 747.
29. Представления группы Дирака. Preprint FI-39, Tartu, 1975, 20 lk
30. О свойствах симметрии лагранжианов четырёхфермионного взаимодействия. – УФН, т. 120(3), 1976, стр. 506-507.
31. Представление группы Клиффорда на множестве одномерных представлений самой группы. – ENSV TA Toimetised. Füüs Mat, kd 27(4), 1978, lk 451-452.



32. R. Männik, L. Palgi, H. Õiglane. Super trimuons as possible evidence of six-fermion interaction. – ENSV TA Toimetised. Füüs Mat, kd 28(1), 1979, lk 90-91.

### **TEADUSTEGEVUSE ÜLEVAATED**

1. Füüsika fundamentaalprobleemid. – Eesti NSV Teaduste Akadeemia aastail 1956-1964. ENSV TA, Tallinn, 1965, lk 20-24 (autoreid pole nimetatud).
2. О развитии физики в Советской Эстонии. – О развитии физики в Советской Эстонии за годы 1944–1966. ИФА АН ЭССР, Тарту, 1968, стр. 5-9.
3. Фундаментальные проблемы физики в Институте физики и астрономии АН ЭССР. – О развитии физики в Советской Эстонии за годы 1944–1966. ИФА АН ЭССР, Тарту, 1968, стр. 10-14.
4. Eesti Nõukogude Sotsialistlik Vabariik. Teadus. – ENE, 2. kd, Tallinn, 1970, lk 108-112.
5. H. Keres, H. Õiglane. Füüsika fundamentaalprobleemid. – Eesti NSV Teaduste Akadeemia aastail 1965-1972. ENSV TA, Tallinn, 1973, lk 17-20.
6. Teadus. – Koguteos “Nõukogude Eesti”, Tallinn, 1975, lk 145-156.
7. П. Кард, Х. Керес, Х. Ыйглане. Теоретическая физика. – Академия Наук Эстонской ССР в 1973–1979 годах. АН ЭССР, Таллин, 1981, стр. 32-37.

### **AIMEARTIKLID JA MUU**

#### **1955**

1. Keravälk. – Noorte Hääl, 9. juuni.
2. Viiskümmend aastat relatiivsusteooria sünnist. – Edasi, 3. juuli.
3. Aatomienergeetika füüsikalistest alustest. – Edasi, 7. september.

#### **1956**

4. Aatomi saladuste uurimisel. – Edasi, 29. veebruar.
5. Kosmiline kiirus. – Edasi, 24. märts.
6. Aatomienergia rahuotstarbelise kasutamise paviljonis. (Üleliidulisel tööstusnäitusel.) – Edasi, 21. august.
7. Meie küsitluse teemadel (vastused ajalehe “Sirp ja Vasar” 10. augustil avaldatud küsimustele kirjandusteoste väljaandmise kohta): L. Kauge. Suuremat operatiivsust ja avaramaid teadmisi; H. Õiglane. Hoolikalt valida tõlketeoseid; K. Tibar. Miks ilmuvad ettetellitavad sarjad nii aeglaselt? – Sirp ja Vasar, 31. august.
8. Spetsiaalsest relatiivsusteooriast. – Nõukogude Kool, nr 10, lk 591- 603.

#### **1957**

9. Mõtte ja tegevuse ühtsus. (Prantsuse füüsiku P. Langevini 85. sünniaastapäevaks: 1872-1946.) – Edasi, 23. jaanuar.
10. Aatomist ja antiaatomist. – Rahva Hääl, 20. märts.
11. Populaarteaduslikust artiklist. (Nõuetest teaduse ja tehnika populariseerimisel.) – Sirp ja Vasar, 5. aprill.
12. Populaarteadusliku konverentsi kokkuvõtteid. (Loodusuurijate Seltsi täppisteaduste sektsiooni reaalteaduste konverents.) – Edasi, 30. august.
13. Teadus ja rahva kultuur. Mõtteid populaarteaduslikult konverentsilt Tartus. – Sirp ja Vasar, 20. september.

14. Missuguseid lootusi asetavad füüsikud lunoidile. – Edasi, 13. oktoober.
15. Kaasaegsest ruumi ja aja teooriast. – Rahva Hääl, 12. november.
16. Lunoid ja raskustungi probleem. – Edasi, 17. november.

**1958**

17. Chandrasekhara Vankata Raman – rahvusvahelise Lenini rahupreemia laureaat. (India Teaduste Akadeemia president, kuulus füüsik.) – Eesti Loodus, nr 1, lk 3-5.
18. M. Kopernikust ja tema maailmasüsteemist. – Rahva Hääl, 19. veebruar.
19. Nikolai Kopernik. – Edasi, 19. veebruar.
20. Max Planck, 100 aastat sünnist. (Füüsik: 1858-1947) – Edasi, 23. aprill.
21. Taustsüsteemist füüsikas. – Eesti Loodus, nr 3, lk 132-136.
22. Osakesed-libahundid. (Materia elementaarosakestest.) – Noorus, nr 9, lk 42-44.
23. Mõtteid, ettepanekuid. (Rahvahariduse süsteemi ümberkorraldamisest. Lühiaartiklid: V. Rehema; H. Öiglane.) – Edasi, 3. oktoober. (Kasvatus koolis ja kodus.)
24. Mis on Tšerenkovi kiirgus? – Rahva Hääl, 4. november.

**1959**

25.  $E = mc^2$ . (A. Einsteini seadus massi ja energia kohta.) – Tehnika ja Tootmine, nr 4, lk 36-37.
26. Ptolemaiosest kosmilise raketini. (Maailmasüsteemi teooriatest.) Illustreerinud E. Valter. – Noorus, nr 4, lk 43-44.
27. Ekvivalentsuse printsiibist ja loodenähtuste seletamisest selle abil. – Täppisteaduste sektsiooni esimene konverents. ENSV TA Loodusuurijate Selts, Tartu, 1959, lk 96-103.
28. Elementaarosake või fundamentaalosake? (Terminoloogiast.) – Eesti Loodus, nr 5, lk 314.
29. Elementaarosakeste struktuurist. – Eesti Loodus, nr 5, lk 257-262.
30. Kuidas tekkisid keemilised elemendid. Illustreerinud H. Eelma. – Noorus, nr 10, lk 38-39.

**1960**

31. Pilk aatomituuma sisemusse. – Noorus, nr 2, lk 37-40.
32. Mõnda ajast ja ruumist. – Tehnika ja Tootmine, nr 5, lk 33-35.
33. Mis on aeg? – Küsimused ja Vastused, nr 12, lk 23-27.
34. Wolfgang Pauli. (Füüsik: 1900-1958.) – Eesti Loodus, nr 4, lk 228-230.
35. Uus meetod aja mõõtmiseks. (Radioaktiivsuskella teoreetilistest alustest.) – Tehnika ja Tootmine, nr 11, lk 42-43.
36. Järelsõna: Rein Sepp, „Viimne üksiklane”. – Loomingu Raamatukogu, nr 18, 1960, lk 44-47.

**1961**

37. Aatomirelva katseplahvatuste vastu. (Prantsusmaa 3. tuumarelvakatsetuse puhul Saharas.) – Rahva Hääl, 10. jaanuar.
38. Millest on tehtud maailm. (Antiikaja filosoofide oletusi.) Illustreerinud J. Palm. – Noorus, nr 2, lk 40-42.
39. Uusi katseid relatiivsusteooria valdkonnast. – Tehnika ja Tootmine, nr 3, lk 31-33.
40. Mõnda huvitavat aatomimaailmast. (Vastused küsimustele.) – Eesti Loodus, nr 3, lk 191-192.

41. Uurimissuund – mikromaailm. ( Elementaarosakeste füüsikast.) Illustreerinud E. Piho. – Noorus, nr 6, lk 39-40.
42. Aeg, ruum, mateeria. – Tehnika ja Tootmine, nr 8, lk 33-35.
43. Elementaarosakeste süstematiseerimise probleemi matemaatilistest alustest. – VI Eesti loodusuurijate päev. Ettekannete teesid. Tartu, 1961, lk 77-80.
44. Tuummolekulid. (Looduses esinemise võimalustest.) – Tehnika ja Tootmine, nr 9, lk 42.
45. Peeter ja kell. (Lühijutt.) – Noorus, nr 9, lk 41-42.
46. Življuk, J.N. ja Mandelštam, S.L. Kui kõrge on välgu temperatuur. (Журнал экспериментальной и теоретической физики, т. 40(2), 1961.) Refereerinud H. Õiglane. – Eesti Loodus, nr 5, lk 312.
47. Retsensioon: Ustus Agur, „Mõtlevad masinad. Elektronarvutusmasina tänapäev ja tulevik”. Tallinn, ERK, 1961. – Edasi, 2. juuni.
48. Retsensioon: Ustus Agur, „Mõtlevad masinad. Elektronarvutusmasina tänapäev ja tulevik”. Tallinn, ERK, 1961. – Mõeldes raamatule masinamõtlemisest. – Looming, nr 8, lk 1272-1276.

### 1962

49. Kes on süüdi tuumarelvastumise võidujooksus? – Küsimused ja Vastused, nr 34, lk 9 – 14.
50. Kosmoseajastu künnisel – Edasi, 5. august.
51. Huvi kutsub, anne kohustab. (Akad. H. Keres.) – Sirp ja Vasar, 16. nov.
52. Mida uurib plasmafüüsika? – Küsimused ja Vastused, nr 39, lk 15-19.
53. Mõnda matemaatikast. – Noorus, nr 12, lk 62-65.
54. Uus aatomkaalu ühik. – Tehnika ja Tootmine, nr 12, lk 38-39.
55. Matemaatikast ja kirjaoskusest. (Matemaatika tundmise vajalikkusest.) – Säde, 16. mai.
56. Mida räägib teadus valgusest? – Küsimused ja Vastused, nr 33, lk 24-29.

### 1963

57. Uus aatomkaalude skaala – Eesti Loodus nr1, lk 59.
58. Käsi käes. (Kosmoseuurijate ja füüsikute koostööst.) – Noorte Hääl, 16. juuni.
59. Mõistatuslik neutriino. (B. Pontecorvo uurimustest neutriinofüüsika alal, Lenini preemia saamise puhul.) – Noorus, nr 7, lk 42-44.
60. Diplomi kvaliteet. (TRÜ füüs.-mat. teaduskonna lõpetajate diplomitöödest ja riigieksamitest.) – Edasi, 3. aug.
61. Lenini preemia laureaat Bruno Pontecorvo 50-aastane. (Füüsik.) – Noorte Hääl, 23. aug.
62. Aatomituuma kihilisest struktuurist. (Ettekanne.) – Loodus ja Matemaatika. Eesti Loodusuurijate Seltsi täppisteaduste sektsiooni toimetised, nr 3, lk 56-63.

### 1964

63. Kollektiiv ja aspirant. (Aspirantuuri probleemidest ENSV TA FAI-s. Mõttevahetus.) – Edasi, 22. jaanuar.
64. "Dialoogi" lugedes – Sirp ja Vasar, 14. veebruar.
65. Harry Õiglane. (Tuumafüüsik.) – Noorte Hääl, 16. juuni. („Meie sõbrad, meie tuttavad”.)
66. Mõistus usu ja müstika vastu. (Teaduse ja religiooni vastuoludest.) – Edasi, 19. juuni.
67. Missugune on gravitatsioonivälja mõju ajale? – Küsimused ja Vastused, nr 8, lk 26-29.

68. Mis on energia? – Küsimused ja Vastused, nr 10, lk 21-26.

### 1965

69. Dialektikast mikromaailmas. – Tehnika ja Tootmine, nr 2, lk 81-82.

70. Füüsikast ja matemaatikast muusikas. – Noorus, nr 2, lk 49-51.

71. L. Vassiljev. Telepaatia. (Intervjuu NSVL Meditsiiniakadeemia kirjavahetaja liikme L. Vassiljeviga. Lisa: teadlaste arvamusi. – L. Valt, J. Eilart. H. Õiglane.) Üles kirjutanud H. Vooglaid. – Edasi, 31. märts.

72. Oma tee otsinguil. (Elementaarosakeste teooriast.) – Noorte Hääl, 7. aprill.

73. Nagu tormine meri. (Füüsikute suvekoolist Käärikul. Intervjuu FAI asedirektori H. Õiglasega.) – Edasi, 18. august.

74. Sõnadele järgnevad teod. (ENSV TA FAI direktorist A. Kipperist.) – Edasi, 9. oktoober.

75. Igakülgsus, rahutus, areng. (Üliõpilasprobleemidest.) – Edasi, 13. oktoober.

76. Nobeli füüsikapreemia 1965. (Jaapani teadlase S. Tomonaga ja ameerika teadlaste J. Schwingeri ja R. Feynmani töödest kvantelektrodünaamika alal.) – Edasi, 6. november.

77. Keskkooli füüsika kursus ja tänapäeva füüsika. – Nõukogude Õpetaja, 27. november.

### 1966

78. Mida uut on teada elementaarosakeste struktuurist? – Küsimused ja Vastused, nr 8, lk 32-36.

79. Teadusliku informatsiooni tee koolidesse. (Intervjuu TA FAI direktori asetäitja H. Õiglase, TRÜ füüsika ja matemaatikateaduskonna prodekaani R. Tani ja TRÜ NSVL ajaloo kateedri dotsendi H. Palametsaga.) – Nõukogude Õpetaja, 22. oktoober.

80. Mis on kvantfüüsika? – Küsimused ja Vastused, nr11, lk 18-24.

### 1967

81. Mikrofüüsika ja jäävusseadused. – Horisont, nr 2, lk 2-7.

82. Kaasaegse füüsika põhikursus. Skeem. – Eesti Loodus, nr 3, lk 129-134.

83. J. Rebane, H. Õiglane, retsensioon: Ustus Agur, "Inimesed ja automaadid", Tallinn, „Valgus”, 1966. – Sirp ja Vasar, 3. veebruar.

84. Dotsent Ü. Kaasik 40-aastane. – Matemaatika ja Kaasaeg, nr 12, lk 134.

85. Ordeniga autasustatud instituudis. (ENSV TA Füüsika ja Astronoomia Instituut. Vestlus direktori asetäitjaga teaduse alal H. Õiglasega.) – Edasi, 28. aprill.

86. Sümmetria ja jäävusseadused. – Horisont, nr 5, lk 2-7.

87. Mis on antimateri? – Küsimused ja Vastused, nr 6, lk 24-28.

88. Nüüd – juba ordenikandja. (ENSV TA FAI-le Tööpunalipu ordeni andmise puhul. Vestlus instituudi direktori asetäitjaga teaduse alal H. Õiglasega.) – Horisont, nr 6, lk 14-16.

89. Sõna jõust. – Edasi, 25. august.

90. Füüsika areng Nõukogude Eestis. – Eesti Loodus, nr 10, lk 590-592.

### 1968

91. Uue füüsika künnisel. (Elementaarosakeste füüsika. Kommentaarid: H. Õiglane; E. Vesman; J. Lõhmus.) – Horisont, nr 5, lk 1-4.

### 1969

92. Milleks on teaduse-teadus? (Vastukaja B. Bowdeni artiklile "Milles on teaduse mõte" – Sirp ja Vasar 1968, 20. detsember ja G. Naani artiklile "Milles on mõtte mõte" – Sirp ja Vasar 1968, 27. detsember.) – Sirp ja Vasar, 14. märts.
93. Esimene pool instituudi nimest. (ENSV TA FAI füüsikasektorite tööst.) – Edasi, 12. juuni.
94. Rahvuslikust teadusest ja rahvuslikkusest teaduses. – Edasi, 21. november.
95. Karl Rebane, Harry Õiglane. ENSV teaduse päevad Moskvast – Edasi, 8. november.  
(Autorid vaid tekstis.)

**1970**

96. Elementaarosakestest. – Edasi, 18. jaanuar.
97. Maailma elementaarosakeste füüsikute paremik Tallinnas. – Õhtuleht, 7. jaanuar.
98. Paar kokkuvõtlikku mõtet. – Õhtuleht, 13. jaanuar.
99. Antiaine. – Edasi, 18. veebruar.
100. Järelsõna: V. Grigorjev, G. Mjakishev, „Jõud looduses”. – Tallinn, „Valgus”, lk 332-335.

**1971**

101. Jätk ilusale valele. (Ettepanekust raamatusarja "ENE raamatukogu" väljaandmiseks.) – Sirp ja Vasar, 4. juuni.
102. Teadusallasid käsitlevad artiklid ENE-s. – Täppisteadused ja kultuur. V teaduslik-pedagoogilise konverentsi ettekannete kokkuvõtted. Tartu, 1971, lk 4-6.
103. Serpuhhovi efekt. (Elementaarosakeste füüsikast.) – Edasi, 11. juuli.
104. "Mirabelle". (Nõukogude ja prantsuse füüsikute ühistööna valminud maailma suurimast eksperimentaalkompleksist Serpuhhovis.) – Edasi, 26. oktoober.

**1972**

105. "Ljudmila". (Mullikambri käikulaskmisest suurte energiatega instituudi eksperimentaalkompleksil. Protvino, Moskva oblast.) – Edasi, 27. jaanuar.
106. Uus avastus – antiheelium. (Antiheeliumi tuumade tekitamisest ja nende füüsikaliste omaduste väljaselgitamisest.) – Horisont, nr 1, lk 1.
107. Missugused on nüüdisajal tähtsamad probleemid füüsikas? – Küsimused ja Vastused, nr 11, lk 35-41.
108. Harald Keres. – Edasi, 15. november.
109. Harald Keres 60. – Horisont, nr 11, lk 33-34.
110. Missugused on nüüdisajal tähtsamad probleemid füüsikas? – Küsimused ja Vastused, nr 12, lk 19-21.

**1973**

111. "Kvaasisõltumatuse" lõpp. (ENSV TA Füüsika ja Astronoomia Instituudi reorganiseerimisest.) T. Viik. Astrofüüsika ja Atmosfäärifüüsika Instituut. H. Õiglane. Füüsika Instituut. – Noorte Hääl, 4. oktoober.
112. Füüsikainstituudi esimene tööpäev. – Edasi, 4. oktoober.

**1974**

113. Füüsikainstituut võtab hoogu. – Edasi, 24. jaanuar.
114. Retsensioon: Robert Wells, „Bioonika" (Elusloodus eeskujuks masinate kavandamisel.) Inglise keelest H. Koppel ja A. Rekand. (Eessõna: E. Kumari.) – Tallinn, „Valgus”, 1973. (Mosaiik 2.). – Eestikeelse aimeramatu kaitseks. – Sirp ja Vasar, 11. jaanuar.

115. Rein Avarmaa, Harry Õiglane. Esimene füüs.-mat. naisdoktor Eestis. (L. Rebane.) – Nõukogude Naine, nr 4, lk 18-19.
116. Nüüdisaegse teaduseta poleks nüüdisaegset kultuuri. (Füüsik K. Rebane.) – Sirp ja Vasar, 31. mai.
117. Kui palju ja mida? Eesti teadus nõukogude teaduse osana. – Horisont, nr 5, lk 9-13; nr 7, lk 8-9.
118. Kokkuvõtteks ja koondamiseks. Veel kord aimekirjandusest. – Sirp ja Vasar, 19. juuli.
119. Uus ja ... põnev. (Elementaarosakeste füüsikast.) – Horisont, nr 9, lk 3.
120. Raamat ja meie. (Isiklikest raamatukogudest.) – Edasi, 29. november.
121. Kas universum on sümmeetriline? – Küsimused ja Vastused, nr 12, lk 23-30.
122. Teadustöös edu, ehitustegevuses pettumus. (ENSV TA FI tööst. Vestlus direktori asetäitjaga teaduse alal H. Õiglasega.) – Edasi, 17. detsember.

**1975**

123. Magnetükspoolus. – Edasi, 4. september.
124. Mida uut on selgunud elementaarosakeste ja magnetmonopoli kohta? – Küsimused ja Vastused, nr 23, lk 36-40.
125. Harry Õiglane, Ivar Piir. Füüsikainstituudi uues hoones. (FI asedirektori ja parteisekretäri jutustus.) Üles kirjutanud E. Zimmer. – Edasi, 13. detsember.

**1976**

126. Aastapäeva puhul nooremast instituudist. (Vestlus ENSV TA FI teadusala asedirektori H. Õiglasega.) – Edasi, 7. aprill.
127. Füüsikainstituut ühineb üleskutsega. (ENSV TA FI tööst.) – Edasi, 16. september.
128. Ühe mererahva saamismudel. (Hõbevalge mitmes luubis.) – Sirp ja Vasar, 30. juuli, lk 3-5. Rets: Lennart Meri, „Hõbevalge. Reisikiri tuultest ja muinasluulest”. Tallinn, “Eesti Raamat”, 1976.
129. Retsensioon: Jaan Eilart, „Inimene, ökosüsteem ja kultuur. Peatükke looduskaitsest Eestis”. Tallinn, “Perioodika”, 1976. – Edasi, 22. september.

**1978**

130. Fundamentaaluuringute kaudu tehnilisele progressile. (ENSV TA FI.) – Küsimused ja Vastused, nr 23, lk 35-38.

**1979**

131. Osa maailmateadusest. (Füüsika arengust vabariigis.) – Edasi, 7. oktoober.

**1980**

132. Uus teaduskeskus. (Vestlus ENSV TA FI direktori H. Õiglasega, üles kirjutanud G. Kuldvere.) – Rahva Häääl, 30. oktoober.

**1981**

133. Milline ta peaks olema? (Teadusalase aparaadiehituse ülesannetest) – Edasi, 19. veebruar.

134. Kuidas mõõta teaduse kasu? (Teaduse osast rahvamajanduse süsteemis.) – Noorte Häääl, 8. detsember.

**1982**

135. Õpetajast ja ajast. (H. Kerese 70. sünnipäevaks.) – Noorte Hää, 21. november.

**1984**

136. Entsüklopeediast ja sellega seotud informatsiooniparadoksist. (ENE 2. trükk) – Sirp ja Vasar 5. oktoober.

137. Meetriliste kvaliteedikomplekside rakendamine teadlaskollektiivide ja üksikteadlaste töö tulemuslikkuse hindamisel. – Teaduslugu ja nüüdisaeg. III vabariikliku teadusloo konverentsi teesid, Tallinn, lk 84-88.

**1985**

138. Teel "Hõbevalgema" poole. – Aja Pulss, nr 17, lk 10-11.

**1986**

139. Paradoksides keerises. (Neutriino avastamisest.) – Horisont, nr 3, lk 22-24.

140. Täppiseksperiment oma žanris. (Neutriino kaalu mõõtmisest.) – Horisont, nr 5, lk 3-5.

141. Kas kvargid liiguvad valgusest kiiremini? – Aja Pulss, nr 14, lk 23-24.

**1988**

142. J. Eilart, H. Õiglane, F. Eisen. Organisatsioonide kolleegium. (Mõtteavaldused. Üles kirjutanud I. Rattus.) – Sirp ja Vasar, 26. veebruar.

143. ENE täiendamise probleemidest. – Sirp ja Vasar, 23. september.

**1989**

144. Teadus toob üllatusi. (Matemaatika ja füüsika vallas.) – Horisont, nr 7, lk 7-9.

**1990**

145. Milles on rahvusliku teaduse elujõud? (Eesti teaduse ajaloo.) – Horisont, nr 4, lk 17-18.

146. Kirjad emale, ja ... türannidele. (Vene füüsik P. Kapitsa: 1894-1984.) – Horisont, nr 7, lk 12-14.

147. Reaalia seletab, humanitaaria mõistab. (Intuitiivsest ja diskursiivsest maailmatunnetusest teaduses.) – Horisont, nr 9, lk 21-23.

148. Meie füüsikute avastusi. – Kodumaa, 5. detsember.

**1991**

149. Andrei Sahharov füüsikuna. (70. sünnipäevaks: 1921-1989.) – Sirp, 17. mai.

150. Rahvussuhetest ja rahvuskultuurist. (Vastukaja A. Kuznetsovi artiklile ajalehes Estonia, 17. septembril.) – Sirp, 11. oktoober.

**1992**

151. Inimõigused ja rahvuslikkus. – Rahva Hää, 1. ja 2. aprill.

152. Subjektiivseid mõtisklusi presidendikandidaatidest. – Päevaleht, 15. september.

153. Loodusteaduste eelilikool alustab jälle. – Rahva Hää, 16. september.

154. Harry Õiglane: Kultuur on mittelineaarne mõiste. (Vene kultuurist Eestis. Jutuajamise üles kirjutanud T. Kalanter.) – Estonija, 24. detsember (vene k).

**1993**

155. Füüsikast ja humanitaarsuunitlusega füüsikakursusest. – Haridus, nr 5/6, lk 50-52.

156. Jüri Kraft, Harry Õiglane. Jaan Eilart – 60. (Botaanik ja looduskaitsetegelane.) – Rahva Hää, 29. juuni.
157. Paranähtused füüsiku pilguga. (Teadlased ei oska veel seletada poltergeisti olemust.) – Hommikuleht, 23. november.
158. Poltergeist võib osutuda külmapommiks. – Hommikuleht, 8. detsember.
159. Eessõna: „Jaan Eilarti töid 1948-1993“. Tartu Ülikool, Tartu üliõpilaste Looduskaitse Ring.

**1994**

160. H. Õiglane, K. Kesküla. Paradoksaalne Gustav Naan. (Filosoof: 1919 –1994.) – Eesti Ekspress, 4. veebruar.
161. Sajandite teadussündmus – Fermat' teoreemi tõestus. – Rahva Hää, 17. oktoober.
162. Pulsar on maailma kõige täpsem kell. – Rahva Hää, 28. november.

**1995**

163. Sekundite taga on aastamiljonite protsessid. – Rahva Hää, 6. märts.
164. Inimkond istub kosmilise kella otsas. (Sodiaagitähtkujudest.) – Eesti Päevaleht, 28. august.
165. Ajalugu täpsustatakse kosmilise kella poolt. (Tähtkujude nimedest.) – Eesti Päevaleht, 11. september.
166. Nobeli laureaadid avastasid Universumi kolmandat korrust. (USA füüsikud F. Reines ja M. L. Perl.) – Eesti Päevaleht, 16. oktoober.

**1996**

167. Mitmekordselt poolitatud maailm. (Antimaailmast.) – Eesti Päevaleht, 31. jaanuar.
168. Mitmeti poolitatud maailm. (Antimaailmast.) – Eesti Päevaleht, 7. veebruar.
169. Kolmekorruseline universum. (Elementaarosakeste füüsikast.) – Elav Teadus, nr 1, lk 62-65.
170. Sünteesiti uhiuus element. (Järjenumbr 112.) – Eesti Päevaleht, 6. märts.
171. Antiaine müsteeriumid. – Luup, nr 9, lk 58-59.
172. Aktiivse aja teooria lõpp. (N. Kozõrevi teooriast.) – Luup, nr 17, lk 42-44.
173. Maavälise elu otsingul. – Luup, nr 20, lk 46-48.
174. Sild mikro- ja makromaailma vahel: Nobeli füüsikapreemia 1996. (USA füüsikud D. Lee, R. Richardson, D. Osheroff.) – Luup, nr 23, lk 42-44.
175. Nobeli keemiapreemiad 1996. (USA keemikud R. F. Curl, R. Smalley ja Inglise keemik H. W. Kroto.) – Luup, nr 23, lk 44.

**1997**

176. Kosmilised urked otseteed läbi ruumi ja aja. – Luup, nr 2, lk 44-46.
177. Inimkond elab kosmilise kella järgi. (Sodiaagitähtkujudest.) – Elav Teadus, nr 5, lk 4-9.
178. Füüsikaseaduste evolutsioon. (Universumi ja elementaarosakeste arengust.) – Universum. Koostanud-toimetanud Rein Veskimäe. Tallinn, lk 28-35.

**1998**

179. Ain Ainsaare 60. sünnipäev. (Füüsik.) – Tallinna Ülikoolid, nr 2, lk 41.

**2003**



180. Füüsikaseaduste evolutsioon. (Universumi ja elementaarosakeste arengust.) – Universumi mikromaailm. Koostanud-toimetanud Jaak Lõhmus ja Rein Veskimäe. Tallinn, lk 11-20.

## **RAAMATUD**

1. Vestlus relatiivsusteooriast. Tallinn, Eesti Riiklik Kirjastus, 1958, 278 lk.
2. Vestlus relatiivsusteooriast. Tallinn, „Valgus”, 1965, 327 lk.
3. Vestlus relatiivsusteooriast. Kolmas täiendatud trükk. Tallinn, „Valgus”, 1973, 339 lk.
4. Suurte kiiruste maailmas. Jutustus relatiivsusteooriast. Autoriseeritud tõlge vene keelde 2-sest väljaandest. Moskva, „Nauka”, 1967.
5. Mikromaailma sügavusse. Tallinn, Eesti Riiklik Kirjastus, 1963, 339 lk.
6. Kaasaegse teoreetilise füüsika põhikursus. (Matemaatika osakonna üliõpilastele.) 1. Klassikaline teooria. Tartu, TRÜ, 1965, 176 lk; 2. Ettevalmistus kvantteooriaks. Tartu, TRÜ, 1967, 194 lk.
7. Füüsika nagu ta on. Tallinn, „Valgus”, 1979, 160 lk.
8. Füüsika põhikonstandid ja eluta materia evolutsioon. Tallinn, „Teadus”, 1986, 23 lk.
9. Annoteeritud loengutemaatika. ENSV ühing „Teadus”, loodusteaduste ja looduskaitse sektsioon. Tallinn, 1986, 181 lk.
10. M. Milder, H. Sirel, H. Õiglane. Aktsiaselts „Baltika”. Ajalugu ja tänapäev. Tallinn, 1993, 85 lk.
11. Füüsika X klassile I osa. Aeg, ruum, liikumine. „Koolibri”, 1995, 143 lk.
12. Sama II osa. Molekulaarfüüsika. „Koolibri”, 1996, 143 lk.
13. Füüsika XI klassile I osa. Elekter ja magnetism. „Koolibri”, 1997, 127 lk.

## **H. ÕIGLASE KOHTA**

### **1964**

1. Juhan Kivi. Harry Õiglane. (TRÜ teoreetilise füüsika õppejõud.) – Noorte Hääl, 31. jaanuar.

### **1974**

2. Eerik Kumari. Populaarteadusliku raamatu kaitseks. (Vastukaja H. Õiglase artiklile „Eestikeelse aimeramatu kaitseks”. Sirp ja Vasar, 1974, 11. jaanuar.) – Sirp ja Vasar, 25. jaanuar, lk 3, 13.
3. Heino Eelsalu. Kus algab üks ja lõpeb teine? (Vastukaja eelm. tsiteeritule.) – Sirp ja Vasar, 15. veebruar, lk 5.
4. Boris Kabur. Populaarteadus. Kes, mida, milleks? (Vastukaja eelm. tsiteeritule.) – Sirp ja Vasar, 29. märts, lk 3.
5. Erast Parmasto. Aimeramat. Kas on ikka õige selle üle mõtteid vahetada? (Vastukaja eelm. tsiteeritule.) – Sirp ja Vasar, 8. märts, lk 13.

### **1987**

6. Jaan Eilart. Viiuldav füüsik. (H. Õiglase 60. sünnipäevaks.) – Sirp ja Vasar, 27. veebruar, lk 3.
7. Ene Helm. Harry Õiglane 60. – Punane Täht, 5. märts.

### **1996**

8. Jüri Eintalu. Filosoofia ajaloost füüsika õpikus. (H. Õiglase rmt „Füüsika X kl. 1. osa. Aeg, ruum, liikumine“.) – Akadeemia, nr 3, lk 593-597.

9. Tiit Kändler. Relatiivsuse poolt suunatud elu. – Eesti Päevaleht, 14. september, lk 8.

**1997**

10. Ain Ainsaar. Harry Õiglane – 70. – Tallinna Ülikoolid, nr 1, lk 35.

11. Harry Õiglane – 70. – Välis-Eesti, nr 1-2, lk 61.

## Füüsikapäevade programm 20-21. märts 2007. a.

Tartu Ülikooli füüsikahoone suur auditoorium

Tähe 4, Tartu

### Teisipäev, 20. märts

Richard Villems (TA)

Avasõna 10.00

EFS preemiate kätteandmine, laureaadi ettekanne

Jaan Kalda (TTÜ KI)

Füüsikaväline füüsika: kompleksüsteemid ja pehmis 10.15

Arvi Freiberg (TÜ)

Milleks meile biofüüsika? 11.30

*Stendiettekanded, lõunapaus, EFS juhatuse koosolek* 12.00

Harry Alles (Helsingi Tehnikaülikool)

Ülivoolav tahke heelium? 13.00

Erko Jakobson (TÜ)

Atmosfääri veeaurusisalduse, meridionaalse niiskuse transpordi ja temperatuuri trendid põhjapoolkeral 1958 – 2001 13.30

Indrek Renge (TÜ FI)

Korrastamata süsteemide spektroskoopia didaktiline mudel 13.50

**Eesti Füüsika Seltsi Üldkogu** 15.30

**Seltsiõhtu** 17.30

### Kolmapäev, 21. märts

Jaak Kikas (TÜ)

Veider kitt ja vesihõbe 09.30

<b>Arvo Mere (TTÜ)</b>	
Riigieksamist	09.55
<b>Anneli Roode (TLÜ)</b>	
Põhikooli eksamist	10.20
<b>Henn Voolaid (TÜ)</b>	
Mida teevad USA koolifüüsikud?	10.55
<b>Terje Tuisk (SA Archimedes)</b>	
Õpilaste uurimustööd ja SA Archimedes	11.20
<b>Ott Krikmann (TÜ)</b>	
Õpetajakoolitus Tartu Ülikoolis	11.40
<b>Henn Käämbre (TÜ FI)</b>	
Ettore Majorana – salapäraselt haihtunud geenius	13.00
<b>Enn Pärtel (TÜ)</b>	
Üldhinnang füüsika ainekava väljatöötamisele	13.35
<b>Koit Timpmann (TÜ)</b>	
Muudatused põhikooli osas	13.55
<b>Kalev Tarkpea (TÜ)</b>	
Gümnaasiumi põhiainekava	14.15
<b>Jaan Paaver (Tartu Forseliuse Gümnaasium)</b>	
Esimesed gümnaasiumi põhiainekava rakendamise kogemused	14.35
<b>Jaak Jõgi (Lähte Ühisgümnaasium)</b>	
Gümnaasiumi laiendatud ainekava	14.55
<b>Arvo Mere (TTÜ)</b>	
Riigieksamist	15.15

**Stendiettekanded**

**Vladimir Babin<sup>a</sup>, Martin Nikl<sup>b</sup>, Svetlana Zazubovich<sup>a</sup>, Yuriy Zorenko<sup>c</sup>, Aleksei Mahhov<sup>a</sup>** (<sup>a</sup>TÜ FI, <sup>b</sup>Institute of Physics AS Czech Republic, <sup>c</sup>Ivan Franko National University, Ukraine)

Spectroscopy of Ce<sup>3+</sup>-doped Lu<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> single crystalline films

**Aleksandr Lissovski, Aleksei Treštšalov** (TÜ FI)

VUV-VIS spectroscopic study of pulsed high-pressure volume discharge in argon

**Andrei Pokatilov, Toomas Kübarsepp, Riho Vendt** (AS Metrosert)

Takistuse mõõtesilla parameetrite uurimine

**Martti Pärs<sup>a</sup>, Ilmo Sildos<sup>a</sup>, Viktor Palm<sup>a</sup>, Mihkel Rähn<sup>b</sup>** (<sup>a</sup>TÜ FI, <sup>b</sup>TÜ FO)

Üksikmolekulide vaatlused TÜ FI-s

**Gert Toming<sup>a</sup>, Mart Noorma<sup>a</sup>, Toomas Kübarsepp<sup>b</sup>, Riho Vendt<sup>b</sup>, Viktor Vabson<sup>b</sup>** (<sup>a</sup>TÜ, <sup>b</sup>AS Metrosert)

Termokaamerate kalibreerimissüsteem

# FÜÜSIKAVÄLINE FÜÜSIKA: KOMPLEKSSÜSTEEMID JA PEHMIS\*

Jaan Kalda

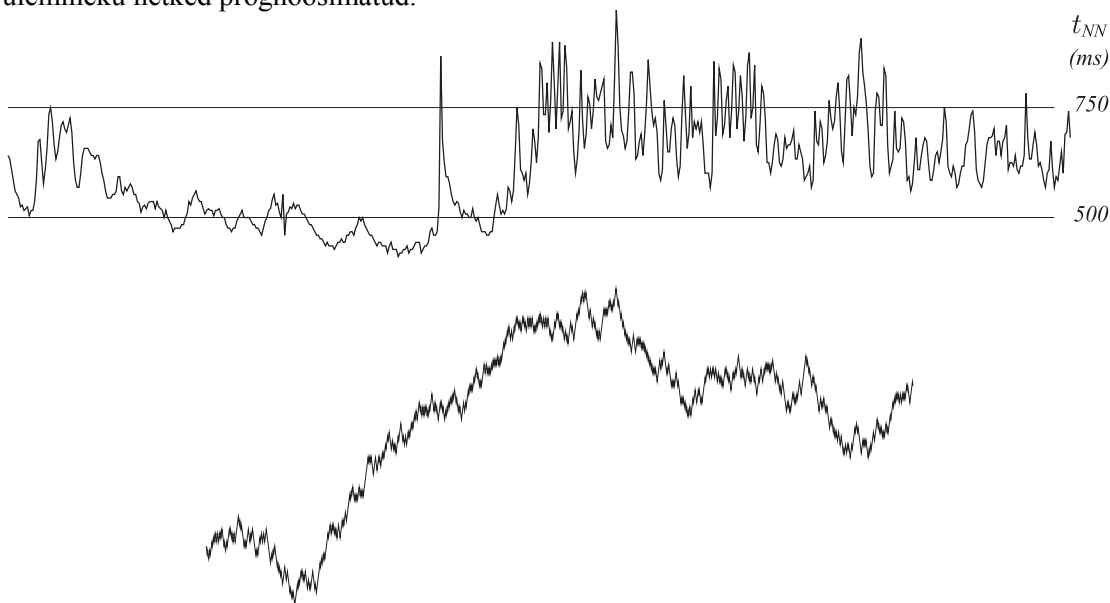
CENS, Küberneetika Instituut, TTÜ

Komplekssüsteemide ja pehmise mõisted on füüsikas suhteliselt noored, kuid kiirelt populaarsust kogunud terminid. Alljärgnevas üritame avada nende mõistete tähendust ja käsitleda mõningaid seonduvaid probleemistikke. Konkreetse näitena peatume pikemalt turbulentsse difusiooni probleemil. Samuti üritame anda vastuse küsimusele, kas kompleksüsteemide uurimise puhul on tegemist moerõõgatusena või paljude teadusvaldkondade reaalsete vajaduste peegeldusega.

## Sõnaseletusi

Komplekssüsteemidest rääkimisel tuleb kasutada nii mitmeidki termineid, mis oleks kõigepealt kasulik defineerida või lahti mõtestada.

**Juhumuutlikkus** (ingl *intermittency*): süsteem on vaheldumisi korrapärases ja juhuslikus liikumises; üleminek ühest olekust teise on ettearvamatu, olekuhüpete suurus on ettearvamatu. Näiteks olgu toodud inimese südamerütm: joonisel 1 on esitatud normaalsete südamelöökide intervalli kestvus (millisekundites) sõltuvuses löögi numbrist. Nagu näha, toimub suure ja väikese muutlikkusega perioodide vaheldumine. Juhumuutlikkuse puhul on sellise vaheldumise sagedus omakorda muutlik ja ülemineku hetked prognoosimatud.



Joonis 1. Ülal: inimese südamerütm on juhumuutlik: järsud üleminekud suure ja väikese muutlikkusega režiimide vahel on prognoosimatud ja vahelduva sagedusega. Vertikaalteljel on kahe

\* Eesti Füüsika Seltsi aastapremia 2007 laureaadi ettekanne

normaalse südamelöögi vaheline intervall millisekundites, horisontaalteljel löögi järjekorranumber [vt ka M. Säkki, J. Kalda, M. Vainu, and M. Laan, Chaos, 2004, **14**, 138-143.] All: Browni osakese koordinaadi sõltuvus ajast on küll juhuslik, kuid teatud ajavahemike jooksul toimuvate koordinaadi muutude statistika allub Gaussi jaotusele.

Juhumuutlikkuse terminit on kasutatud väga ammu, aga suhteliselt ebamäärases tähenduses. Tema sisu muutus kitsamalt piiritletuks turbulentsi teoorias, kus selle termini all mõistetakse vedeliku kiiruse, temperatuuri vms hüpete statistika kvalitatiivset mittevastavust Gaussi jaotusele.

Matemaatiliselt, kui vaatleme nt temperatuurierinevusi kahe naaberpunkti vahel,

$\Delta\theta \equiv \theta(\vec{0}, t) - \theta(\vec{r}, t)$ , kehtib täielikult välja arenenud turbulentsi tingimustes (suurte Reynoldsi

arvude puhul) astmeseadus  $\langle |\Delta\theta|^p \rangle \propto |\vec{r}|^{\zeta_p}$  (nurksulud tähistavad keskmistamist üle paljude

realisatsioonide; suurust  $\zeta_p$  nimetatakse *struktuurifunktsiooni astmenäitajaks*). Kui

temperatuurierinevuste  $\Delta\theta$  esinemissagedus vastaks Gaussi jaotusele, siis peaks astmenäitajate jaoks kehtima seos  $\zeta_p = p\zeta_1$ . Ometigi näitavad katsed, et  $\zeta_p$  on selgelt mittelineaarne funktsioon

(kombinatsiooni  $2\zeta_2 - \zeta_4$  kasutatakse sageli juhumuutlikkuse määra kvantifitseerimiseks). Põhjus

peitub selles, et kui Gaussi jaotuse puhul on ekstreemsed sündmused (mis ületavad nt enam kui kolmekordselt standardhälvet) kaduvväikese tõenäosusega, siis tugevalt turbulentsetes

keskkondades (ja ka muu päritoluga juhumuutlikkuse puhul) ei saa välistada ükskõik kui ekstreemseid sündmusi.

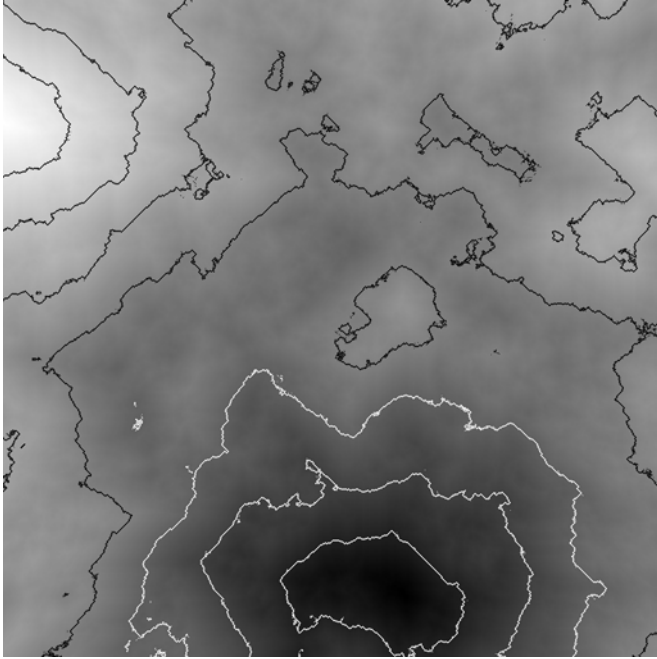
**Mastaabi-invariantsus** (*scale-invariance*): süsteemil puudub laias väärtuste vahemikus iseloomulik mastaap. Lihtsaimaks mastaabi-invariantsuse näiteks on fraktaalsed (enesesarnased) struktuurid, nt rannajoon, puudevõrad jms (vt joonis 2). Ometi on enesesarnasus vaid mastaabi-invariantsuse kitsas erijuht, mis realiseerub vaid siis, kui selleks on kindel põhjus (selleni viib mingi füüsikaline mehhanism). Multifraktaalsus ja multiafiinsus esindab juba märksa laiemat mastaabi-invariantsuse klassi, kus mingi füüsikalise suuruse skaleerumist kirjeldava astmenäitaja teatud lokaalsetele väärtustele vastavad alad kujutavad endast fraktaalseid ruumpiirkondi. Sedasorti mastaabi-invariantsus esineb looduses võrdlemisi sagedasti, sest see tekib peaaegu kõikjal, kus esineb mingil kujul spektraalne kaskaad (näiteks kolmedimensioonilise hüdrodünaamilise turbulentsi puhul on tegemist energia kaskaadiga, kus suurema keerise energia jaguneb kahe väiksema tütarkeerise vahel nii, et ühele neist jagub natuke rohkem energiat, kui teisele).



Joonis 2. Paljudel puudel kujunevad välja enesesarnased võrad, mille fraktaalne dimensioon on suurem kahest (lehti kandev võra ei paista läbi — niimoodi kasutatakse päikesevalgus maksimaalselt ära) ja väiksem kolmest (võra sisemuses on tühje oksavabu piirkondi).

Ometi ei suuda ka multifraktaalsus ja multiafiinsus kirjeldada kõiki mastaabi-invariantsuse juhtumeid. Ühest küljest on võimalik, et astmeseadused (mis on fraktaalsuse, multifraktaalsuse jne nurgakiviks) ei ole täpsed (vt joonis 3). Kui astmeseadus on *log-log* graafikus sirgjoon, siis reaalsuses on sageli tegemist kõveratega. Suhteliselt sageli asenduvad astmeseadused nn *venitunud eksponentidega* [ingl *stretched exponentials*, funktsioonid kujul  $e^{-x^\beta}$ , kus parameeter  $\beta \in (0;1]$ ]. Samas ei kujuta venitunud eksponendid siiski ka mingit imemeetodit: nii nagu fraktaalsus ja multifraktaalsus, formeeruvad ka need jaotused teatud kindlate füüsikaliste tekkemehhanismide mõjul ning küsimus on eeskätt, kui universaalsed ning sageli esinevad on ühte või teist laadi tekkemehhanismid. Teisisõnu, vähe on abi fraktaalsete dimensioonide leidmisest (katsetulemuste sobitamine astmeseaduse järgi) või venitunud eksponentide parameetrite  $\beta$  leidmisest, kui pole selge, millised füüsikalised protsessid võivad vaadeldavas süsteemis viia nimetatud jaotusseaduste moodustumiseni.





Joonis 3. Mudeli genereeritud geoloogiline maastik: tumedamad piirkonnad on madalamad ja heledamad on kõrgemad; samakõrgusjooned on antud valgete või mustade kõverate abil. Pealiskaudsel vaatlemisel võib pilt tunduda enesesarnane, kuid tegelikult väheneb samakõrgusjoonte fraktaalne dimensioon mastaabi vähenedes (st väikseid lookasid on suhteliselt vähem kui suuri) [vt ka J. Kalda, Phys. Rev. Lett. **90**, 118501 (2003)]. Lõpetuseks, eelnev loetelu ei ammenda mastaabi-invariantse kõiki võimalusi. Nii näiteks moodustub passiivse lisandaine (nt värvi) segunemisel kaootilises voolus selline skalaarväli (lisandaine ruumtihedus), mille puhul multifraktaalset kirjeldust saab rakendada vaid teatud aspekti (nn dissipatsioonivälja) jaoks ja sedagi vaid ligikaudselt, vt joonis 4.



Joonis 4. Värva segunemisel siledas kaootilises voolus moodustub selline värvi kontsentratsiooni sõltuvus ruumikoordinaatidest, mis on küll mastaabi-invariantne, kuid mis ei ole ammendavalt kirjeldatav ei

multifraktaalsuse ega veninud eksponentide abil (siiski, vastav dissipatsiooniväli on teatud lähenduses multifraktaalne) [vt ka J. Kalda, Phys. Rev. Lett, **84**, 471-474 (2000)].

**Iseorganiseerumine ja iseorganiseeruv kriitilisus.** Mõiste "kriitiline nähtus" tähistab makroskoopilise süsteemi mikroskoopiliste komponentide vahelise pikamastaabilise korrelatsiooni teket ja kadu; heaks näiteks on aine faasiüleminekud (nt perkolatsiooniprobleem). Öeldakse, et süsteem on kriitiline, kui ta on täpselt makroskoopiliste omaduste muutumise piiril ja tema mikroskoopiliste koostisosade olekute korrelatsioonifunktsioon järgib (mittetriviaalset) skeelinguseadust. Parameetrite ruumis on kriitilisel olekul üldiselt nullmõõt, st kriitiline olek on tegelikult ebatüüpiline olek (nt ferromagneetik on kriitilises olekus siis, kui temperatuur on võrdne antud materjali Curie' temperatuuriga).

Dünaamiliste dissipatiivsete süsteemide puhul pole see aga nii, sest makroskoopiliste dünaamiliste jõudude ning mikroskoopilise dissipatsiooni koosmõju võib juhtida süsteemi täpsele kriitilisusele (toimub *iseorganiseerumine*; näiteid leiab altpoolt). Sel puhul öeldakse, et tegemist on *iseorganiseeruvalt kriitilise süsteemiga*.

**Komplekssüsteemid** (ingl *complex systems*): süsteemid, millele on omane iseorganiseerumine või adaptiivne käitumine, sh turbulentsed keskkonnad, granulaarsed jms materjalid (mida tähistatakse ingliskeelse terminiga *soft matter*, eesti keeles *pehmis*). Need koosnevad harilikult suhteliselt lihtsatest komponentidest, mis interaktsiooni teel moodustavad keeruka terviku.

Esimeseks näiteks olgu liivakuhja kasvatamine liiva juurde raputamise teel. Lisaks hunniku kasvatamisele variseb osa liiva loomulikult alla. Selgub, et nende varingute suurusjaotus on astmeseadus: esineb nii väikseid, lokaalseid varinguid, kui ka suuri ulatuslikke laviine. Varingud hoiavad liiva kaldenurga kogu aeg kriitilisena. Sellise varingute suurusjaotuse reprodutseerib Baki-Tangi-Wiesenfeldi (BTW) mudel [Phys. Rev. Lett. **59**, 382 (1987)]; suures osas tänu sellele mudelile kujuneski välja iseorganiseeruvate süsteemide mõiste.

Teiseks, teatud liigi kohastumine keskkonna ja naaberliikidega on kahtlemata väga keeruline ja analüütilisele kirjeldusele raskesti allutatav protsess (mida võib pidada "füüsikaväliseks"), kuid selgub, et põhimehhanisme on siiski võimalik (peale ekstreemset lihtsustamist) matemaatiliselt modelleerida ning vastavas mudelis toimub iseorganiseerumine. Täpsemalt, Baki-Sneppeni mudeli järgi [P. Bak, K. Sneppen, Phys. Rev. Lett. **71**, 4083-4087 (1993)] eeldatakse, et iga liik on saavutanud teatud kohastumusoptimumi ning teda iseloomustatakse evolutsioonilise barjääri kõrgusega  $B_i$ , mis eraldab antud optimumi lähimast naaberoptimumist kohastumusmaastikul (siinjuures indeks  $i$  nummerdab liike). Muteerumistõenäosus on võrdeline  $e^{-B_i/\tau}$ -ga; muteerumise tulemusel omandab liik juhusliku uue  $B_i$  väärtuse vahemikus  $[0;1]$ . Kuid et looduses on liigid vastastikusel interaktsioonis, siis ühe liigi muteerumine mõjutab ka neid liike, mis on antud liigiga tugevasti seotud (toidu-konkurendid, kiskja-saaklooma vahekorras vms). Seetõttu omistatakse mudelis ka naaberliikidele (mudeli lihtsustuse raames loetakse naaberliikideks naabrid arvteljel, st liigid  $i \pm 1$ ) uus juhuslik barjääri väärtus. Tänu sellisele liikidevahelisele vastasmõjule moodustub antud "ökosüsteemis" iseorganiseeruv kriitilisus, näiteks on järjestikuste mutatsioonide ruumiliste vahekauguste jaotumine kirjeldatav astmeseadusega.

Komplekssüsteemide näidetega võiks jätkata lõputult, nii mõnedki neist olid edukalt uuritud enne BTW mudelit, nt Kardari-Parisi-Zhangi mudel kasvava pinna jaoks, kus kujuneb eneseafiinne pinna struktuur [M. Kardar, G. Parisi, and Y.-C. Zhang, Phys. Rev. Lett. **56**, 889-892 (1986)]. Baki-Sneppeni mudel demonstreerib ilmekalt, kuidas lihtsatest ehituskividest (liigid, mida antud juhul iseloomustatakse üheainsa arvuga  $B_i$ ) moodustub tänu ehituskivide vahelisele interaktsioonile (mis on antud juhul samuti väga lihtne) keerukas tervik. Niisiis, kõikjal, kus on suurel hulgal interakteeruvaid elemente (olgu need siis lihtsad nagu liivatera kuhilas või keerulised nagu inimene ühiskonnas) võib suure tõenäosusega formeeruda kompleksüsteem.

### **Komplekssüsteemide uurimine: kas moeröögatus või reaalne vajadus?**

Teaduses on sageli nii, et mõned mõisted omandavad "võtmesõna" tähenduse ning neid kasutatakse ka siis, kui selleks pole peaaegu üldse alust (või kui on, siis võrdlemisi vähe). Sellistel nõrgalt motiveeritud puhkudel on moesõnade pruukimise eesmärk rõhutada, et antud inimene on teaduse uute suundumustega kursis ning tema enese uurimistöö toimub "teaduse eesliinil". Kuigi sellisel tegutsemisel on kerge konjunkturismi maik küljes, ei tohiks seda siiski ka jäägitult hukka mõista, sest vähemasti annab see tunnistust, et teadlane ei nokitse enesesse kapseldununa aastakümneid oma kitsas probleemivaldkonnas, vaid jälgib teadusareenil toimuvat, olles varmalt valmis rakendama uusi värskeid ideid (eriti siis, kui kriitik pole absoluutselt kindel, kas konkreetne sõnakasutus on põhjendatud või matkiv).

Eeltoodud näited viitavad sellele, et kompleksüsteemide uurimise vajadus on reaalne, sest neid leidub väga mitmepalgelistes olukordades, ning et iseorganiseerumine on universaalne nähtus. Kui sellega nõustuda, siis võib edasi küsida, miks me uurime kompleksüsteeme alles viimasel ajal? Põhjuseks on see, et üldreeglina pole neid võimalik kirjeldada võrrandi või võrrandisüsteemiga, nii nagu füüsikud olid harjunud aastakümnete jooksul tegema. Paremini sobivad spinnklaaside taolised mudelid, kus komponentosakeste karakteristikud ("spinnid") evolutsioneeruvad nt mingil viisil defineeritud energia miinimumi suunas, tehes seda teatud müra foonil. Analüütiliselt õnnestub selliseid mudeleid lahendada vaid erandjuhtudel. Küll aga saab neid mugavasti analüüsida numbriliste arvutuste abil. Seega kompleksüsteemide edukaks matemaatiliseks modelleerimiseks oli vaja arvuteid!

Lõpuks, kui nõustuda, et kompleksüsteeme on paljudel juhtudel tõesti vaja uurida, siis miks tehakse seda siiski nii sageli? Osa vastusest on juba eespool antud: kompleksüsteeme ongi palju, neid võib leida igalt poolt, ootamatutest interdistsiplinaarsetest valdkondadest. Klassikalisele füüsikule-teoreetikule võib kompleksüsteemide modelleerimine tunduda liiga lihtsustav, aga Baki-Sneppeni mudeli näide sobib illustreerima, kuivõrd sisukaid järeldusi võib saada ka väga tugevate lihtsustuste juures. Teine osa vastusest peitub atraktiivsuses füüsiku jaoks. Tõepoolest, kompleksüsteemidega seonduvad probleemid on harilikult

- a) lihtsalt formuleeritavad (arusaadavad ka füüsikutele väljaspool kitsast erialaspetsialistide ringi);
- b) fundamentaalse iseloomuga või olulise praktilise väljundiga, st prestiižsed;
- c) lahendajale eeldatavasti loomingulist naudingut pakkuvad (lihtsate adekvaatsete mudelite otsimine on harilikult just sellise iseloomuga).

Eespool sai korrutatud, kompleksüsteeme on igal pool ja palju. Aga *miks* neid on palju? Sellele provokatiivsele küsimusele võib vastata antroposprintsibi abil. Meie universumis peab olema vaatleja, kes saaks muuhulgas arutada kompleksüsteemide asja. Vaatleja ei saa olla midagi lihtsat ja deterministlikku, sest ta peab olema võimeline informatsiooni töötlemise ja salvestamise. Teisalt,

Ockhami habemenoa printsiibi järgi peavad Universumi ehituskivid ja seadused olema lihtsad (vähemasti on suurem osa füüsikuid selles veendunud). Niisiis, vaatleja saab olla vaid sellises Universumis, kus keerukus kasvab tänu lihtsatest ehituskividest kompleksüsteemide moodustumisele ja iseorganiseerumisele!

### ***Turbulentsed keskkonnad kui kompleksüsteemid***

Tsiteerides Richard Feynmani: "Turbulents on klassikalise füüsika viimane lahendamata probleem, millel on õnnestunud vältida füüsikalist arusaamist ja süstemaatilist kirjeldamist mitmete aastakümnete jooksul." Nõrk turbulents on tänapäeval siiski võrdlemisi hästi mõistetud. Nõrgaks turbulentsiks loetakse olukorda, kus ennustamatus ja fluktuatsioonid toimuvad peaaegu lineaarse regulaarse liikumise foonil ning regulaarne liikumine on tugevam fluktuatiivsest liikumisest. Sellisel puhul on klassikaliseks töövahendiks häiritusmeetodid, kvaasiosakeste (nt plasmonite) kineetilised võrrandid jms.

R. Feynman peab aga silmas tugevat turbulentsi, kus keskset rolli mängivad koherentsed struktuurid — sõltuvalt keskkonnast kas keerisniidid, solitonid vms. Turbulentsiteooria tähtsaimaks rakenduseks on hüdrodünaamika; paraku on hüdrodünaamiline turbulents vältimatult tugev, sest Navier'-Stokesi võrrandi mittelineaarseid liikmeid ei saa vaadelda häirituslikult väikestena.

Turbulentselt segunevate suuruste hierarhia võib püstitada järgmiselt:

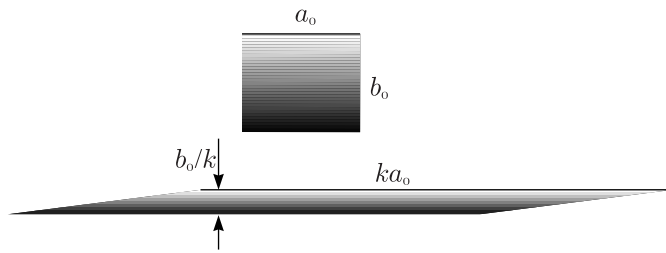
- a) Navier'-Stokesi võrrand kirjeldab aktiivse vektori (keeriselisuse) segunemist;
- b) kinemaatiline dünamo funktsioneerib tänu passiivse vektori (nõrk magnetväli) võimendumisele segunemise läbi;
- c) temperatuuri, reostuse jms edasikandumine kujutab endast passiivse skaalari segunemise probleemi.

Millega on seletatav, et isegi passiivse skaalari turbulentsi probleem ei ole senini ammendavalt lahendatud, vaatamata tema sajandi-pikkusele ajaloole? Esiteks, passiivse skaalari väli areneb keeruliste juhumuutlike peenstruktuuride poole. Niisuguse käitumise kirjeldamine polnud võimalik ilma tänapäevase matemaatilise aparatuurita, mh multifraktaalse formalismiga.

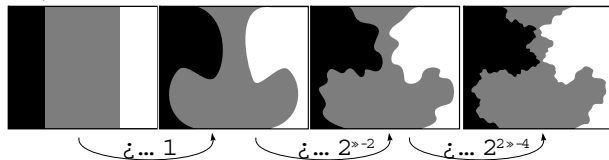
Teiseks, passiivse skaalari turbulents on väga tundlik kiirusvälja omaduste suhtes. Kvalitatiivselt erinevate režiimide mitteammendav loetelu on järgnev.

- I. Siledas kaootilises kokkusurumatus voolus tekib triibuline struktuur (vt joonis 4), mis on ühest küljest kirjeldatav (ligikaudselt) multifraktaalse dissipatsiooniväljaga ning teisest küljest astmeseadusega segunemata klompide suurusjaotuse jaoks. Segunemisprotsessi on mugav uurida vedeliku elementide pikenemise statistika abil, sest kokkusurumatus vedelikus kasvab lisandaine gradient võrdeliselt vedelikuelemendi pikkusega, vt joonis 5.
- II. Väljaarenenud turbulentsi korral moodustub katkevusfrontidega (kõikjal katkev) skalaarväli. Füüsikaliseks põhjuseks on see, et kaks kontsentratsiooni samaväärtusjoont jõuavad kontaktini lõpliku aja jooksul, vt joonis 6. Katkevusjooned on fraktaalsed ning katkevuste kõrgusjaotuseks on gammajaotus; teades seda jaotust on võimalik tuletada ka struktuurifunktsiooni astmenäitaja sõltuvuses indeksist  $p$  [J. Kalda, A. Morozenko, arXiv:0710.5003 (2007)].
- III. Kokkusurutavas kiirusväljas (nt liikumine vedeliku vabal pinnal, kus kokkusurumatus tekib tänu vedeliku osakeste sukeldumisvõimalusele) sõltub lisandaine käitumine kokkusurutavuse määrast ning lisandaine osakeste kleepuvusest: kui kokkusurutavus ületab läveväärtuse, hakkavad kleepuvad lisandaine osakesed kogunema klastritesse ja mitmed selle protsessi aspektid on kirjeldatavad astmeseadustega [J. Kalda, Phys. Rev. Lett. **98**, 064501 (2007)].
- IV. Peaaegu statsionaarses kahedimensioonilises kiirusväljas (mis kirjeldab mitmeid magnetvälja ja plasmaga süsteeme) tekivad pikamastaabilised korrelatsioonid analoogselt perkolatsiooniprobleemiga.

Lisamärkusena olgu öeldud, et kui lisandaine allika geomeetriselised mõõtmed on väikesed (punktallikas — tüüpiline nt reostuse korral), siis modifitseeruvad juhtumid I ja II väga olulisel määral, sest esineb suuri ja pikka aega püsivaid lisandainevabu piirkondi.



Joonis 5. Kokkusurumatus vedelikus on lisandaine gradient võrdeline vedelikuelemendi pikkusega. Tõepoolest, kui vaadelda mõttelist tillukest ristkülikut, mille küljed on lisandaine samatihedusjoonteks, siis venitamise tulemusel muutub see rööpkülikuks, mille kõrgus on pindala säilimise tõttu pöördvõrdeline aluse pikkusega ( $ka_0$ ).



Joonis 6. Kui kiirusväli on kirjeldatav Kolmogorovi spektriga ja vaadelda idealiseeritud piirjuhtu, kus dissipatsioonimastaap on kaduvväike, siis jõuavad kontsentratsiooni kaks samaväärtusjoont kontaktini lõpliku ajaga, sest üha vähenevate keeriste karakterseid ajad moodustavad geomeetriselise progressiooni.

### **Kokkuvõte: kõrvatahapanemist igaks elujuhtumiks**

Eeltoodu õpetas, kuidas ära tunda ja mida oodata kompleksüsteemidelt. Püüdkem nüüd leida elulisi näiteid kompleksüsteemidest ja juhumuutlikkusest. Mõelgem kõigepealt igapäevaelule: see kulgeb pikka aega üksluiselt — hommikul üles, siis tööle, pärast koju. Siiski juhtub aeg-ajalt väikseid sekeldusi (nt võipakk unus poest osta, kodus kass küünistas jms). Siis aga juhtub midagi tõsisemat: raske haigus, töökoha vahetus, lapse sünn vms. See teeb mõneks ajaks palju segadust ja rahmeldamist, hiljem aga läheb asi jälle uutesse kindlatesse rööbastesse. Seega toimub kõik täpselt nii, nagu klassikalise kompleksüsteemi puhul (nt Baki-Sneppeni mudelis): on sündmusi ja sündmuste laviine, mille amplituude ja intervalle saaks kirjeldada astmeseadustega (kui õnnestuks leida elusündmuse amplituudi kvantitatiivne mõõt).

Sarnaselt üksikisiku eluga kulgeb ka ühiskonna areng: on pikki peaaegu muutusteta perioode, siis aga toimub kiire evolutsioon (leiutused, sõjad jms). Äärmuslike protsesside tõttu on mõned tsivilisatsioonid lühikese aja jooksul ka hoopis ära kadunud.

Pöörakem tähelepanu nende näidete juures olulisele omadusele — mittestatsionaarsusele. Arenguhüpete suurusjaotus ei ole Gaussi jaotus, vaid astmeseadus, nt Lévi jaotus, mille *sabad on sageli lõikamata*. Üllatusena ei pruugi jaotus olla isegi mitte stabiilne (nagu seda on Gaussi jaotus ja stabiilne Lévi jaotus); nt aktsiahinna kõikumiste jaoks on leitud, et tegemist on mitte-stabiilse Lévi jaotusega (sest hüpetel pole ühest algpõhjusest, vaid lai spekter eriolemuslike algpõhjusi, nii et ei toimu keskmistumist ja koondumist stabiilseks jaotuseks). Seetõttu ei saa faktist, et teatud pikkusega

perioodi jooksul (mis võib vägagi pikk olla) pole teatud ekstreemsusega sündmusi täheldatud, järeldata nende üldist puudumist. Näiteks:

- kui viimase 100 aasta tugevaim maavärin oli 9,5 magnituudi, ei tähenda see, et homme ei võitulla kaks korda võimsam;
- kui viimase 50 miljoni aasta jooksul pole toimunud sellist geoloogilist kataklüsmi, mis ohustanuks suuremat osa elusloodust Maal, siis see ei tähenda taoliste sündmuste võimatust;
- kui viimase 5 miljardi aasta jooksul pole toimunud sellist sündmust, mis ohustanuks planeedi Maa terviklikkust, siis see ei tähenda taoliste sündmuste võimatust.

Kui üritada suruda kogu eelnev jutt kolme lühikesse lausesse, siis võiksid need olla järgmised.

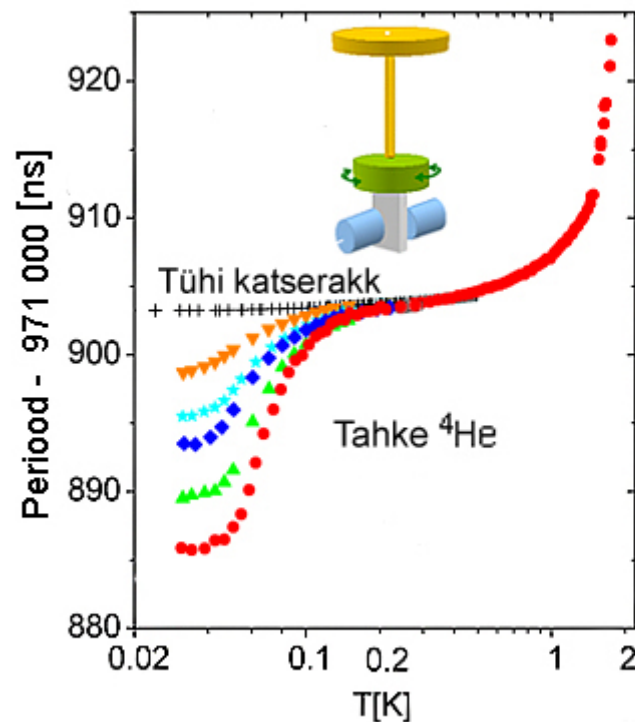
Füüsikaväline füüsika on kompromissiderohke (tuleb teha suuri lihtsustusi), kuid on huvitav ja võib anda sisukaid tulemusi. Lihtsate ehituskivide vaheline lihtne vastasmõju võib viia suure keerukuseni. Maailm on juhumuutlik: keerukas ja täis ohte, aga kui ta seda poleks, siis poleks ka meid olemas.

## ÜLIVOOLAV TAHKE HEELIUM?

Harry Alles

Helsingi Tehnikaülikool

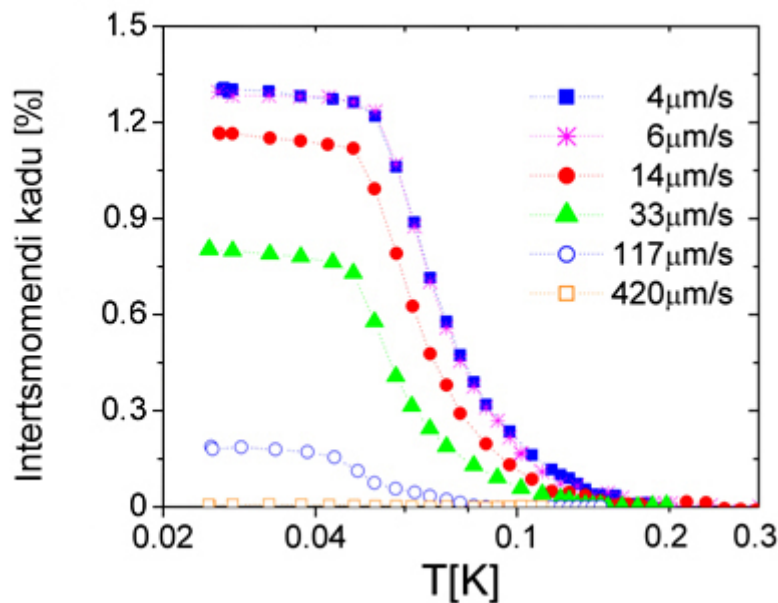
2004. aastal teatasid Pennsylvania Ülikooli (USA) füüsikud Eunseong Kim ja Moses Chan (KC), et nad on avastanud tahke heeliumi ülivoolava oleku (ingl *supersolid*) [1]. Sellise järelduse tegid nad katsete põhjal, kus nad sooritasid nn torsioonvõnkumisi kettakujulise katserakuga, mis sisaldas tahket  $^4\text{He}$ . Jahutades oma katseseadme madalamale temperatuurile kui  $T = 0.2 \text{ K}$  ( $0 \text{ K} = -273.15 \text{ }^\circ\text{C}$ ), täheldasid nad katseseadme võnkeperioodi vähenemist, mida nad interpreteerisid kui osa tahke heeliumi (suurusjärgus 1%) siirdumist ülivoolavasse olekusse (vt joonised 1 ja 2).



Joonis 1. Tahke  $^4\text{He}$  torsioonvõnkumiste perioodi temperatuurisõltuvus. Perioodi vähenemine muutub väiksemaks, kui torsioonvõnkumiste amplituudi suurendada. Joonisel esitatud andmed on katsetest, kus tahke  $^4\text{He}$  on suletud väga poorsesse materjali (eesmärgiga saada näidist, kus oleks võimalikult palju võrevakante). Samasuguse tulemuse said aga KC hiljem ka ilma poorselt materjali kasutamata. Võrdluseks on näidatud andmed tühja katserakuga (mõõdetud võnkeperioodile on lisatud 4260 ns). Joonisel on kujutatud ka katseseadme põhimõtteline skeem: kettakujuline katserakk (diameeter 15 mm, paksus 4 mm) pannakse edasi-tagasi võnkuma ja võnkeperiood mõõdetakse silindrikujuliste elektroodidega, mis on mahtuvuslikus ühenduses katseraku külge kinnitatud tsentraalse elektroodiga. Allikas – Kim ja Chan (2004).

KC sooritasid mitmeid kontrollkõrvalprobleeme veendumaks, et nähtus, mille nad avastasid, on seotud just näidiseks oleva tahke  $^4\text{He}$ -ga. Näiteks sooritasid nad analoogilised mõõtmised ka

teise stabiilse heeliumi isotoobiga, kergema ja harvem esineva  $^3\text{He}$ -ga ja ei täheldanud katseseadme võnkeperioodi vähenemist. Küll aga oli  $^3\text{He}$  lisandaatomitel suur mõju – vaid 0.001% suurune  $^3\text{He}$ -aatomite kontsentratsioon põhjustas võnkeperioodi märgatava vähenemise ja kui  $^3\text{He}$ -aatomite kontsentratsioon tahkes  $^4\text{He}$ -s ületas 0.1%, olid tulemused samasugused kui puhta  $^3\text{He}$ -ga, st efekt oli kadunud. Lisaks muutus  $^3\text{He}$ -aatomite kontsentratsiooni suurenemisega kõrgemaks temperatuur, millest alates võnkeperioodi vähenemine nähtavaks muutus.



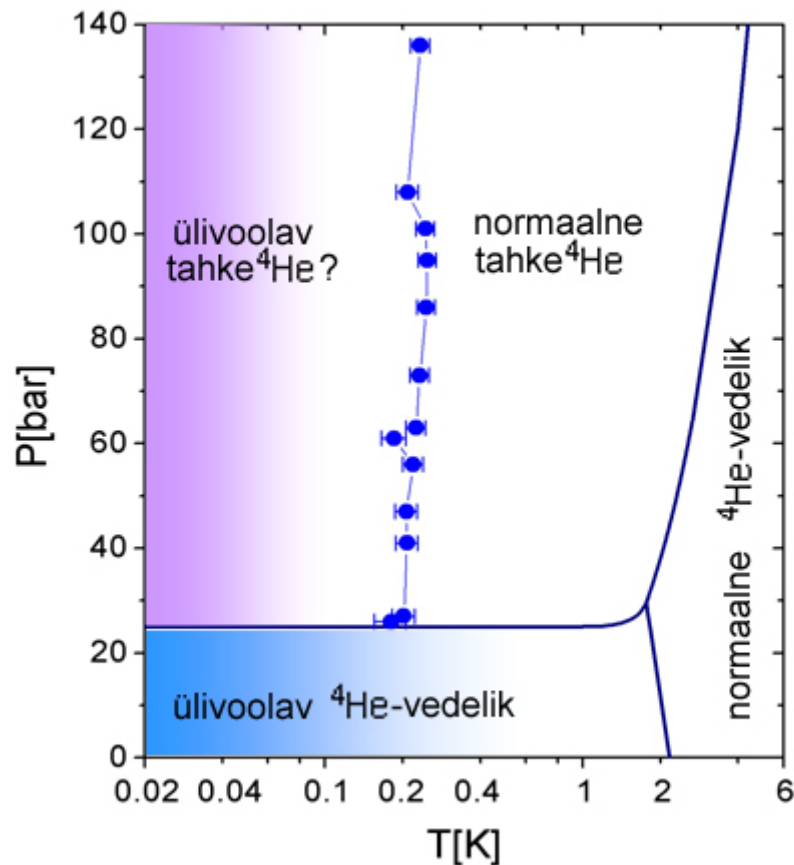
Joonis 2. Torsioonvõnkumiste perioodi vähenemist võib esitada ka (pöörlemise) inertsmomendi kaona, mis KC tõlgenduse järgi vastaks ülivoolava osa suurusele nende tahke  $^4\text{He}$  näidisest. Joonisel esitatud andmed on torsioonvõnkumise eksperimentidest, kus tahke  $^4\text{He}$  on 51 baari rõhu all. Erinevad sümbolid vastavad erinevatele maksimaalsetele võnkumise joonkiirustele. Mida suurema amplituudiga (ja vastavalt suurema maksimaalse joonkiirusega) näidis võngub, seda väiksem on inertsmomendi kadu (ehk siis võnkeperioodi vähenemine). Allikas – Kim ja Chan (2004).

KC tegid ka katse, kus tahke  $^4\text{He}$  oli suletud pöörlemisel ümber kulgevasse ringikujulisse kanalisse ja kus selle kanali ühes kohas blokeerimine põhjustas efekti kadumise. Just see tulemus koos tõdemusega, et efekti suurus vähenes, kui torsioonvõnkumiste amplituudi suurendati (interpreteeritav kui kriitilise kiiruse ületamine), andis alust oletusteks, et avastatud efekt võiks olla seotud tahke  $^4\text{He}$  ülivoolava olekuga. KC sooritasid oma mõõtmised ka erinevatel rõhkudel ja tulemuseks saadud faasidiagramm on esitatud joonisel 3.

KC eksperimentaalsed tulemused äratasid suurt huvi ja innustust füüsikute hulgas üle kogu maailma. Juba 1960ndate lõpus olid vene füüsikateoreetikud Alexander Andrejev ja Ilja Lifshitz avaldanud töö, milles nad esitasid hüpoteesi, et tänu kvantmehaanilistele fluktuatsioonidele võiksid tahkes  $^4\text{He}$ -s eksisteerida delokaliseerunud võrevakantsid isegi absoluutsel nulltemperatuuril ja et need vakantsid võiksid piisavalt madalal temperatuuril moodustada Bose'i-Einsteini kondensaadi [2]. Sellisel kondensaadil oleksid aga väga tähelepanuväärsed omadused – nimelt võiks taoline kondensaat liikuda läbi kristalli ilma igasugust takistust tundmata ehk siis osa heeliumikristallist oleks ülivoolavas olekus. Samas vaatamata arvukatele eksperimentidele rohkem kui kolmekümne aasta jooksul alates



1970ndatest ei oldud leitud eksperimentaalset kinnitust tahke  $^4\text{He}$  ülivoolavusele ega ka kindlat tõendit delokaliseerunud võrevakantside olemasolu kohta tahkes  $^4\text{He}$ -s. Seevastu oldi jõutud järeldusele, et tahke  $^4\text{He}$  ülivoolavus võiks olla võimalik ainult ülimaladal temperatuuril ( $T < 0.001\text{ K}$ ) ja et ülivoolava osa suurus ei ületaks sel juhul 0.0005% (vt ülevaateartiklit [3]). Just seetõttu oligi KC poolt avastatu (ja eriti selle interpreteering) tõeliseks üllatuseks.



Joonis 3. KC poolt välja pakutud  $^4\text{He}$  faasidiagramm. Allikas – Kim ja Chan (2004).

Juhul kui tahke  $^4\text{He}$  muutub ülivoolavaks, siis peaks see avalduma mitte ainult torsioonvõnkumistel, vaid ka teistsugustes eksperimentides. Nii uurisidki Alberta Ülikooli (Kanada) füüsikud James Day ja John Deamish tahke  $^4\text{He}$  omadusi surudes seda piesoelektrilise diafragma abil läbi 25-mikromeetrise sisemise läbimõõduga paralleelsete klaasist kapillaaride (kokku 36 000) kimbu, aga ei leidnud mingit märki ülivoolavusest [4]. Seega said nad teha vaid järelduse, et juhul kui tahke  $^4\text{He}$  tõepoolest muutub ülivoolavaks, siis peavad taolise ülivoolava kondensaadi omadused erinema ülivoolava vedeliku omadustest.

Tahke  $^4\text{He}$  ülivoolavus peaks anomaaliana näha olema ka  $^4\text{He}$  sulamiskõveral (vt faasidiagrammi jooniselt 3). Just selle anomaalia otsimise eesmärgil alustati 2005. aasta lõpus

Helsingi Tehnikaülikooli Külmalabori Interface-uurimisrühmas eksperimentidega, mille käigus mõõdeti väga suure täpsusega (täpsemalt kui 0.5 mikrobaari)  $^4\text{He}$  sulamiskõver temperatuurivahemikus 0.01 ... 0.32 K [5]. Mingit anomaaliat aga ei leitud ja sulamiskõvera kuju oli selles temperatuurivahemikus täielikus vastavuses vaid foononitest põhjustatud sõltuvusega. Selleks ajaks olid ka mitmed füüsikateoreetikud teinud simulatsioonarvutusi ja jõudnud järeldusele, et võrevakantsid tõenäoliselt siiski ei eksisteeri tahkes  $^4\text{He}$ -s absoluutsel nulltemperatuuril ning seetõttu ei saa KC poolt avastatud nähtus olla võrevakantside Bose'i-Einsteini kondensatsioon (viited vastavatele töödele leiduvad Nikolai Prokofjevi (Massachusettsi Ülikool, USA) ülevaateartiklis [6]).

Samas olid mitmed uurimisrühmad 2006. aasta alguseks suutnud reprodutseerida KC tulemusi kasutades samasugust torsioonvõnkumiste meetodit [7,8,9]. Aga lisaks reprodutseerimisele leidsid Cornelli Ülikooli (USA) füüsikud Ann Rittner ja John Reppy, et avastatud efekt muutub väiksemaks, kui näidiseks oleva tahke  $^4\text{He}$  temperatuuri tõsta sulamispunkti lähedusse, hoida seda seal mõned tunnid ning seejärel tagasi madalamale temperatuurile jahutada [9]. On teada, et selline protsess, mida nimetatakse lõõmutamiseks, vähendab oluliselt kristallis olevate defektide hulka. Märkimisväärne oli veel, et nendes eksperimentides viis lõõmutamine ühe näidise puhul kogunisti efekti täieliku kadumiseni. Samas on Moses Chan väitnud, et tema uurimisrühmas ei ole vaatamata väga hoolikale lõõmutamisele efekti täielikku kadumist täheldatud mitte ühegi näidise puhul.

Hiljem võtsid Rittner ja Reppy ette uue eksperimendiseeria, kus nad valmistasid oma tahke  $^4\text{He}$  näidised normaalses olekus oleva  $^4\text{He}$ -vedeliku ( $T > 2.17$  K) kiire, vähem kui 2-minutilise jahutamise teel allapoole  $T = 1$  K [10]. Tulemuseks oli, et selliste näidiste puhul (mis eeldatavasti olid väga defektsed) oli efekti suurus ehk siis inertsmomendi kadu hämmastavalt suur, ületades kogunisti 20% näidiseks oleva tahke  $^4\text{He}$  inertsmomendist. Need eksperimendid andsid veelgi lisakinnitust oletusele, et nähtus, mille KC olid avastanud, peaks olema seotud tahkes  $^4\text{He}$ -s leiduvate defektidega.

Vahepeal jõuti huvitava tulemuseni ENS-is (Pariis), kus Sébastien Balibar koos oma kolleegidega sooritasid eksperimendi, mille käigus nad kasvasid optilises krüostaadis  $^4\text{He}$ -kristalle 10-millimeetrise läbimõõduga ühest otsast suletud klaastoru sisse ja peale rõhuerinevuse tekitamist võrreldes väljapoole klaastoru jääva kristalli osaga, mis põhjustas klaastoru sees oleva kristalli kõrguse tõusu, registreerisid videokaameraga kristalli kõrguse relakseerumist [11]. Kolmeteistkümnest näidiseks olnud kristallist kümne puhul relakseerumist ei toimunud, kuid kolme kristalli puhul – just need, millel olid visuaalselt nähtavad defektid – toimus ajas lineaarne kristalli kõrguse relakseerumine, mida autorid interpreteerisid kui defektides sisalduva üliõhukese ülivoolava  $^4\text{He}$ -vedeliku kihi liikumise tulemust. Samas tuleb tõdeda, et selle Pariisis tehtud eksperimendi tulemused ja KC poolt avastatud nähtus ei pruugi omavahel üldse seotud olla, kuna Pariisi eksperimendid tehti oluliselt kõrgemal temperatuuril,  $T > 1$  K.

Paralleelselt koos paljude teiste füüsikute pingutustega jätkus kõva töö avastatud nähtuse uurimisel ka Moses Chani uurimisrühmas, kus muuhulgas leiti, et kasutades isotoopiliselt ülipuhast  $^4\text{He}$  (vaid 1  $^3\text{He}$  aatom miljardi  $^4\text{He}$  aatomi kohta, mitusada korda vähem kui kommertsiaalses  $^4\text{He}$ -s) muutus tahke  $^4\text{He}$  torsioonvõnkumiste perioodi vähenemine nähtavaks alles 0.075 K temperatuuril, so rohkem kui kaks korda madalamal temperatuuril kui eksperimentides kommertsiaalse  $^4\text{He}$ -ga [12]. Lisaks mõõdeti Moses Chani uurimisrühmas ka tahke  $^4\text{He}$  soojusmahtuvus temperatuuri funktsioonina ja leiti pärast

foononite poolt põhjustatud sõltuvusemahalahutamist piik maksimumiga just 0.075 K kohal, mis suure tõenäosusega võib niisiis olla märk võimalikust faasisiirdest sellel temperatuuril [13]. Siinkohal peab küll täpsuse huvides märkima, et nende näidistega, millega tahke  $^4\text{He}$  soojusmahtuvus mõõdeti, ei sooritatud tehnilistel põhjustel samaaegseid torsioonvõnkumisi.

Kui eeldada, et tahke  $^4\text{He}$  näidised nii sulamiskõvera mõõtmistel Helsingi Tehnikaülikooli Külmalaboris (sulamiskõveral, 25.3 baari) kui ka soojusmahtuvuse mõõtmistel Pennsylvania Ülikoolis (33.0 baari) oleksid olnud identsed, pidanuks vastavalt Moses Chani uurimisrühma hinnangule sulamiskõveral näha olema 5 mikrobaari suurune anomaalia, mida aga ei nähtud. Tegelikult olid aga Helsingi Tehnikaülikoolis näidisteks väheste defektidega monokristallid (näidiseid kuvati optiliselt), kui seevastu Pennsylvania Ülikoolis olid näidised valmistatud standardse nn suletud kapillaari meetodil, mille puhul on tulemuseks paljude defektidega polükristallilised näidised.

2007. aasta lõpus avaldasid aga James Day ja John Beamish oma järjekordsete eksperimentide tulemused, kus nad olid mõõtnud tahke  $^4\text{He}$  nihkemooduli (iseloomustab materjali jäikust ehk siis selle vastupanu elastsele deformatsioonile) temperatuuri funktsioonina [14]. Selleks kasvasid nad tahke  $^4\text{He}$  näidise paralleelsete, teineteisest vaid 0.18 mm kaugusel olevate plaatide (täpsemalt piesoelektriliste sensorite) vahele ja liigutades ühte plaati paralleelselt teise plaadiga registreerisid vastava muutuse teise plaadiga. Selgus, et tahke  $^4\text{He}$  nihkemoodul suureneb kuni 10%, kui temperatuuri langetada 0.2 K-st 0.02 K-ni. Mis veelgi huvitavam – nihkemooduli temperatuurisõltuvus oli hämmastavalt sarnane torsioonvõnkumistel mõõdetud inertsimomendi kao temperatuurisõltuvusega ja samamoodi oli  $^3\text{He}$  lisandaatomitel ja näidise lõõmutamisel dramaatiline mõju katsetulemustele.

Day ja Beamish interpreteerisid oma tulemusi tahkes  $^4\text{He}$ -s leiduvate  $^3\text{He}$ -aatomite ja dislokatsioonide käitumisega. On nimelt teada, et kõrgematel temperatuuridel,  $T > 0.5$  K, on nii  $^3\text{He}$ -aatomid kui ka dislokatsioonid tahkes  $^4\text{He}$ -s väga mobiilsed. Temperatuuri langedes hakkavad aga  $^3\text{He}$ -aatomite ja dislokatsioonide vahele moodustuma sidemed, mille tagajärjel üha rohkem dislokatsioone immobiliseerub ja tulemuseks on, et lokaliseerunud dislokatsioonide võrgustik muudab tahke  $^4\text{He}$  jäigemaks, mis avaldub nihkemooduli suurenemises.

Samaaegselt eksperimenteerimisega on välja pakutud ka mitmeid erinevaid teoreetilisi mudeleid selgitamaks KC poolt avastatud nähtust. Neist üks tähelepanuväärsemaid on esitatud 1977. aasta füüsika nobelisti Philip W. Andersoni (Princetoni Ülikool, USA) poolt. Andersoni mudeli järgi ei ole KC poolt avastatud nähtuse puhul tegemist mitte tahke heeliumi ülivoolavuse ilminguga, vaid hoopis mittekokkusurutava keeristevedeliku käitumisega [15]. Selle mudeli kohaselt peegeldaks mõõdetud tahke  $^4\text{He}$  inertsimomendi kao temperatuurisõltuvus keeriste lõplikku reageerimisega teatud (resonants)sagedusega toimuvatele torsioonvõnkumistele.  $^3\text{He}$  lisandaatomid liiguksid energeetilistel põhjustel keeriste südamesse ja nii peaksid keerised läbi kristalli liikudes vedama endaga kaasa ka  $^3\text{He}$  aatomeid, mis pikendaks seda reageerimisega ehk siis venitaks välja temperatuurisõltuvuse kõrgemate temperatuuride poole nagu ka eksperimentides täheldatud. Muuhulgas ennustab Andersoni mudel, et temperatuur, millest alates Kimi ja Chani poolt avastatud efekt nähtavaks muutub, peaks sõltuma torsioonvõnkumiste sagedusest ja see ennustus on leidnud ka eksperimentaalset kinnitust [16].

Kokkuvõtteks tuleks öelda, et kuigi Kim ja Chan teatasid tahke  $^4\text{He}$  ülivoolavuse avastamisest juba neli aastat tagasi, ei ole hetkel nende poolt avastatud nähtusest veel täielikku arusaamist ja üldiselt väljendudes võiks kõige tõenäolisemalt tegu olla mitteperfektsetes heeliumikristallides olevate defektide kvantmehaanilise käitumise ilmingutega. Samas näib olevat tegemist olulisemalt keerukama nähtusega kui esialgselt välja pakutud võrevakantside Bose'i-Einsteini kondensatsioon ja tänu sellele on olnud rohkesti põnevust tahke  $^4\text{He}$  omaduste ja seal leiduvate defektide käitumise uurimisel. Uurimistöö käigus on aga jõutud mitmel puhul varasematest oluliselt täpsemate mõõtmisteni, lisaks on sooritatud mitmeid täiesti uudseid eksperimente ja kõvasti nuputamist on jätkunud ka füüsikateoreetikutele. Nii et kui ka lõpuks peaks osutama, et Kimi ja Chani poolt avastatud nähtus ikkagi pole tõeline tahke heeliumi ülivoolavus, ei ole füüsikute töö olnud asjatu, vaid see on oluliselt laiendanud meie senist arusaamist tahkest heeliumist.

### **Kirjandus**

1. E. Kim, M.H.W. Chan, 2004. Probable observation of a supersolid helium phase. *Nature* 427, 225-227; E. Kim, M.H.W. Chan, 2004. Observation of superflow in solid helium. *Science* 305, 1941-1944
2. A.F. Andreev, I.M. Lifshitz, 1969. Quantum theory of defects in crystals. *Sov. Phys. JETP* 29, 1107-1113
3. M.W. Meisel, 1992. Supersolid  $^4\text{He}$ : an overview of past searches and future possibilities. *Physica B* 178, 121-128
4. James Day, John Beamish, 2006. Pressure-driven flow of solid helium. *Physical Review Letters* 96, 105304
5. I.A. Todoshchenko, H. Alles, J. Bueno, H.J. Junes, A.Ya. Parshin, V. Tsepelin, 2006. Melting curve of  $^4\text{He}$ : no sign of a supersolid transition down to 10 mK. *Physical Review Letters* 97, 165302; I.A. Todoshchenko, H. Alles, H.J. Junes, A.Ya. Parshin, V. Tsepelin, 2007. Absence of low temperature anomaly on the melting curve of  $^4\text{He}$ . *JETP Letters* 85, 555-558
6. N. Prokof'ev, 2007. What makes a crystal supersolid? *Advances in Physics* 56, 381-402
7. M. Kondo, S. Takada, Y. Shimbayama, K. Shirahama, 2007. Observation of Non-classical rotational inertia in bulk solid  $^4\text{He}$ . *Journal of Low Temperature Physics* 148, 695-699
8. A. Penzev, Y. Yasuta, M. Kubota, 2007. Annealing effect for supersolid fraction in  $^4\text{He}$ . *Journal of Low Temperature Physics* 148, 677-681
9. A.S.C. Rittner, J.D. Reppy, 2006. Observation of classical rotational inertia and nonclassical supersolid signals in solid  $^4\text{He}$  below 250 mK. *Physical Review Letters* 97, 165301
10. A.S.C. Rittner, J.D. Reppy, 2007. Disorder and the supersolid state of solid  $^4\text{He}$ . *Physical Review Letters* 98, 175302
11. S. Sasaki, R. Ishiguro, F. Caupin, H.J. Maris, S. Balibar, 2006. Superfluidity of grain boundaries and supersolid behavior. *Science* 313, 1098-1100
12. A.C. Clark, J.T. West, M.H.W. Chan, 2007. Nonclassical rotational inertia in helium crystals. *Physical Review Letters* 99, 135302
13. X. Lin, A.C. Clark, M.H.W. Chan, 2007. Probable heat capacity signature of the supersolid transition. *Nature* 449, 1025-1028
14. J. Day, J. Beamish, 2007. Low temperature shear modulus changes in solid  $^4\text{He}$  and connection to supersolidity. *Nature* 450, 853-856

15. P.W. Anderson, 2007. Two new vortex liquids. *Nature Physics* 3, 160-162
16. Y. Aoki, J.C. Graves, H. Kojima, 2007. Oscillation frequency dependence of nonclassical rotation inertia of solid  $^4\text{He}$ . *Physical Review Letters* 99, 015301.

# FÜÜSIKAÕPPE EFEKTIIVSUSE MÕÕTMINE

Svetlana Ganina (KVÜÕA<sup>1</sup>), Henn Voolaid (TÜ)

## Sissejuhatus

Käesolevas töös on välja pakutud moodus õppeefektiivsuse mõõtmiseks. Meie andmetel pole seda Eestis varem tehtud.

Alates 2003. aastast oleme otsinud sobilikku mudelit või valemit, millega saaks kõige lihtsamalt õppeefektiivsust mõõta, katsetasime erinevaid variante pilootuuringus ja leidsime optimaalse variandi, mida kirjeldame alljärgnevalt.

Haridusega tegelevad inimesed on kindlasti lugenud, kuulnud või ise kasutanud mõistet *õppimise efektiivsus* või *õpetamise efektiivsus*. Aga mida selle all silmas peetakse? Ilmselt seda, et õppimine oleks tagajärjekas ja tulemuslik, sest niisugune on *efektiivsuse* eestikeelne tähendus.

Kuidas hinnata või mõõta õppimise tulemuslikkust? Tootmises on see lihtne, sest seal on tulemuseks toodang ja nii ütlebki majandusteooria, et *efektiivsus tähendab maksimaalselt võimaliku toodangukoguse saamist olemasolevate ressurssidega* [1]. Kuid õppetöös kasutatavat üldtunnustatud efektiivsuse mõõtmismoodust pole õnnestunud leida. Sellepärast võtsime eesmärgiks täpsustada *õppetöö efektiivsuse* mõistet analoogia põhjal tootmisega ja leida efektiivsuse hindamiseks sobiv arvutusvalem.

Kui lähtume analoogiast tootmisega, siis tuleb kokku leppida, mis on õppetöö "toodang"? Selleks võib lugeda uusi teadmisi ja oskusi. Seega, kasutades analoogiat eespooltoodud definitsiooniga, võib öelda, et *õppetöö efektiivsus tähendab maksimaalselt võimaliku uute teadmiste ja oskuste hulga saamist olemasolevate ressurssidega*. Ressursside all peame silmas eelkõige õpilasi, õpetajaid, õppevahendeid, õpikeskkonda (nii materiaalselt kui psüühilist), õppemeetodeid, jne.

Omandatud teadmised ja oskused aga ununevad ja sellepärast saab õppeefektiivsuse kohta lõpphinnangu anda alles pärast *unustamisaja* möödumist. Unustamisega saab määrata *unustamiskõvera* abil. See näitab õigete vastuste osakaalu vähenemist aja jooksul, mis on möödunud esimesest teadmiste kontrollist [2].

Kuna maksimaalselt võimaliku uute teadmiste ja oskuste hulga kindlakstegemine on keeruline, siis piirdume lihtsalt uute teadmiste ja oskuste hulga kindlakstegemisega.

Selle mõõtmiseks kasutame ühe ja sama testi tulemusi, mis saadi enne mingi osa õppimist ja pärast selle osa õppimist. Teste nimetame *eeltestiks* ja *järetestiks*.

Õppeefektiivsust kirjeldame *efektiivsuskoefitsiendiga E*, milleks nimetame järel- ja eeltesti tulemuste vahet:

---

<sup>1</sup> Kaitseväge Ühendatud Õppeasutused

$$E = T_j - T_e,$$

kus

$$T_e = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{N \cdot n} - \text{eeltesti tulemus};$$

$$T_j = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{N \cdot n} - \text{järeltesti tulemus};$$

$N$  - vastanud õpilaste arv;

$n$  - küsimuste arv testis;

$n_i$  - ühe õpilase poolt antud õigete vastuste arv.

Sellisel leitud efektiivsuskoefitsiendi väärtused jäävad  $-1$  ja  $+1$  vahele.

Meie valemiga sarnase valemi õpetamise efektiivsuse hindamiseks on kasutusele võtnud ka USA teadlased [3]:

$$\langle g \rangle = \frac{\%post - \%pre}{100 - \%pre},$$

kus  $\langle g \rangle$  – rühma keskmine efektiivsus;

$\%post$  – järeltesti õigete vastuste protsent;

$\%pre$  – eeltesti õigete vastuste protsent.

Niisuguse valemi puuduseks on see, et efektiivsuse  $\langle g \rangle$  väärtustel puudub kindel proportsionaalne skaala. Näiteks, kui eeltesti tulemus on maksimaalne, ehk  $\%pre=100\%$ , siis valemi nimetaja on võrdne nulliga ja efektiivsus saab lõpmata suureks, mis on ebaloominguline.

## **Uuring ja selle tulemused**

Oma teoreetiliste arutluste kontrollimiseks viisime läbi füüsikaõppe efektiivsuse uurimise, milles osales 1125 inimest 26-st Eesti koolist, 4-st kutsekoolist ja Tartu Ülikooli matemaatika ja geograafia osakonna 2. kursusel.. Uuring viidi läbi aastatel 2005 kuni 2007.

Uuringus viidi läbi testid erinevatest füüsika valdkondadest ja erinevate ajavahemike järel. Eeltest enne teema läbimist ja järeltestid kohe pärast teema läbimist, nädala pärast, kuu aja pärast, aasta pärast ja kahe aasta pärast, sest meid huvitas õppeefektiivsus pärast unustamisaja möödumist. Testide küsimused olid valitud erinevate eesmärkidega: ühed neist kontrollisid teadmisi (füüsikalised mõisted ja suurused ning nende mõõtühikud), teised kontrollisid oskusi (ülesannete lahendamine ja järelduse tegemine). Visuaalse õpistiili hindamiseks oli üks joonisega küsimus ja graafikuga ülesanne. Küsimused ja arvutusülesanded olid valikvastustega, ja nende taset püüdsime erinevate teemade korral hoida ühesugusena.

Testid olid kuuest füüsika valdkonnast: mehaanika, soojusõpetus, elektromagnetism, optika, aine ja väli ning astronoomia. Küsimuste koostamisel kasutasime koolides kasutuselolevaid õppevahendeid [4-8].

Järgnevalt on toodud füüsikaõppe efektiivsuskoefitsientide tabel, kus need on arvatud meie poolt pakutud valemi abil.

	efektiivsuskoefitsient				
	$E_0$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$
mehaanika	0,19	0,07	0,05	0,04	0,03
soojus	0,31	0,28	0,23	0,11	0,10
elekter	0,30	0,30	0,25	0,20	0,18
optika	0,29	0,30	0,25	0,00	-0,02
aine ja väli	0,35	0,32	0,24	0,15	0,06
astronoomia	0,52	0,49	0,40	0,35	0,34

Tabelis on  $E_0$  efektiivsuskoefitsient kohe pärast teema läbimist (algefektiivsus),  $E_1$  –nädala pärast,  $E_2$  - kuu aja pärast,  $E_3$  - aasta pärast,  $E_4$  - kahe aasta pärast.

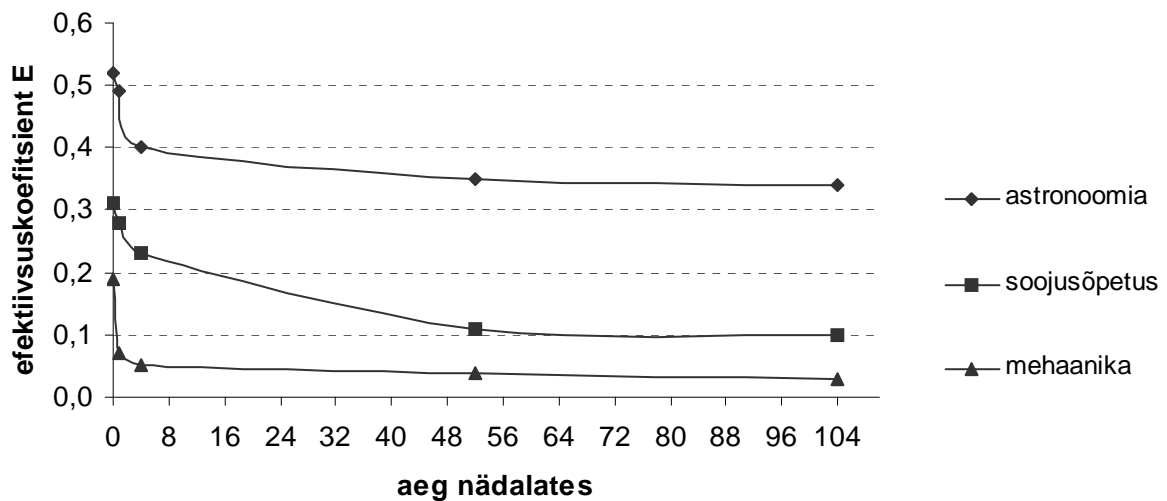
Nagu tabelist näha, on meie andmete järgi mehaanika kursuse õpetamise algefektiivsus kõige väiksem:  $E_{0M} = 0,19$  ja kõige suurem on astronoomia õpetamise algefektiivsus:  $E_{0A} = 0,52$ .

Meie uuringust ei selgunud veel, miks see nii on, võib aga oletada (tuginedes oma kogemustele ja teiste õpetajate arvamustele), et mehaanika osas on õpilastel paremad eelteadmised ja nii õpilastel kui ka õpetajatel võib tekkida illusioon, et ei olegi vaja midagi juurde õppida. Astronoomia osa kõrget efektiivsust võib seletada sellega, et õpilastel on huvi selle teema vastu, ehk kõrge motivatsioon. Optika õppeefektiivsuse muutumist negatiivseks kahe aasta jooksul ei oska praegu kuidagi seletada.

Esitame efektiivsuskoefitsiendi ajalsed muutused (nn unustamiskõverad) kolme teema kohta, mille graafikud on küllalt erinevad. Nendeks teemadeks valisime astronoomia, soojusõpetuse ja mehaanika.

Graafikutelt on näha, et kõikides valdkondades toimub kõige kiirem unustamine esimese kuu jooksul.





Joonis 1. Unustamiskõverad

Püüdsime leida unustamiskõveraile ka korrelatsioonifunktsioone. Kuna looduses kulgevad igasugused relaksatsiooniprotsessid eksponentfunktsiooni kohaselt, siis otsisime ka meie oma graafikutele korrelatsioonifunktsioone eksponentfunktsiooni kujul  $E = E_0 e^{-kt}$ , kus  $E_0$  on *alg*efektiivsuskoefitsient ehk efektiivsuskoefitsient vahetult pärast õppimise lõppu,  $k$  on *unustamiskoefitsient* ja  $t$  on aeg. Unustamiskoefitsient näitab selle ajavahemiku pöördväärtust, mille korral  $E$  väheneb  $e$  korda (ca 2,7 korda).

Saime järgmised tulemused:

$$\text{Astronoomia } E = 0,46e^{-0,004 t}$$

$$\text{Soojusõpetus } E = 0,26e^{-0,011 t}$$

$$\text{Mehaanika } E = 0,05e^{-0,011 t}$$

Problemaatiline on unustamisaja määramine, mille möödudes võib rääkida lõplikult efektiivsuskoefitsiendist. Kui selleks võtta aeg, mis on määratud unustamiskoefitsiendi pöördväärtusega, siis saame astronoomia korral unustamisajaks ca 5 aastat ja soojusõpetuse ning mehaanika korral ca 1,5 aastat. Unustamiskõveraaid vaadates tunduvad need ajad küll liiga pikad olema, seda enam, et nii kaotab efektiivsuse mõõtmine operatiivsuse. Meie graafikutelt on näha, et peamine unustamine toimub esimese kuu jooksul. Seda kinnitavad ka psühholoogide uurimused [8]. Kas üks kuu on usaldatav unustamisaeg, seda peavad näitama edasised uuringud.

Uuringus selgitati välja ka faktorid, mis võiksid õppeefektiivsust oluliselt mõjutada, kuid neid tulemusi me siinkohal ei esita.

## **Kokkuvõte**

Antud töös on defineeritud õppeefektiivsus, milleks nimetame maksimaalselt võimaliku uute teadmiste ja oskuste hulga saamist olemasolevate ressurrsidega. On välja töötatud meetod, mis lubab ühe ja sama testi tegemisega enne ja pärast mingi teema läbimist hinnata õppimise efektiivsust. Selleks on tuletatud valem, mis lubab määrata õppe efektiivsust iseloomustava kvantitatiivse suuruse, mida nimetame efektiivsuskoefitsiendiks. Õppimisega kaasneva unustamise arvestamiseks tuleks efektiivsuskoefitsient määrata unustamisaja möödudes.

Meie meetod ega valem pole seotud mingil viisil ainult füüsikaga, seepärast võib sellist hinnangut kasutada mistahes õppimise efektiivsuse mõõtmisel.

Füüsikaõppe efektiivsust mõõdeti 1125 õpilasel ja üliõpilasel ning tulemuste põhjal koostati unustamiskõverad (efektiivsuskoefitsiendi sõltuvus õppimisest möödunud ajast). Nende põhjal võib öelda, et unustamisaeg on umbes üks kuu, kuid see vajab veel täpsustamist. Unustamiskõverate lähendamisel eksponentfunktsiooniga saab määrata ka unustamiskoeffitsiendi, mis on pöördvõrdeline ajaga, mille jooksul efektiivsuskoefitsient väheneb  $e$  korda.

## **Kirjandus**

1. Kerem, K., Randvere, M. (1998) Mikro- ja makromajandus. Eesti Haldusjuhtimise instituut. Tallinn.
2. Psühholoogia gümnaasiumile, Tartu Ülikool, 2006, lk 123.
3. Hake, R. R. Assessment of Student Learning in Introductory Science Course, Physics Department (Emeritus), Indiana University.  
<http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss2/art28/>, (29.08.2007).
4. Teel füüsikastandardile. Mehaanika. Ülesandeid 10. klassile. (1998) Tallinn: Koolibri.
5. Teel füüsikastandardile. Molekulaarfüüsika. (2000) Tallinn: Koolibri.
6. Teel füüsikastandardile. Elekter ja magnetism. (2002) Tallinn: Koolibri.
7. Teel füüsikastandardile. Elektrodünaamika. (2003) Tallinn: Koolibri.
8. Teel füüsikastandardile. Aine ja väli. (2004) Tallinn: Koolibri.

## EESTI FÜÜSIKA SELTS 2007

### ***EFS AUKIRJAD JA PREEMIAD***

#### EFS AASTAPREEMIA 2007

DIPLOM Nr 14

Eesti Füüsika Selts tunnistab oma aastapreemia vääriliseks

*Jaan Kalda*

multifraktaalse formalismi arendamise ja rakendamise eest pehmisefüüsikas.

Tunnustuseks annab Selts temale 2007. aasta numbrit kandva medali.

Tartus, 20. märtsil 2007. a.

EFS esimees

#### EFS ÜLIÕPILASPREEMIA 2006

DIPLOM Nr 24

Eesti Füüsika Selts tunnistab 2006. a. üliõpilaspreemia vääriliseks

*Heli Valtna*

töö „Superluminaalsete lainete tekitamise võimalikkus“ eest.

Tartus, 20. märtsil 2007. a.

EFS esimees

EFS AUKIRI 2007

Nr 13

Eesti Füüsika Selts tunnustab aukirjaga

*Andi Hektorit*

noorfüüsikute suvekoolide korraldamise eest.

Tartus, 20. märtsil 2007. a

EFS esimees

EFS aukirjakomisjoni esimees

EFS ÜLIÕPILASTE STENDIPREEMIA 2007

DIPLOM Nr 7

Eesti Füüsika Selts tunnustab Eesti 37. füüsikapäevade üliõpilaste stendipreemia vääriliseks

*Aleksander Lissovski*

stendiettekanne „VUV-VIS spectroscopic study of pulsed high-pressure volume discharge in argon“  
eest.

Tartus, 20. märtsil 2007. a

EFS esimees

Preemiakomisjoni esimees

EFS ÕPILASPREEMIA 2007

DIPLOM

Nr 9

Eesti Füüsika Selts tunnistab oma õpilaspreamia vääriliseks

*Martin Jõgi*

töö „Doosikiirguse mõõtmine minu kodukohas“ eest.

Tartus, 20. märtsil 2007. a

EFS esimees

TÄNUKIRI

Eesti Füüsika Selts tänab

*Jaak Jõgi*

EFS õpilaspreamia saanud töö „Doosikiirguse mõõtmine minu kodukohas“ (autor Martin Jõgi) juhendamise eest.

Tartus, 20. märtsil 2007. a

EFS esimees

## **EESTI FÜÜSIKA SELTSI JUHATUSE 2007. AASTA TEGEVUSARUANNE**

Traditsioonilised Eesti füüsikapäevad toimusid 2007. a kahe istungina. Eesti XXXVII füüsikapäevade I istung toimus koos Soome Füüsika Seltsiga 15.–17.03.2007. a Tallinnas. Selle istungi Eesti-poolse organisatorina tegutses Raivo Stern. Kutsutud ettekande pidas seal Arvi Freiberg. Füüsikapäevade II istung ja XXIX füüsikaõpetajate päevad toimusid 20. ja 21. märtsil Tartus. Esitati 19 suulist ja 5 stendiettekannet (vt [www.fyysika.ee/efs](http://www.fyysika.ee/efs)), osalejaid oli rohkem kui 170. Füüsikapäevad organiseerisid Arvo Kikas, Ilmar Kink, Koit Muring ning Jaak Jõgi.

Füüsikapäevade raames toimus 20. märtsil EFSi üldkogu, millel kinnitati seltsi juhatuse tegevus- ja majandusaruanne ning Kaido Reivelt tegi oma ettekandes kokkuvõtte EFSi populariseerivast tegevusest. Uuteks juhatuse liikmeteks valiti Helle Kaasik (TÜ FI), Madis Kiisk (TÜ FI), Silver Lätt (TÜ FO), Anu Reinart (TO) ja Margus Saal (TÜ FI). Tööpäeva lõpetas traditsiooniline seltsiõhtu sealsamas füüsikahoones.

Füüsikapäevadel anti välja EFSi aastapremia Jaan Kaldale multifraktaalse formalismi arendamise ja rakendamise eest pehmisefüüsikas. EFSi aukirja pälvis Andi Hektor noorfüüsikute koolide korraldamise eest. EFSi üliõpilaspremia anti Heli Valtnale töö „Superluminaalsete lainete tekitamise võimalikkus“ eest ja EFSi õpilaspremia Martin Jõgile töö „Doosikiirguse mõõtmine minu kodukohas“ eest, mis valmis Lähte Ühisgümnaasiumi õpetaja Jaak Jõgi juhendamisel. Premia Füüsikapäevade parima üliõpilaste stendiettekande eest pälvis Aleksander Lisovski poster „VUV-VIS spectroscopic study of pulsed high-pressure volume discharge in argon“.

Ilmus EFSi aastaraamat 2006 (toimetajad Anna Aret, Helle Kaasik ja Piret Kuusk). EFSi listi [seltsid.efs@lists.ut.ee](mailto:seltsid.efs@lists.ut.ee) haldab Jaak Jõgi ning EFSi kodulehte ([www.fyysika.ee/efs](http://www.fyysika.ee/efs)) toimetab Kaido Reivelt.

Märtsis toimunud Eesti koolinoorte 54. füüsikaolümpiaadil sai EFSi eriauhinna (ajakirja „Scientific American“ aastatellimuse) Stanislav Zavjalov Narva Humanitaargümnaasiumist.

Jätkusid Eesti Füüsika Seltsi mitmesugused füüsikat populariseerivad üritused. Taavi Adambergi eestvedamisel jätkas oma tööd Teadusbuss Suur Vanker, jätkus füüsikaportaali ([www.fyysika.ee](http://www.fyysika.ee)) arendamine ning ligi kuuekümmet praeguse ja tulevase füüsiku ühise jõupingutuse korraldati Tähe Perepäevad Täpe 2007. Lisaks sellele osalesime väga mitmesugustel messidel ja üritustel, nagu messid Intellektika ja Teeviit, Teadlaste Öö üritused Tallinnas ning TÜ 375. juubeli üritused üle kogu Eesti.

Jaak Jõgi eestvedamisel toimus Nõos 25. ja 27. juunil neljas EFSi füüsikaõpetajate suvekool. Koolis oli 25 osalejat, teadmisi jagasid KBFI, TÜ füüsikaosakonna, TÜ Füüsika Instituudi ja Tartu Observatooriumi teadurid. Seekordse suvekooli raames toimus ka seminar „Koolifüüsika reform“, kus oli osalejaid ligi 30.

Noorfüüsikute osakonna eestvedamisel korraldati aruandeaastal kaks noorte füüsikute kooli (vt ka [www.fyysika.ee/kool](http://www.fyysika.ee/kool)). 15.–17. juunil toimus Arbaveres viies EFS täppisteaduste suvekool. Osales 66 tudengit TLÜ-st, TTÜ-st ja TÜ-st. Toimus 18 akadeemilist tundi loenguid ja seminare ning tudengite stendi- ja ettekandesessioon. Organisatoriteks olid Maarja Grossberg, Andi Hektor, Ahto Kuusk ja Mario Mars. 19.–21. oktoobril toimus Käärikul järjekordne (üheksas) EFS täppisteaduste sügiskool. Osales kokku 101 tudengit, teadlast ja õppejõudu. Kuulati 17 akadeemilist tundi loenguid ja seminare, toimus ka

tudengite stendi- ja ettekandesessioon. Organisaatoriteks olid Maarja Grossberg, Andi Hektor, Ahto Kuusk, Rünno Lõhmus, Silver Lätt, Kaido Reivelt ja Merike Martsepp.

2007. a kuulus EFSi 195 aktiivset liiget. EFS kuulub jätkuvalt Euroopa Füüsikaühingusse.

EFSi ettevõtmisi toetasid aastal 2007 Eesti Teaduste Akadeemia, Haridus- ja Teadusministeerium, Hasartmängumaksu nõukogu, Euroopa Kosmoseagentuur, Ettevõtluse Arendamise Sihtasutus, Tartu Ülikool, Tallinna Tehnikaülikool, Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut, Tartu Observatoorium, Vesilind OÜ, AS Eesti Energia, SA Tallinna Tehnika- ja Teaduskeskus, MTÜ Kinobuss, SA Teaduskeskus AHHAA, SA Archimedes, Tiigrihüppe SA, TÜ Avatud Ülikool, TÜ Füüsika Instituut, TÜ füüsikaosakond, TÜ Tehnoloogiainstituut, Eesti Televisioon ja AS Eesti AGA. Täname kõiki toetajaid ja loodame koostöö jätkumist.

Eesti Füüsika Seltsi juhatuse liikmed:

Kaido Reivelt

Ilmar Kink

Silver Lätt

Raivo Stern

Tartus 7. veebruaril 2008. a.

### ***Aasta pilt: 2007. a.***



2007. a alustati EFSi initsiatiivil uue eestikeelse kõrgkoolide füüsika põhiõpiku tõlkimisega. Pildil on hetk esimeselt selleteemaliselt nõupidamiselt 21.03.2007 Tartus. Pildil on vasakult: Henn Käämbre, Jaak Kikas, Piret Kuusk, Imbi Tehver, Eve Tamm, Peeter Saari, Indrek Kolka, Tõnu Viik, Kadri Veende, Jaak Jaaniste, Margus Saal ja Matti Laan. 2007. a lõpetati põhiosas teksti tõlkimine, raamatu loodame trükkida 2008. a.

## ***EFS LAIENDATUD JUHATUS 2007. AASTAL***

- |                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>Kaido Reivelt</b><br>esimees  | Tartu Ülikooli Füüsika Instituut, Riia 142, 51014 Tartu<br>Tel/faks: +372 737 4623 / 738 3033<br>E-mail: kaidor@fi.tartu.ee                 |
| <b>Ilmar Kink</b><br>aseesimees  | Tartu Ülikooli Füüsika Instituut, Riia 142, 51014 Tartu<br>Tel/faks: +372 422 150 / 738 3033<br>E-mail: ilmar.kink@fi.tartu.ee              |
| <b>Raivo Stern</b><br>aseesimees | Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut, Akadeemia tee 23, 12618 Tallinn<br>Tel/faks: +372 639 8309 / 639 8393<br>E-mail: stern@kbfi.ee |
| <b>Silver Lätt</b>               | Tartu Ülikool, Tähe 4, 51010 Tartu<br>Tel/faks: +372 737 6523 / 737 5858<br>E-mail: Silver.Latt@ut.ee                                       |
| <b>Maarja Grossberg</b>          | Tallinna Tehnikaülikool, Ehitajate tee 5, 19086, Tallinn<br>Tel/faks: +372 620 3210 / 620 3367<br>E-mail: mgross@staff.ttu.ee               |
| <b>Helle Kaasik</b>              | Tartu Ülikooli Füüsika Instituut, Riia 142, 51014 Tartu<br>Tel/faks: +372 737 4707 / 738 3033<br>E-mail: helle.kaasik@ut.ee                 |
| <b>Madis Kiisk</b>               | Tartu Ülikooli Füüsika Instituut, Riia 142, 51014 Tartu<br>Tel/faks: +372 737 4780<br>E-mail: madis.kiisk@fi.tartu.ee                       |
| <b>Tõnu Laas</b>                 | Tallinna Ülikool, Narva mnt 25, 10120 Tallinn<br>Tel/faks: +372 640 9408 / 640 9418<br>E-mail: tony@tlu.ee                                  |
| <b>Anu Reinart</b>               | Tartu Observatoorium, Tõravere, 61602 Tartumaa<br>Tel/faks: +372 741 0278<br>E-mail: reinart@aai.ee   |



- Peeter Saari** Tartu Ülikooli Füüsika Instituut, Riia 142, 51014 Tartu  
Tel/faks: +372 737 4611 / 738 3033  
E-mail: peeter.saari@ut.ee
- Margus Saal** Tartu Ülikooli Füüsika Instituut, Riia 142, 51014 Tartu  
Tel/faks: +372 737 4760 / 738 3033  
E-mail: margus@fi.tartu.ee
- Jaak Jõgi** Lääne Ühisgümnaasium, Lääne sjsk., 60502 Lääne  
Tel/faks: +372 733 4180 / 733 4184  
E-mail: jaak.jogi@gmail.com

## **EFS UUED LIIKMED**

1. Madis Noppel
2. Ando Aasa
3. Imre Treufeld
4. Anu Reinart

## EFS TÄPPISTEADUSTE SUVEKOOL

NoFy (EFS noorfüüsikute osakond) korraldab 15.–17. juunini 2007 Arbaveres EFS täppisteaduste V suvekooli, milles osales 66 tudengit. Toimus 18 akadeemilist tundi loenguid ja seminare. Lisainfo veebilehel [www.fyysika.ee/kool](http://www.fyysika.ee/kool).

## LOENGUKAVA

Reede, 15. juuni

13.00 – 13.15 Avasõna korraldajatelt

13.15 – 15.00 Ivo Fridolin (TTÜ). Optilise diagnostika meetodid meditsiinis

15.30 – 17.15 Tõnu Laas (TLÜ). Kõrgetemperatuurse plasma vastastikmõju materjalidega: aparatuur ja rakendused

18.15 – 19.30 Jaan Aarik (TÜ). Nanomõõtmelised tahkisekiled, nende valmistamine ja rakendused

Laupäev, 16. juuni

- 14.00 – 14.30 Alan Tkaczyk (University of Michigan). Electrowetting and Behavior of Two-Phase Flows in Microsystems
- 14.30 – 15.45 Tudengite lühiloengud & postrite tutvustused
- 16.15 – 17.45 Kristjan Kannike (KBFI). Kosmoloogia ja aine tekkimine Universumis
- 17.45 – 18.20 Mirosław Derewinski (Polish Academy of Sciences). Catalytic cracking
- 18.20 – 19.00 Raivo Stern (KBFI). Kõrged magnetväljad ja KBFI
- 20.00 – 21.00 Teadusbussi seminar

Pühapäev, 17. juuni

- 10.00 – 11.30 Tõnu Viik (TO). Päikesesüsteemi hämarates tagatubades
- 11.45 – 13.15 Raivo Vilu (TTÜ). Rakkude paljunemise füüsikast
- 13.15 – 13.25 Ühispildi tegemine, kokkuvõte, auhinnad

#### EFS TÄPPISTEADUSTE SÜGISKOOL

19.–21. okt toimus Käärikul EFS täppisteaduste sügiskool, järjekorras juba üheksas. Osales 101 tudengit, teadlast ja õppejõudu. Toimus 17 akadeemilist tundi loenguid ja seminare. Lisainfo veebilehel [www.fyysika.ee/kool](http://www.fyysika.ee/kool).

#### LOENGUKAVA

Reede, 19. okt

- 14.00 – 14.15 Avasõna korraldajatelt
- 14.15 – 16.00 Alan Tkaczyk (TÜ). Radioactive waste management
- 16.30 – 17.30 Andi Hektor (KBFI). Midagi huvitavat füüsikast
- 17.45 – 19.00 Teadusbussi Suur Vanker seminar

Laupäev, 20. okt

- 13.00 – 14.30 Kalju Eerme (TO). Atmosfääri osa kliimasüsteemis üldse ja Eesti kliima puhul

- 14.45 – 16.15 Arvo Mere (TTÜ). Elektriliste kontaktide valmistamise teooria ja praktika
- 16.30 – 17.45 Andri Jagomägi (TTÜ). Päikesepaneelide katsetused Eesti tingimustes
- 18.00 – 19.00 Tudengite lühiloengud & postrite tutvustused

Pühapäev, 21. okt

- 10.00 – 11.30 Kristjan Kannike (KBFI/TÜ). Inflatsioon ja tume energia: Universumi minevik ja tulevik
- 11.45 – 13.15 Mart Noorma (TÜ). Milline on ideaalne loeng?
- 13.15 – 13.25 Ühispildi tegemine
- 13.25 – 14.25 Lõunasöök & kokkuvõte & auhindade jagamine

#### EFS IV FÜÜSIKAÕPETAJATE SUVEKOOL

25. – 27. juunini korraldas EFSi koolifüüsika osakond traditsioonilise füüsikaõpetajate suvekooli, mis toimus Nõo Reaalgümnaasiumis. Osales 28 füüsikaõpetajat üle Eesti.

#### LOENGIKAVA

Esmaspäev, 25. juuni

- 13.00 – 17.00 Jaak Kikas (TÜ). Kord ja kaos tihkaines
- 19.00 Seminar „Koolifüüsika reform“

Teisipäev, 26. juuni

- 10.00 Enn Saar (TO). Tume kosmoloogia
- 12.00 Raivo Stern (KBFI). Tugevad magnetväljad
- 14.15 Jaan Pelt (TO). Gravitatsiooniläätсед
- 16.00 Ain Kallis (TO, TTÜ MSI). Aktuaalseid kliimaprobleeme
- 19.00 Seminar „Füüsikaõpetaja mured“

20.30 Tõravere stellaariumi külastus

Kolmapäev, 27. juuni

9.30 Kalev Tarkpea (TÜ). Kursused “Füüsikalise maailmapildi kujunemine” ja “Elektromagnetism” gümnaasiumi uues põhiainekavas

11.30 Koit Timpmann (TÜ, TVK). Kas ja kuidas on põhikoolis füüsikat võimalik õpetada kahel tasemel?

13.00 Erik Tago (TO). Tartu tähetorni planetaarium

# FÜÜSIKAKROONIKA

## I. TÖÖKORRALDUS

22. märtsil valiti teist korda füüsika-keemiateaduskonna dekaaniks keemilise füüsika korraline professor Peeter Burk.
30. märtsil nimetas TÜ Füüsika Instituudi nõukogu tuumaspektroskoopia labori ümber keskkonnafüüsika laboriks. Seoses TÜ uue baasfinantseeritava teadusteema „Gaas-klasternanomeeterosake konversiooni uurimine ja modelleerimine” avamisega Füüsika Instituudi juures viidi sinna alates 1. aprillist üle järgmised TÜ keskkonnafüüsika instituudi atmosfäärielektri töörühma töötajad: teadur Ülle Kikas (alates sügisest läks tööle Haridus- ja Teadusministeeriumi), teadur Aare Luts, vanemteadur Aadu Mirme, vanemteadur Madis Noppel, teadur Tiia-Ene Parts, 0,5 koormusega erak. teadur Jaan Salm, 0,25 k erak. vanemteadur Eduard Tamm, 0,8 k erak. vanemteadur Hannes Tammet, 0,5 k teadur Marko Vana, insener Toomas Bernotas, 0,5 k tehnik Jaan Maasepp. Laborijuhataja kohusetäitjaks nimetati Urmas Hörrak, kes asus tööle FI erakorralise vanemteaduri ametikohale.
27. apr valiti TO nõukogus vanemteaduriteks astrofüüsika erialal Tõnu Kipper, Tiit Nugis, Arved Sapar ja Jaan Pelt, kosmoloogia erialal Mirt Gramann, Enn Saar ja Urmas Haud ning atmosfäärifüüsika erialal Matti Möttus ja Uno Veismann. Teaduriteks astrofüüsika erialal valiti Vladislav Pustynski ning kosmoloogia erialal Antti Tamm.
18. mail sõlmisid Tallinna Ülikool ning Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut assotsiatsioonilepingu doktoriõppe korraldamiseks Tallinna Ülikooli akadeemilises ruumis. Kavas on alustada ühiste füüsika, keemia ja bioloogia valdkonna doktoritaseme õppekavade väljaarendamist.
31. mail valis ülikooli nõukogu liikmetest, kõikide teaduskondade nõukogude liikmetest ja ülikooli korralistest professoritest koosnev valimiskogu kolmandas valimisvoorus uueks Tartu Ülikooli rektoriks Eesti Maaülikooli rektori ja TÜ arengubioloogia erakorralise professori Alar Karise.
15. juunil valiti TÜ Füüsika Instituudi nõukogus teaduriks optika alal Juri Maksimov ning teaduriteks tahkisefüüsika alal Sergei Dolgov, Irina Kudrjajtseva ja Pavel Rubin.
22. juunil otsustas Tartu Ülikooli nõukogu asutada 1. jaanuarist 2008 loodus- ja tehnoloogiateaduskonna (LOTE), mis hakkab koosnema kuuest teadus- ja arendusasutusest: TÜ Füüsika Instituut, TÜ Keemia Instituut, TÜ Molekulaar- ja Rakubioloogia Instituut, TÜ Ökoloogia ja Maateaduste Instituut, TÜ Tehnoloogiainstituut ning TÜ Eesti Mereinstituut.
16. aug asus TÜ uue teadusprorektorina tööle Haridus- ja Teadusministeeriumi kõrghariduse ja teaduse asekanstler füüsikakandidaat Kristjan Haller, õppeprorektorina jätkas filoloogiakandidaat Birute Klaas.
5. 27. aug valis Tartu Ülikooli Tehnoloogiainstituudi (TÜTI) nõukogu järgmiseks viieks aastaks TÜTI uueks direktoriks instituudi senise asedirektori dr Erik Puura.
6. 31. aug valiti Tartu Ülikooli nõukogus füüsikalise keemia professoriks Enn Lust ja meteoroloogia professoriks Rein Rõõm.
5. okt nimetati TO vanemteadur Jaan Pelt Helsingi Ülikooli dotsendiks.
29. nov valiti TÜ loodus- ja tehnoloogiateaduskonna (LOTE) dekaaniks keemilise füüsika korraline professor Peeter Burk. Tema ametiaeg algab 1. jaan 2008.
29. nov valiti Peeter Saari LOTE esindajaks TÜ nõukokku.
7. 30. nov toimus Tartu Ülikooli nõukogu istung, kus Peeter Burk taasvaliti keemilise füüsika korraliseks professoriks.
- Alates 1. jaanuarist 2008 on TLÜ-s suurte teaduskondade asemele tulnud märksa väiksemad instituudid, samuti on kaotatud õppetoolid. Seetõttu kuuluvad enne teoreetilise ja

rakendusfüüsika õppetoolidesse kuulunud füüsikud TLÜ Matemaatika ja Loodusteaduste Instituuti.

## II. VÄITEKIRJADE KAITSMINE

### 1. Doktoritööd

#### Tartu Ülikooli füüsikaosakonna nõukogu

8. 30. märtsil kaitses **Jaan Aarik** doktoritöö „Atomic layer deposition of titanium, zirconium and hafnium dioxides: growth mechanisms and properties of thin films“ (Titaan-, tsirkoonium- ja hafniumdioksiidide aatomkihtsadestamine: kasvumehhanismid ja õhukeste kilede omadused) PhD kraadi saamiseks rakendusfüüsika erialal. Juhendaja prof Lembit Pung (TÜ eksperimentaalfüüsika ja tehnoloogia instituut). Oponendid: dr Mária Hartmanová (Slovaki Teaduste Akadeemia Füüsika Instituut), prof Enn Mellikov (TTÜ).
9. 29. mail kaitses **Rigel Kivi** doktoritöö „Observations of ozone, polar stratospheric cloud and water vapour profiles in the Arctic“ (Osooni, polaarsete stratosfääripilvede ja veeauru vertikaalse jaotuse uurimine Arktikas) PhD kraadi saamiseks keskkonnafüüsika erialal. Juhendajad: professor Esko Kyrö (Soome Meteoroloogia Instituut (FMI)), dotsent Kalju Eerme (Tartu Observatoorium). Oponendid: dr Antti Arola (FMI), dr Piia Post (TÜ keskkonnafüüsika instituut).
10. 29. mail kaitses **Kalev Rannat** doktoritöö „Long weakly nonlinear waves in geophysical applications“ (Pikad nõrgalt mittelineaarsed lained geofüüsikalistes rakendustes) PhD kraadi saamiseks keskkonnafüüsika erialal. Juhendajad: prof Tarmo Soomere (Tallinna Tehnikaülikool) ja dots Hanno Ohvril (TÜ keskkonnafüüsika instituut). Oponendid: prof Sirje Keevallik (Eesti Mereakadeemia), dr Oleg Andrejev (Soome Mereuurimise Instituut).
11. 27. juunil kaitses **Astrid Rekker** doktoritöö „Colored-noise-controlled anomalous transport and phase transitions in complex systems“ (Värvilise müra tekitatud anomaalne transport ja faasiüleminekud komplekssetes süsteemides) PhD kraadi saamiseks teoreetilise füüsika erialal. Juhendajad prof Romi Mankin ja prof Risto Tammelo. Oponendid: prof Christian Beck (Londoni Ülikool), dr Teet Örd (TÜ teoreetilise füüsika instituut).
12. 8. augustil kaitses **Andres Punning** doktoritöö „Electromechanical Characterization of Ionic Polymer Metal Composite Sensing Actuators“ (Ioonjuhtivatel polümeer-metall-komposiitidel põhinevate tundlike täiturite elektromehaaniline modelleerimine) PhD kraadi saamiseks rakendusfüüsika erialal. Juhendajad: dr Alvo Aabloo (TÜTI) ja dr Maarja Kruusmaa (TÜTI). Oponendid: dr Kwang J. Kim (Nevada Ülikool, Reno, USA), dr Ergo Nõmmiste (TÜ FI).
13. 12. septembril kaitses **Vladislav-Veniamin Pustõnski** doktoritöö „Modeling the Reflection Effect in Precataclysmic Binary Systems“ (Peegeldusefekti modelleerimine kataklüsmieelsel evolutsioonietapil asuvates lähiskaksiksüsteemides) PhD kraadi saamiseks astrofüüsika erialal. Juhendaja dr Izold Pustõlnik (Tartu Observatoorium). Oponendid: dr Anatoli Čerepaščuk (GAIŠ, Moskva), prof Laurits Leedjärv (Tartu Observatoorium).
14. 26. septembril kaitses **Indrek Jõgi** doktoritöö „Conduction mechanisms in thin atomic layer deposited films containing TiO<sub>2</sub>“ (Juhtivusmehhanismid õhukestes aatomkihtsadestatud TiO<sub>2</sub> sisaldavates kilestruktuurides) PhD kraadi saamiseks optika ja spektroskoopia erialal. Juhendajad dr Matti Laan (TÜ eksperimentaalfüüsika ja tehnoloogia instituut) ja dr Kaupo Kukli (TÜ eksperimentaalfüüsika ja tehnoloogia instituut). Oponendid: dr Karol Fröhlich (Institute of Electrical Engineering, Slovak Acad Sci), prof Enn Mellikov (TTÜ).
15. 3. oktoobril kaitses **Aleksei Krasnikov** doktoritöö „Luminescence and defects creation processes in lead tungstate crystals“ (Luminesentsi ja defektide loomise protsessid pliiivofraamatkristallides) PhD kraadi saamiseks tahkisefüüsika erialal. Juhendaja dr Svetlana Zazubovitš (TÜ FI). Oponendid: prof Vladimir Makhov (Lebedevi nimeline Füüsika Instituut, Moskva), dr Larissa Grigorjeva (Läti Ülikool).

### Tallinna Tehnikaülikooli teaduskondade nõukogud

40. 9. augustil kaitses **Gennadi Lessin** matemaatika-loodusteaduskonna nõukogu ees doktoritöö „Biochemical definition of coastal zone using numerical modeling and measurement data“. Juhendajad: dr Urmas Raudsepp (TTÜ MSI); dr Vladimir Ryabchenko (P.P.Shirshovi nimelise okeanograafia instituudi Peterburi filiaali ookeani biokeemiliste tsüklite modelleerimise labori juhataja). Oponendid: dr Thomas Neumann (Institute of Baltic Sea Research, Warnemünde, Saksamaa), dr Peeter Ennet (Keskkonnaministeeriumi Info- ja Tehnokeskus).
41. 14. detsembril kaitses TTÜ keemia ja materjalitehnoloogia teaduskonnas doktoritöö **Katrin Tomson** (juhendajad prof Toomas Paalme ja dr Kalju Vanatalu) teemal „Production of labelled recombinant proteins in fed-batch systems in *Escherichia coli*“ („Mürgistatud rekombinantsete valkude tootmine *Escherichia coli* fed-batch süsteemides“). Mõõtmised töö tarbeks olid tehtud KBFIs, üheks vahendiks heteronukleaarne tuumamagnetresonants.

## 2. Magistritööd

### Tartu Ülikooli füüsikaosakonna nõukogu magistratööde kaitsmiskomisjon

Omistatud kraad: *magister scientiarum*

42. **Urmo Visk** „Dopeeritud ferroelastse paraterfenüüli kristalli mikrospektroskoopia (Microspectroscopy of doped ferroelastic paraterphenyl crystals)“. Eriala: tahkisefüüsika (TÜ materjaliteaduse instituut). Juhendaja Artur Suisalu (TÜ FI vanemteadur, f.-m.kand). Oponendid Margus Rätsep (TÜ FI vanemteadur, PhD) ja Valter Kiisk (TÜ FI teadur, PhD). Kuupäev: 11.06.2007.
43. **Sergei Vlassov** „AFM tip cleaning techniques (AFM teraviku puhastamise meetodid)“. Eriala: rakendusfüüsika (TÜ eksperimentaalfüüsika ja tehnoloogia instituut). Juhendaja Rünno Lõhmus (TÜ FI vanemteadur, PhD). Oponendid Kaido Reivelt (TÜ FI õppedirektor, PhD) ja Artur Suisalu (TÜ FI vanemteadur, f.-m.kand). Kuupäev: 11.06.2007.
44. **Argo Lukner** „Lisandikiirguse hapnikutundlikkuse mehhanism titaandioksiidis (Oxygen sensing mechanics of impurities emissions in titaniumdioxide)“. Eriala: tahkisefüüsika (TÜ materjaliteaduse instituut). Juhendajad Ilmo Sildos (TÜ FI LSL juhataja, f.-m.kand) ja Valter Kiisk (TÜ FI teadur, PhD). Oponendid Artur Suisalu (TÜ FI vanemteadur, f.-m.kand) ja Raivo Jaaniso (TÜ FI vanemteadur, f.-m.kand). Kuupäev: 11.06.2007.
45. **Imre Mäger** „Spiroanalüsaator SA-03 kuumtraatandur. Modelleerimine ja konstruktsiooni täiustamise võimalused (Hot-wire transducer of SA-03 spiro analyzer. Modelling and improving the transducers's construction)“. Eriala: rakendusfüüsika (TÜ eksperimentaalfüüsika ja tehnoloogia instituut). Juhendajad Peet-Henn Kingisepp (TÜ füsioloogia inst. emeriitdots, med. kand) ja Jüri Vedru (TÜ FKEF dotsent, biol. kand). Oponendid Jaak Talts (TÜ füsioloogia instituudi vanemteadur, PhD) ja Martin Vilbaste (TÜ Katsekoja insenser, rakendusfüüsika magister). Kuupäev: 11.06.2007.
46. **Endel Soolo** „Sulfoneeritud kõrvalahelatega polütetrafluoroetüleeni mudeli koostamine molekulaardünaamika simulatsioonide tarbeks (Creation of a model of polytetrafluoroethylene with sulfonated sidechains for molecular dynamics simulations)“. Eriala: rakendusfüüsika (TÜ eksperimentaalfüüsika ja tehnoloogia instituut). Juhendajad Heiki Kasemägi (TÜ Tehnoloogiainstituudi teadur, PhD) ja Alvo Aabloo (TÜ Tehnoloogiainstituudi professor, PhD). Oponendid Jaanus Karo (TÜ FO doktorant, MSc) ja Anti Liivat (Uppsala Ülikooli teadur, PhD). Kuupäev: 11.06.2007.
47. **Tiina Liimets** „Pekuliaarse muutliku tähe V838 Monocerotis ja tema võrdlustähtede fotomeetria (Photometry of the peculiar variable V838 Mon and its comparison stars)“. Eriala: astrofüüsika

(TÜ teoreetilise füüsika instituut). Juhendajad Indrek Kolka (Tartu Observatooriumi vanemteadur, PhD) ja Tõnis Eenmäe (TÜ doktorant, MSc). Oponendid Antti Tamm (Tartu Observatooriumi teadur, PhD) ja Anti Hirv (TÜ doktorant, MSc). Kuupäev: 11.06.2007.

48. **Niina Voropajeva** „Browni liikumine magnet- ja elektriväljas anisotroopse keskkonna juhul (Brownian motion in magnetic and electric fields in the case of anisotropic environment)“. Eriala: teoreetiline füüsika (TÜ teoreetilise füüsika instituut). Juhendaja Teet Örd (TÜ FKTF dotsent, f.-m.kand). Oponendid Peeter Tenjes (TÜ FKTF dotsent, astronoomiadoktor) ja Ako Sauga (Tallinna Ülikooli Loodusteaduste osakonna vanemteadur, PhD). Kuupäev: 11.06.2007.
49. **Natalja Ovetško** „Исследование возникновения характерных элементов Фуко-кардиограммы (Foucault' cardiogrammi iseloomulike elementide tekke uurimine) A study of origination of characteristic elements of Foucault' cardiogram“. Eriala: rakendusfüüsika (TÜ eksperimentaalfüüsika ja tehnoloogia instituut). Juhendaja Jüri Vedru (TÜ FKEF dotsent, biol. kand). Oponendid Arved Vain (TÜ FKEF emer.-dots, biol. doktor) ja Kersti Jagomägi (TÜ ARFS vanemteadur, med. kand). Kuupäev: 29.06.2007.

### Tartu Ülikooli keemiaosakonna nõukogu magistritööde kaitsmiskomisjon

Omistatud kraad: *magister scientiarum*

50. **Sandra Suviste** „Mõnede Eesti metsatüüpide heleduskordajate sesoonne käik mudelarvutustest ja satelliidipiltidelt (The seasonal reflectance course of some forest types of Estonia from simulation and satellite images)“. Eriala: keskkonnatehnoloogia. Juhendaja Tiit Nilson (TO vanemteadur, prof, DSc). Oponendid Mait Lang (TO teadur, PhD) ja Urmas Peterson (TO teadur, PhD). Kuupäev: 14.06.2007.

### Tartu Ülikooli füüsika-keemiateaduskonna magistritööde kaitsmiskomisjon keskkonnatehnoloogia erialal

Omistatud kraad: loodusteaduse magister keskkonnaseire tehnoloogia erialal

16. **Krista Alikas** „Satelliitsensori MERIS rakendused Eesti veekogude kaugseireks (Use of MERIS sensor for remote sensing of Estonian waters)“. Juhendaja Anu Reinart (TO vanemteadur, PhD). Oponent Tiit Nilson (TO vanemteadur, prof, DSc). Kuupäev: 31.05.2007
17. **Marili Sits** „Ülenurme ja Tõravere ilmajaamades mõõdetud õhutemperatuuride võrdlus (Comparison of the air temperatures measured at Ülenurme and Tõravere meteorological stations)“. Juhendaja: Piia Post (TÜ FKKF lektor, PhD). Oponent Erko Jakobson (TÜ Katsekoja insener, MSc). Kuupäev: 31.05.2007.

### Tartu Ülikooli füüsika-keemiateaduskonna magistritööde kaitsmiskomisjon rakendusfüüsika erialal

Omistatud kraad: loodusteaduse magister keskkonnafüüsika erialal

18. **Martin Kannel** „Atmosfääriaerosooli spektraalse optilise paksuse modelleerimine (Modelling of atmospheric aerosol spectral optical thickness)“. Juhendaja Hanno Ohvriil (TÜ FKKF dotsent, f.-m.kand). Oponent Viivi Russak (TO teadur, PhD). Kuupäev: 06.06.07.
19. **Kristi Valdmets** „Peipsi järve bio-optiline mudel (Bio-optical model of Lake Peipsi)“. Juhendaja Anu Reinart (TO vanemteadur, PhD). Oponent Tiit Kutser (TÜ Mereinstituudi vanemteadur, PhD). Kuupäev: 06.06.2007.

Omistatud kraad: loodusteaduse magister nanotehnoloogia erialal.

51. **Martin Timusk** „Ülikiire temperatuurilüliti faasiüleminekutemikroskoopiliseks uurimiseks (Ultrafast temperature switch for microscopic study of materials phase transitions)“. Juhendaja Rünno Lõhmus (TÜ FI vanemteadur, PhD). Oponent Valdek Mikli (TTÜ Materjaliuuringute



teaduskeskuse vanemteadur, PhD). Kuupäev: 06.06.2007.

### **Tartu Ülikooli füüsika-keemiateaduskonna magistr tööde kaitsmiskomisjon materjalitehnoloogia erialal**

Omistatud kraad: tehnikateaduse magister füüsikalise materjalitehnoloogia erialal

52. **Margus Kodu** „Monobaarium gallaadi õhukeste kilede lasersadestamine ning struktuuri ja elektriliste omaduste uurimine“. Juhendaja dr Raivo Jaaniso (TÜ FI vanemteadur). Kuupäev: 08.06.07.
53. **Siim Hödemann** „Pingete määramine keemiliselt karastatud klaasis“. Juhendajad dr Hillar Aben (TTÜ) ja prof Jaak Kikas (TÜ FI). Kuupäev: 08.06.07.
54. **Martin Järvekülg** „HfO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> ja TiO<sub>2</sub> torujate mikrostruktuuride moodustumise mehhanismi selgitamine tööstuslike materjalide väljatöötamiseks“. Juhendajad Valter Reedo (TÜ FI, MSc) ja dr Uno Mäeorg (TÜ FK orgaanilise ja bioorgaanilise keemia instituut). Kuupäev: 08.06.07.

Omistatud kraad: tehnikateaduse magister keemilise materjalitehnoloogia erialal

55. **Rainer Pärna** „Aatomkihtsadestatud kroom-titaanoksiidkiled gaasisensorrakendusteks“. Juhendajad dr Ahti Niilisk (TÜ FI vanemteadur), Aivar Tarre (TÜ FI teadur, MSc) ja dr Arnold Rosental (TÜ FI vanemteadur). Kuupäev: 08.06.07.

### **Tallinna Tehnikaülikooli matemaatika-loodusteaduskonna tehnilise füüsika õppesuuna magistrikomisjon**

Loodusteaduste magistrikraadi (tehniline füüsika, 4+2 õppekava) kaitses:

56. **Jelena Gretškosi** „Läänemerele rakendatud hüdrodünaamika mudeli MIKE3 hüdrostaatilise ja mittehüdrostaatilise versiooni kehtivuse kontroll Soome lahes“. Juhendaja dr Gennadi Lessin, TTÜ MSI teadur. Retsensent dr Urmas Raudsepp, TTÜ MSI vanemteadur. Kuupäev: 11.06.2007.

Loodusteaduste magistrikraadi (tehniline füüsika, 3+2 õppekava) kaitsesid:

57. **Robert Hudjakov** „Stereonägemisel põhinev ümbruskonna kaardistamine autonoomsele robotile“. Juhendaja prof Mart Tamre, (TTÜ Mehhatroonikainstituut). Retsensent dr Andres Ojamaa (TTÜ Küberneetika Instituut insener). Kuupäev: 11.06.2007.
58. **Germo Väli** „Vee läbipaistvuse muutlikkus Läänemere avaosas“. Juhendaja f.-m.kand Aleksander Toompuu, TTÜ MSI vanemteadur. Retsensent dr Jaak Heinloo, TTÜ MSI vanemteadur. Kuupäev: 11.06.2007.

### **Tallinna Ülikooli füüsika eriala magistrikraadi kaitsmisnõukogu**

59. Magistrikraadi füüsikas (4+2 õppekava) kaitses **Berit Pärnik** „Kolmetasandilise telegraafimüra poolt indutseeritud stohhastiline resonants“. Juhendaja – prof Romi Mankin (TLÜ), oponent dr

Ako Sauga (TLÜ, TTÜ).

### III. ÕPPETÖÖ

- TÜ doktoriõppesse füüsika erialal võeti järgmised õppurid:
  - Martin Kannel
  - Tiina Liimets
  - Argo Lukner
  - Martin Timusk
  - Kristi Valdmets
  - Urmo Visk
  - Niina Voropajeva
- TÜ doktoriõppesse materjaliteaduse erialal võeti järgmised õppurid:
  - Siim Hödemann
  - Martin Järvekülg
  - Margus Kodu
  - Aleksei Mahhov
  - Madis Paalo
  - Margo Plaado
  - Rainer Pärna
  - Jevgeni Šulga
  - Sergei Vlassov
- TÜ doktoriõppesse keskkonnatehnoloogia erialal (keskkonnaseire tehnoloogia) võeti Krista Alikas.
- TÜ füüsikaosakonna magistriõppesse võeti:
  - fundamentaalfüüsika erialal: Julia Lissovskaja, Peeter Piksarv, Erik Randla, Tiit Sepp, Kadri Veende, Hardi Veermäe;
  - rakendusfüüsika erialal: Kätlin Hein, Andres Hunt;
  - infotehnoloogia erialal: Margus Eller, Sven Hendrikson, Anti Kodas, Ainar Maanus, Nevil Reinfeldt, Aleksei Sapunov, Aleksandr Savihhin, Gert Toming, Mihkel Tsäko;
  - materjalitehnoloogia erialal: Pavel Kanarjov, Kristjan Kunnus, Maria Mahrova, Indrek Must, Margus Nurmik, Rando Saar, Rasmus Talviste, Kadi Tamm, Anu Teearu, Ardo Tiits, Tanel Toots, Lagle Vetemäe;
  - füüsikaõpetaja erialal: Kristel Hankov; Marge Raig, Jelena Tšumak, Taavi Vaikjärv, Sirle Virves;
  - keskkonnatehnoloogia erialal (keskkonnaseire tehnoloogia): Alar Jantsikene, Veljo Kabin, Hannes Kiivet, Margit Prüssel, Mihkel Visnapuu, Kaisa Kesanurm, Siiri Suursoo.
- Tartu Ülikooli füüsikaosakonna põhiõppe lõpetasid:
  - füüsika erialal
    - 3-a. bakalaureuseõpe: Ando Aasa, Aleksandr Belousov, Kätlin Hein – *cum laude*, Andres Hunt, Julia Lissovskaja, Grigori Palamartšuk, Peeter Piksarv, Reio Pöder, Erik Randla, Tiit Sepp, Sander Sõnajalg, Andres Tiko, Taavi Vaikjärv, Kadri Veende, Hardi Veermäe;
    - 4-a bakalaureuseõpe: Viktoria Borissova (+ gümnaasiumi füüsikaõpetaja), Igors Ivanovs, Kaarel Kimmel, Aleksei Larjuškin, Taavet Loogväli, Dmitri Lupp (+ gümnaasiumi füüsikaõpetaja), Lauri Meriloo, Kalev Suik;
  - materjaliteaduse erialal
    - 3-a bakalaureuseõpe: Olga Hartšuk, Pavel Kanarjov, Kristjan Kunnus, Maris Leiros, Kristel Lembit, Indrek Must, Kaija Põhako, Laura Päit, Rando Saar, Rasmus Talviste, Kadi Tamm, Anu Teearu, Lagle Vetemäe, Kadri Õunpuu;
    - 4-a bakalaureuseõpe: Margus Nurmik, Ardo Tiits;
  - infotehnoloogia erialal
    - 3-a bakalaureuseõpe: Fady Al-Assi, Dmitri Borissenko, Margus Eller, Sven Hendrikson,

- Martin Hunt, Anti Kodas, Vilen Looga, Ainar Maanus, Kenet Pindmaa, Tanel Tensing, Mihkel Tsäko;  
3-a diplomiõpe: Taavi Ilves, Martin Raie, Rajko Rattur, Aleksei Sapunov, Igor Tšerkašin.
- Tartu Ülikooli füüsikaosakonna magistriõppe füüsika erialal (4+2) lõpetasid: Tiina Liimets, Argo Lukner, Imre Mäger, Yury Nosach, Endel Soolo, Urmo Visk, Sergei Vlassov, Niina Voropajeva.
  - Tartu Ülikooli füüsikaosakonna magistriõppe (3+2) lõpetasid:
    - rakendusfüüsika erialal: Martin Kannel – *cum laude*, Martin Timusk, Kristi Valdmets – *cum laude*;
    - materjalitehnoloogia erialal: Siim Hödemann, Martin Järvekülg – *cum laude*, Margus Kodu – *cum laude*, Rainer Pärna;
    - infotehnoloogia erialal: Aleksandr Bogdanov, Lidia Feklistova (+ informaatikaõpetaja magister (3+2)), Indrek Jaal, Aleksei Mahhov, Kristo Nikkolo, Anton Ragni, Aleksandr Vaskin;
    - füüsikaõpetaja erialal: Riina Leet, Andra Sinimets, Diana Kohv.
  - Tartu Ülikooli füüsikaosakonna õpetajakoolituse lõpetasid Tanel Liira ja Tagne Ratassep.
  - Toimused muudatud Tallinna Ülikooli õppeplaanides – seoses TLÜ-s uue õppekava statuudi moodustamisega on suurendatud füüsika õppekavades nii erialaste kui ka üldiste valikainete hulka.
  - TLÜ füüsika doktorandid: Jaanis Priimets (juh prof emer Ülo Ugaste), Anna Šeletski (juh prof Anne Tali), Oksana Labanova (juh prof Anne Tali), Tarmo Metsmägi (juh Andi Kivinukk), Natalja Timohhina (juh Valdur Saks).
  - TLÜ füüsika magistrandid (3+2-süsteem, füüsikaõpetaja erialal): Ave Kokka (juh Anneli Roode), Katrin Teras (juh Romi Mankin), Gerrit Kanarbik (juh Anneli Roode), Alge Ilosaar (juh Tõnu Laas), Nadia Leitšenok (juh Anneli Roode), Kristi Juuse (juh Tõnu Laas), Marin Grüning (juh Tõnu Laas), Veroonika Pelõhh (juh Ülo Ugaste), Andrus Niiterberg (juh Priit Reiska), Kalle Kebbinau (juh Kalle Truus).
  - TLÜ lõpetasid: füüsikaõpetaja erialal Juhan Hinnov, füüsika erialal magistrina (MSc) Berit Pärnik.
  - Tallinna Tehnikaülikooli füüsikainstituudis õppisid:
    - tehnilise füüsika doktorantuuris: Veljo Sinivee (juh prof R.-K. Loide), Mario Mars (juh vanemteadur V. Harvig), Reedik Kuldkepp (juh prof A. Soesoo), Mario Kadastik (juh prof R.-K. Loide), Tõnis Oja (juh prof R.-K. Loide), Dan Hüvonen (juh van. teadur U. Nagel, T. Rõõm (KBFI)), Jaak Toomela (juh dotsent M. Klopov), Kristjan Urtson (juh prof A. Soesoo), Priidik Lagemaa (juh prof J. Elken), Evelyn Kalam (juh prof A. Soesoo)
    - tehnilise füüsika magistrantuuris: Ahto Kuusk (juh dotsent M. Klopov), Radu Prekup (juh DSc A. Samoson), Madis Tuul (juh dotsent A. Gavrilov), Ivan Sertakov, Margo Müller, Egris Mõttus, Erki Kärber, Martin Laasmaa, Andrey Ponyakov, Margit Vallikivi, Dmitri Kartofelev, Irina Jelissejeva, Margit Rästas.
  - TTÜ tehnilise füüsika õppesuunal lõpetasid loodusteaduste bakalaureuse kraadiga: Ivan Sertakov, Margo Müller, Liis Lume, Taavi Raadik, Egris Mõttus, Erki Kärber, Martin Laasmaa, Getli Jervan, Andrey Ponyakov, Margit Vallikivi, Dmitri Kartofelev, Irina Jelissejeva, Margit Rästas, Ilja Savtsenko, Marden Nõmm, Roki Viidik, Sven Telliskivi, Oivo Manninen, Andres Kaalep.
  - Haridus- ja teadusminister premeeris järgmisi üliõpilaste teadustööde riikliku konkursi 2007 laureaate loodusteaduste ja tehnika valdkonnas:
    - rakenduskõrgharidusõppe ja bakalaureuseõppe üliõpilaste astmes:
      - \* I preemia (23000.- EEK) Margus Niitsoo (Tartu Ülikool), konkursitöö „Heytingi ahelate alamotsekorrutiste endoprimaalsus” eest;
      - \* II preemia (13000.- EEK) Tiit Sepp (Tartu Ülikool), konkursitöö „Spinnpolarisatsiooni efektid protsessis  $e^+ e^- \rightarrow t \bar{t}$ ” eest;
      - \* Diplomid: Sven-Erik Enno (Tartu Ülikool), Jekaterina Kapšai (Tartu Ülikool), Heisi Kurig (Tartu Ülikool);
    - magistriõppe üliõpilaste astmes:
      - \* I preemia (23000.- EEK) Heli Valtna (Tartu Ülikool), konkursitöö „Superluminaalsete

- lokaliseeritud valguslainete tekitamise võimalikkus" eest;
- \* II preemia (13000.- EEK) Vladimir Stepanov (Tartu Ülikool), konkursitöö „Dopamiin transporterite uue radioaktiivse ligandi N-(3-iodoprop-2E-enüül-2β-karbo-[3H]metoksü-3β-(4'-metüülfenüül)nortropaani ([3H]PE2I) süntees ja esialgne iseloomustamine" eest; ta sai ka Sihtasutuse Archimedes eripreemia.
  - \* III preemia (8000.- EEK) Dan Bogdanov (Tartu Ülikool), konkursitöö „Kuidas teha turvaliselt arvutusi ühissalastatud andmetega" eest;
  - \* III preemia (8000.- EEK) Aleksei Mahhov (Tartu Ülikool), konkursitöö „Aktiveerimata ning Ce<sup>3+</sup>-ioonidega aktiveeritud alumiinium-perovskiidi ja -granaadi monokristallide ja monokristalliliste kilede spektroskoopia" eest;
  - \* Diplomid: Marje Johanson (Tartu Ülikool), Martin Järvekülg (Tartu Ülikool), Martti-Jaan Miljan (Eesti Maaülikool), Andres Ojamaa (Tallinna Tehnikaülikool), Piret Puusemp (Tallinna Ülikool), Indrek Reile (Tallinna Tehnikaülikool);
- doktoriõppe üliõpilaste astmes:
    - \* I preemia (23000.- EEK) Tanel Alumäe (Tallinna Tehnikaülikool), konkursitöö „Eesti keele suure sõnavaraga kõnetuvastuse meetodid" eest;
    - \* II preemia (13000.- EEK) Targo Kalamees (Tallinna Tehnikaülikool), konkursitöö „Niiskus- ja soojuslikud kriteeriumid hoonete projekteerimiseks ja simulatsiooniks" eest;
    - \* III preemia (8000.- EEK) Indrek Jõgi (Tartu Ülikool), konkursitöö „Juhtivusmehhanismid õhukestes aatomkihtsadestatud TiO<sub>2</sub> sisaldavates kilestruktuurides" eest.
- Eesti Teaduste Akadeemia üliõpilastööde konkursi auhinnad said füüsikaga seotud tööd:
    - I auhind 5000.- krooni:
      - \* Ave Mets (Tartu Ülikool), magistratöö „Ilya Prigogine'i raamatu „Tõsikindluse lõpp. Aeg, kaos ja uued loodusseadused" filosoofiline analüüs ja loodusseaduste käsitus" (juhendajad prof Rein Vihalemm, dr Piret Kuusk).
      - \* Merli Toom (Tallinna Tehnikaülikool), magistratöö „Mõningaid võimalusi Eesti põlevkivi keevkiht- ja tolmpõletustuhkade aktiveerimiseks"(juhendaja vanemteadur Tiit Kaljuvee).
    - II auhind 3500.- krooni:
      - \* Madis Paalo (Tartu Ülikool) võistlustöö „Süsiniknanotorudega dopeeritud oksiidsete fiibriliste valmistamine" (juhendajad dots Uno Mäeorg ja dr Tanel Tätte).
      - \* Jelena Passenko (Tallinna Tehnikaülikool), magistratöö „Läänemerele rakendatud hüdrodünaamika mudeli MIKE 3 hüdrostaatilise ja mittehüdrostaatilise versiooni kehtivuse kontroll Soome lahes" (inglise keeles, juhendaja dr Gennadi Lessin).
      - \* Tõnis Relvik (Tartu Ülikool), bakalaureusetöö „Tuule tekitatud resuspensioon ning selle mõju heterotroofsetele bakteritele suurtes madalates järvedes" (juhendaja dr Veljo Kisand).
      - \* Margit Vallikivi (Tallinna Tehnikaülikool) bakalaureusetöö „Jõuvälja mõju deformatsioonilainete levile" (inglise keeles, juhendaja prof Andrus Salupere).
  - TÜ Sihtasutuse 2007. a sügissemestri stipendiumid pälvisid järgmised TÜ füüsika-keemiataaduskonna magistrandid ja doktorandid:
    - Seitsmenda Samba stipendium: Vladimir Stepanov;
    - TÜ Raefondi stipendium: Darja Lavõgina;
    - Estraveli reisisihi stipendium: Ljubov Feklistova;
    - Kaleva Traveli reisistipendium: Jaanus Eskusson ja Siret Saarsalu.
  - TÜ Sihtasutuse Raefondi preemia pälvis TÜ FI teadusdirektor Marco Kirm. TÜ Füüsika Instituudi tudengistipendiumi konkursi põhiõppes võitis Rasmus Talviste (juh teadur Tanel Tätte), teist kohta jagasid Pavel Kanarjov (juh laborijuhataja Ilmo Sildos) ja Kristjan Kunnus (juh v.-teadur Eduard Feldbach ja teadusdirektor Marco Kirm) ning Lagle Vetemäe (juh teadur Jaan Aarik). Kõik premeeritud on materjaliteaduse 3. a üliõpilased. Magistriõppes said esikoha Martin Järvekülg (2. a materjalitehnoloogia, juh teadur Valter Reedo) ja Urmo Visk (2. a füüsika, juh v.-teadur Artur Suisalu). Järgnesid Madis Paalo (2. a molekulaartehnoloogia, juh Tanel Tätte), Margus Kodu (2. a materjalitehnoloogia, juh v.-teadur Raivo Jaaniso) ja Aleksei Mahhov (2. a infotehnoloogia, juh v.-teadur Svetlana Zazubovitš). Kõik stipendiaadid pälvisid ka diplomi ja medali „Füüsika Instituudi väike briljant".

24. sept määras Tartu Observatooriumi teadusnõukogu Ernst Julius Öpiku nimelise stipendiumi (10 000 EEK) Tartu Ülikooli doktorandile Lauri Juhan Liivamägil. Juhan Rossi nimeline stipendium läks jagamisele – Tartu Ülikooli doktorandid Krista Alikas ja Tõnis Kärdi said kumbki 7500 krooni.
20. 26. okt võttis TÜ nõukogu vastu Tartu Ülikooli 2008/2009. õppeaasta vastuvõtteeskirja, mis soodustab loodus- ja täppisteaduste aineolümpiaadidel edukalt esinenud üliõpilaste vastuvõttu.

#### **IV. TEADUSÜRITUSED EESTIS**

- 26.–27. veebr korraldas TO kosmoloogia osakond Tõraveres Eesti-Soome ühisseminari. Korraldustoimkonda juhtis Antti Tamm. Umbes 35 osalejat Helsingi Ülikoolist, Turu Ülikooli Tuorla Observatooriumist, Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudist (Tallinn) ja Tartu Observatooriumist kuulasid 20 ettekannet.
21. 28. veebr – 1. märtsini toimus Tartu Ülikooli materjaliteaduse ja materjalide tehnoloogia doktorikooli (MMTDK) iga-aastane teaduskonverents Tartus. Konverentsi avaettekande pidas Tartu Ülikooli professor Enn Lust teemal „Nanoporsed materjalid kaasaegsetele elektrokeemiaseadmetele“. Kokku esitati TÜ füüsika-keemiateaduskonnas, füüsika instituudis, Tallinna Tehnikaülikoolis ja KBFI teadustööd tegevate noorte teadlaste poolt kokku 21 suulist ja 29 stendiettekannet.
9. ja 10. märtsil toimus Tartu Ülikoolis loodusõpetajate konverents „Loodusteaduslik haridus ja jätkusuutlik areng Eestis“, mis keskendus loodusteaduste rollile tänapäeva maailmas ning loodusteadusliku hariduse sisu ja vormi uuendustele. Osavõtjaid oli ca 190: kõigi loodusteaduslike ainete ja matemaatika õpetajad, aga ka koolijuhid, teadlased, õppejõud ja üliõpilased, kes tunnevad huvi loodusteadusliku hariduse käekäigu ja Eesti arengu vastu. GLOBE programmi 10. aastapäevale pühendatud konverentsi peaesinejad olid europarlamenti saadik Andres Tarand ning NASA teadlane Matt Rogers. Matt Rogers töötab NASA satelliidi CloudSat andmetega. Eestis kohtus ta lisaks konverentsil osalemisele ka kooliõpilastega, kes GLOBE programmi raames teevad pilvevaatlusi NASA CloudSat ülelennuaegadel. Konverentsi programmikomitee: Ülle Kikas (TÜ, GLOBE), Imbi Henno (Riiklik Eksami- ja Kvalifikatsioonikeskus, GLOBE), Anne Laius (TÜ, Miina Härma Gümnaasium), Toomas Plank (TÜ), Inge Timoštšuk (Tallinna Ülikool), Miia Rannikmäe (TÜ), Terje Tuisk (SA Archimedes), Moonika Teppo (TÜ), Jaak Jõgi (Lähte Üisgümnaasium), Ülle Liiber (TÜ). Konverentsi toetasid Keskkonnainvesteeringute keskus, USA Suursaatkond Tallinnas, TÜ keskkonnafüüsika instituut, Haridus- ja Teadusministeerium ning projekt LoTe.
- Märtsi teisel poolel toimusid XXXVII Eesti Füüsikapäevad ja XXIX füüsikaõpetajate päevad. I istung „Physics Crossing Borders“ toimus koos Soome Füüsika Seltsiga 15.-17. märtsil Tallinnas. II istung toimus Tartus TÜ füüsikahoone suures auditooriumis (Tähe 4-160) 20-21. märtsil. Esitati 19 suulist ettekannet, neist 11 füüsika õpetamisest ja 5 stendiettekannet.
10. apr toimus TÜ Eesti Mereinstituudi 15. aastapäeva konverents „Eesti mereteadus 2007“.
- 15.–17. mail toimus Tallinnas EL 6. raamprogrammi projekti BalticGrid 3. konverents 62 osavõtjaga. Arutati võretehnoloogiaga seotud tehnilisi ja organisatoorseid küsimusi, kohtusid peamised rakendajad (osakestefüüsikud, materjaliteadlased, arvutuskeemikud) ning koolitati tudengeid ja teadlasi. Konverentsi korraldajaks oli Andi Hektor ja KBFI CMS töörühm, täpsem info <http://hep.kbfi.ee>.
- 15.–17. juunil toimus Arbaveres järjekordne EFS Täppisteaduste V Suvekool. Osales 66 tudengit TLÜ-st, TTÜ-st ja TÜ-st. Toimus 18 akadeemilist tundi loenguid ja seminare, mille teemadeks olid astronoomia ja kosmoloogia, optika ja fotoonika, materjaliteadus ja kõrge energia füüsika. Korraldustoimkonnas olid Maarja Grossberg, Andi Hektor, Ahto Kuusk ja Mario Mars. Üritust toetasid KBFI, TTÜ ja TÜ. Täpsem info [www.fyysika.ee/kool](http://www.fyysika.ee/kool)
23. aug toimus Tallinnas Soome-Eesti II tuumasünteesialane ühisseminar. Osavõtjaid Eestist ja Soomest oli kokku 25. Seminari korraldasid Seppo Karttunen (Tekes) ja Madis Kiisk (TÜ).
- 3.–7. sept korraldas TO vanemteadur J. Pelt Elva lähedal Waide motellis Soomes tegutseva

astronoomia ja kosmosefüüsika doktorikooli suvekooli astronoomiliste aegridade analüüsist. 14 osavõtjale esinesid loengutega J. Pelt ja A. Hirv ning H. Korhonen (Potsdami Astrofüüsika Instituut & ESO) ja T. Arentoft (Aarhusi Ülikool).

14. sept viibis Tallinnas visiidil Euroopa Komisjoni teadusvolinik Janez Potocnik, kes külastas ka Tallinna Tehnikaülikooli Päikeseenergeetika Materjalide ja Seadiste Teaduse Tippkeskust.

24.–26. sept toimus Pühajärve Spas IX Soome-Eesti aeroioonide ja atmosfääri aerosooli ühisseminar. Osavõtjaid oli kokku 38, esindatud olid Eesti, Soome, Rootsi, Prantsusmaa, Austria ja Saksamaa. Orgkomitee töötas koosseisus Urmas Hörrak (TÜ), Markku Kulmala (Helsingi Ülikool), Marko Vana (TÜ) ja Tanja Suni (Helsingi Ülikool). Eesti-poolseid ettekandeid oli 13.

25. sept pidas Tartus oma esimese tööseminari 2007. aastal loodud Põhjamaade koostöövõrgustik metsade füüsikaliseks kaugseireks PHYSENSE (direktor T. Nilson, sekretär M. Rautiainen).

Osales 24 inimest Eestist, Soomest ja Rootsist.

30. sept ja 1. okt külastas Eestit 1986. a Nobeli preemia laureaat Heinrich Rohrer. Professor Rohrer külastas Šveitsi tippteadlaste delegatsiooni liikmena TÜ Füüsika Instituuti.

13.–14. okt oli Eestis üle-euroopalise füüsika-showde võrgustiku EuroPhysicsShow kohtumine. Arutluse all oli 2008. a kevadel Eestis toimuv konverents ShowPhysics 2008.

16. okt toimus Eesti Teaduste Akadeemias lühikonverents „Eesti teadus ja rahvusvahelised teadusorganisatsioonid: probleemid ja suunitlus“. Konverentsi juhatas ja pidas ettekande „Akadeemia rahvusvahelistes teadusorganisatsioonides“ akadeemik Jüri Engelbrecht. TÜ Füüsika Instituudi õppedirektor Kaido Reivelt rääkis Eesti Füüsika Seltsist ja Euroopa dimensioonist. Kokku esitati 7 ettekannet.

19.–21. okt toimus Käärikul järjekordne EFS Täppisteaduste Sügiskool. Selleaastane osalejate arv oli 101 tudengit, teadlast ja õppejõudu. Toimus 17 akadeemilist tundi loenguid ja seminare, mille teemadeks olid materjaliteadus, tulevikuenergeetika, atmosfääri füüsika ning Universumi ehitus ja ajalugu. Korraldustoimkonnas olid Maarja Grossberg, Andi Hektor, Ahto Kuusk, Rünno Lõhmus, Silver Lätt ja Kaido Reivelt. Üritust toetasid Boson OÜ, KBFI, Tartu Observatoorium, TTÜ ja TÜ. Täpsem info [www.fyysika.ee/kool/](http://www.fyysika.ee/kool/).

23. okt korraldas Avanduse küla selts Avanduse mõisa saalis konverentsi „Avanduselt UNESCO maailmakultuuripärandisse“, mis oli pühendatud 180 aasta möödumisele F. G. W. Struve geodeetilise kaare Simuna-Võivere baasjoone mõõdistamisest.

24. okt toimus Tallinna Tehnikaülikoolis konverents „Doktoriõpe ühiskonna vajadusteks“. Konverentsi teemad on teadmispõhise ühiskonna vajadus tippspetsialistide järele, doktorikoolide temaatika ja doktoriõppe kohandamine ühiskonna vajadustega. Diskussioonis „Vormid ja võimalused doktoriõppes“ osales ka TÜ FI asedirektor, TÜ materjaliteaduse ja materjalide tehnoloogia doktorikooli nõukogu esimees Marco Kirm.

1. nov korraldasid Eesti Maaülikooli Taastuvenergia keskus ja Eesti Noorte Teadlaste Akadeemia Eesti Maaülikooli peahoones (Tartu, Kreutzwaldi 1A) taastuvenergia alaste teadustööde konverentsi. Ette kanti noorteadlaste taastuvenergia alased konkursitööd.

2. nov tähistasid TÜ Füüsika Instituut ja Tartu Observatoorium mitut olulist tähtpäeva koondnimetuse all „TA Füüsika, Matemaatika ja Mehaanika Instituut 60, Grigori Kusmin 90, Aksel Kipper 100“. Füüsika, Matemaatika ja Mehaanika Instituudi nimeline asutus oli eelkäijaks nii praegusele TÜ Füüsika Instituudile kui ka Tartu Observatooriumile. Hommikupoolel istungil Tõraveres pidasid Arved-Ervin Sapar ja Jaan Einasto vastavalt Aksel Kiperi ja Grigori Kusmini tähtpäevapuhuse kõne. Lõuna ajal tehti ringkäik TÜ Füüsika Instituudi laborites. Pidulikul koosolekul TÜ aulas kõnelesid TÜ FI direktor Ergo Nõmmiste ja direktori abi Henn Käämbre Füüsika Instituudi minevikust, olevikust ja tulevikust, Tartu Observatooriumi tänast ja homset tutvustas observatooriumi direktor Laurits Leedjärv. Järgnes koosviibimine TÜ Ajaloo Muuseumi valges saalis Toomel.

6. nov korraldas Kiirguskeskus koostöös Soome kolleegidega Tallinnas, Kopli 76 ühisseminari kiirguskaitse teemadel. Käsitleti kiirguskaitsega seotud teemasid nii Eestis kui ka rahvusvahelisel tasandil.

6. dets toimus Tartus TÜ Tehnoloogiainstituudi aastakonverents, mis koosnes kolmest teadusblokist: biomeditsiin, keskkonnatehnoloogia ning robotika ja infotehnoloogia.

7. dets korraldasid Euroscience Eesti ja Eesti Noorte Teadlaste Akadeemia TÜ raamatukogu saalis üliõpilastele ja noortele teadlastele seminari „Kuidas alustada teadlase teed?“, kus Eesti tuntud teadustegijad rääkisid oma teaduskarjäärist ja jagasid ka praktilisi nõuandeid, kuidas olla teaduses edukas.

## V. TEADUSTÖÖ

22. 1. jaan liitus Eesti EFDA (*European Fusion Development Agreement*) lepingu raames üleeuroopaliste fusioonialaste uuringutega. Erinevate uurimisgruppide põhjal moodustati ühine Eesti fusioonialaste uuringute konsortsium, mis osaleb sellest ajast täieõigusliku liikmena Euroopa tuumaprogrammi Euratom täitmisel. Eesti osaleb programmis Soome fusiooniuurijaid ühendava Euratom-Tekes Assotsiatsiooni koosseisus. Konsortsium koosneb Tartu Ülikooli Füüsika Instituudi, TÜ füüsika-keemiateaduskonna ning Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudi uurimiserühmadest. Programmi Eesti-poolne koordinaator on Madis Kiisk (TÜ FI). Täpsem info [www.kbfi.ee/projects/EstFusion](http://www.kbfi.ee/projects/EstFusion).
24. veebr anti kätte Eesti Vabariigi teaduspreemiad. Innovaatilise tooteni viinud väljapaistva teadusliku avastuse või teadus- ja arendustöö eest määrati 500 000 krooni suurune riigi teaduspreemia Jaan Einastole (kollektiivi juht), Maret Einastole, Enn Saarlele ja Erik Tagole – tööde eest teemal „Tumeaine avastamine galaktikate ümbruses ning universumi kärgrüütuur“. Eelmise nelja aasta jooksul valminud ja avaldatud parimate teadustööde eest määrati 150 000 krooni suurune riigi teaduspreemia Jaan Aarikule, Aleks Aidlale, Kaupo Kuklile, Väino Sammelselejale ja Teet Uustarele – tehnikateaduste alal tööde uurimuste tsükli „Dielektriliste materjalide aatomkihtsadestamise tehnoloogia arendamine“ eest.
1. juulist kuni 17. aug osalesid CERNi suvises õppe- ja praktikaprogrammis Genfis 7 Eesti noort füüsikut ja IT spetsialisti. Programmis osalesid Oleg Koshik, Kristjan Kannike, Ilja Livenson, Liis Rebane ja Sander Sõnajalg. Kohapealseteks juhendajateks olid Andi Hektor, Mario Kadastik ja Mait Müntel, tegevust juhtis Eesti CERNi töörühma juht, KBFI vanemteadur Martti Raidal.
17. nov kuulutati välja Sihtasutuse Eesti Rahvuskultuuri Fond stipendiumid. Akadeemik Endel Lippmaa pälvis tänuauhinna 50 000 krooni. Heino Eelsalu allfondi stipendiumi 10 000 krooni (toetamaks teadustegevust paleoastronoomia ja täppisteaduste ajaloo alal) sai Tarmo Kiik magistritööks „Vene polaaruurijate retseptatsioon ingliskeelses polaarkirjanduses 19. sajandil“.
12. dets valiti Eesti Teaduste Akadeemia üldkogu poolt akadeemikuks loodusteaduste ja meditsiini alal TÜ ja TTÜ molekulaartehnoloogia professor Mati Karelson ning tehnika- ja informaatika alal TTÜ Küberneetika Instituudi vanemteadur, rannikutehnika professor Tarmo Soomere.
23. 2007. aastast alates osalevad Tartu Ülikooli Füüsika Instituudi teadlased Euroopa Liidu projektis STRING, mille eesmärk on välja töötada uut tüüpi tomograaf, mis muudab haiguste diagnostika patsiendisõbralikumaks ning funktsionaalsemaks. Üleeuroopalist koostööprojekti juhivad Philipsi kontserni teaduslabor ning lisaks Tartu Ülikooli teadlastele kuuluvad konsortsiumi ka uurijad Utrechtis ja Leideni ülikoolist ning rahvuslikest uurimiskeskustest Jülichis, Bordeaux's ja Bolognas.
24. Jätkus TÜ FI teadlaste koostöö Samsung SDI kontserniga plasmateerite täiustamise projektis. Projekti raames saavutati hulk huvitavaid teadustulemusi, mis on avaldatud maailma juhtivates rakendusfüüsika ajakirjades.
- TÜ Füüsika Instituudi juures avati baasfinantseeritav teadusteema „Gaas-klasternanomeeterosake konversiooni uurimine ja modelleerimine“, teema juht Urmas Hõrrak.
- Valmistati ette EL 7RP projekti „Expose the Capacity of Estonian Space Research and Technology through High Quality Partnership in Europe (EstSpace)“ taotlus. Projekti koordinaator on Tartu Observatoorium (dr Anu Reinart), osalevad TÜ FI keskkonnafüüsika labori aerosoolifüüsika töörühm ja TÜ Tehnoloogiainstituut. Projekt läbis tiheda konkursi ja alustab tööd 1. märtsil 2008. TÜ FI keskkonnafüüsika labor osales EL 6RP projektis "European Integrated Project on Aerosol Cloud Climate Air Quality Interactions" (EUCAARI), koordinaator Helsingi Ülikool (prof Markku Kulmala), põhitäitja Urmas Hõrrak. Enamus TÜ FI keskkonnafüüsika labori aerosoolifüüsika töörühma liikmetest on EUCAARI täitjad.

Tartu Ülikoolis lõpetas 12-kuulise stažeerimise (25.05.2006–19.05.2007) Dr Devandraa Siingh (PhD, India Troopilise Meteoroloogia Instituut, Pune, India). Dr Devandraa Siingh viibis TÜ keskkonnafüüsika instituudis ja Füüsika Instituudi keskkonnafüüsika laboris India Vabariigi teaduskoostöö programmi “Better Opportunities for Young Scientist in Chosen Area of Science and Technology (BOYSCAST)” stipendiaadina. Tema juhendaja oli Urmas Hörrak, uurimistöö teemaks oli õhusaaste kauglevi uurimine, aeroioonide ja aerosoolide mõõtmised Tahkusel, Eestis. Tallinna Ülikool osales NATO „Science for Peace“ projektis (2005-2008) „Nanosecond radiation pulses for rapid detection of explosives and nuclear agents“.

TTÜ pooljuhtmaterjalide laboris jätkub EU projekt „Performance”, mille sisuks on päikesepaneelide välistingimustes katsetamine ja vastavate mudelite testimine. Projekti juhivad teadur Andri Jagomägi ja professor Jüri Krustok. Projekti täitmisel osaleb ka magistrant Egris Mõttus.

TÜ FI teadusaparatuuriparki lisandus üle kümne suure seadmekompleksi.

KBFI-s alustasid tööd kolm EL struktuurifondide poolt rahastatud unikaalset teadusaparaati:

- Materjaliteaduse tarbeks installeeriti digitaalse elektroonikaga tuumaresonantsi spektromeeter. Uue põlvkonna ülijuhtiv 188 000 G magnet erineb umbes sajast seni toodetust oma tunduvalt kompaktsena konstruktsiooni poolest. Tänu suure voolutihedusega mähisele on magnet kaks korda kergem, kaaludes vaid 3,5 tonni, kusjuures ka puistevälja 5G joon ulatub ainult 1,5 meetri kaugusele. Magneti mõõtetööde (soe) ava on 54 mm, kuupsentimeetrisel ruumalal saadakse homogeensus kuni  $10^{-9}$ .
  - Tööd alustas optiline Fourier’ spektromeeter Vertex 80v (Bruker Optik) tööpiirkonnaga  $5 \text{ cm}^{-1}$  kuni  $50000 \text{ cm}^{-1}$  gaaside, vedelike ja tahkiste optiliste omaduste uurimiseks. Tahkiste puhul saab lisaks läbilaskvusele mõõta ka peegeldust ning jahutada uuritavat ainet temperatuurini 5K.
  - Tööd alustas arvutiklaster (100 tuuma, AMD Opteron 275, arvutusvõimsusega 150 kSI2K) ja andmehoidla (64 TB, virtualiseeritud, RAID5). Klaster on ühendatud CERN LHC ja BalticGridi võresüsteemi. Lähiajal lisandub 220 tuuma ja 30 TB andmehoidla mahtu.
25. TÜ Eesti Mereinstituudi teadlaste töögrupp eesotsas vanemteadur Tiit Kutseriga on välja töötanud rannikuvete kaugseire meetodi, mis aitab satelliidiga mõõta sadamate süvendustöödest tekkinud hõljumi kontsentratsiooni Eesti rannikuvetes. Töö teostati riikliku keskkonnaseire projekti „Rannikumere muutuste uuringud ja kaugseire“ raames.
26. TÜ biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika teadus- ja koolituskeskus osales EL 6RP digitaalradioloogia uute meetodite ohutuse alases koostööprojektis “Safety and Efficacy for New Techniques and Imaging Using New Equipment to Support European Legislation (SENTINEL)” (2005-2007). Lisainfot projekti kohta vt [www.diamond3.org](http://www.diamond3.org) ja lõpparuannet [http://cordis.europa.eu/fp6-euratom/lib\\_projects.htm](http://cordis.europa.eu/fp6-euratom/lib_projects.htm). Projekti Eesti-poolne koordinaator on Kalle Kepler (TÜ).
27. TÜ osales partnerina EL 6. raamlepingu projektis BASNET - Baltic States Network "Women in sciences and high technology" (2006-2007), mille koordinaator on prof Dalia Šatkovskiene Vilniuse Ülikoolist. Teised partnerid on Eesti Haridus- ja Teadusministeerium, Leedu ja Läti teadusasutused ja ministeeriumid, Poola Füüsika Selts ja Bucharesti Ülikool (Rumeenia). TÜ osalemist projektis korraldas Helle Kaasik Füüsika Instituudist. Lisainfot projekti kohta vt [www.basnet-fp6.eu](http://www.basnet-fp6.eu).

Tartu Observatooriumi taimkatte seire tööühm viis ellu EUFARi (EUropean Fleet for Airborn Research) finantseeritud projekti GREASEMH (Ground reflectance model evaluation and scaling exercise using detailed multiangular and hyperspectral reflectance data).

Tartu Observatoorium on üks partneritest EL 6. raamlepingu projektis HYRESSA – HYperspectral REmote Sensing in Europe – specific Support Actions, TO koordinaator on Matti Mõttus.

Tartu Observatooriumis toimusid regulaarselt astrofüüsika, kosmoloogia ja atmosfäärfüüsika seminarid.

- TÜ füüsikaosakonnas jätkasid regulaarset tööd teoreetilise füüsika, astronoomia, gaaslahenduse, IT ja keskkonnafüüsika seminarid.



- TÜ Füüsika Instituudis jätkas tööd spektroskoopiaseminar (toimkond: Arvi Freiberg, Vladimir Hižnjakov, Jaak Kikas, Peeter Saari, Ilmo Sildos, Aleksandr Luštšik).

### **Teadus- ja arendusametuste sihtfinantseeritavaid teadusteemasid 2007. aastal**

#### **Tartu Ülikool**

- SF0182534s03 Maastiku aineringe dünaamika analüüs ja modelleerimine muutuvates kliimaatilistes ja sotsiaalmajanduslikes tingimustes ning optimeerimine ökotehnoloogia võtete abil  
Mander, Ülo 2003-2007, 2 878 000 kr.
- SF0182529As03 Loodusteadusliku hariduse relevantsuse kontseptsioon ja relevantsust mõjutavad tegurid üldhariduskoolis  
Rannikmäe, Miia 2003-2007, 633 500 kr.
- SF0182552s03Keemiliste ühendite reaktsioonivõime ja omaduste eksperimentaalne ja teoreetiline uurimine  
Koppel, Ilmar 2003-2007, 3 500 200 kr.
- SF0182556s03 Protsessid modifitseeritud piirpindadel ja faasides ning nende rakendused uuetüübilistes elektrienergia allikates ning energiasalvestites  
Lust, Enn 2003-2007, 3 021 000 kr.
- SF0182537As03 Piirpindadel ja kondenseeritud faasides toimuvad protsessid ning nende rakendamine keskkonnatehnoloogiates  
Tenno, Toomas 2003-2007, 1 372 000 kr.
- SF0182559s03Rakendusmatemaatika ja mehaanika ülesannete modelleerimine  
Lellep, Jaan 2003-2007, 846 000 kr.
- SF0182647s04 Stohhastilised protsessid mittetasakaalulistes füüsikalistes süsteemides  
Tammelo, Risto 2004-2008, 1 372 000 kr.
- SF0182644Bs04 Biotehnoloogiliste ja makromolekulaarsete süsteemide molekulaardisain  
Maran, Uko 2005-2008, 1 144 000 kr.
- SF0182732s06 Ökosüsteemi süsiniku ja veevoogude interaktsioon muutuv keskkonnas  
Kull, Olevi (Sõber, Anu) 2006-2011, 2 011 000 kr.
- SF0182747s06 Madalatemperatuurilise gaaslahendusplasma ja tahkise vastasmõju uurimine  
Laan, Matti 2006-2011, 1 010 000 kr.
- SF0182724s06 Keerukate süsteemide modelleerimine stohhastiliste meetoditega  
Kollo, Tõnu 2006-2011, 575 000 kr.
- SF0182712s06 Suuremahuliste ja keeruliste arvutusülesannete lahendamise meetodid, arvutuskeskkonnad ja rakendused  
Vilo, Jaak 2006-2011, 1 405 000 kr.
- SF0180042s07 Infotehnoloogiliste ja nanoelektroniliste rakendustega tahkiskihstruktuurid  
Kukli, Kaupo 2007-2012, 1 115 000 kr.

#### **TÜ Füüsika Instituut**

- SF0180013s07 Kondenseeritud aine ja fundamentaalväljade teooria  
Hižnjakov, Vladimir 2007-2012, 3 289 000 kr.
- SF0180037s07 Kiiritusnähtused laia keelutsooniga funktsionaalmaterjalides  
Luštšik, Aleksandr 2007-2012, 3 302 500 kr.
- SF0180055s07 Bioloogiliselt oluliste molekulide ja molekulaarkomplekside füüsikalised uuringud  
Freiberg, Arvi 2007-2012, 1 649 000 kr.
- SF0180058s07 Madaladimensionaalsed struktuurid ja nende rakendused

- Kikas, Jaak 2007-2012, 4 728 000 kr.
- SF0180073s07 Uute optika- ja spektroskoopiameetodite arendamine ja rakendamine materjali- ja plasmauuringutes  
Saari, Peeter 2007-2012, 1 796 500 kr.
- SF0180046s07 Pinnanähtused tahkisefüüsikas ja -tehnoloogias  
Sammelselg, Väino 2007-2012, 3 655 500 kr.

### **TÜ Eesti Mereinstituut**

- SF0182578s03 Rannikumere protsesside ruumilise ja ajalise varieeruvuse mõju bioloogilisele ja funktsionaalsele mitmekesisusele Läänemere kirdeosas  
Kotta, Jonne 2003-2007, 1 859 000 kr.
- SF0182579s03 Läänemere kirdeosa, Soome ja Liivi lahe ökoloogiliste allsüsteemide dünaamika ja arengu seaduspärasuste uurimine  
Ojaveer, Evald 2003-2007, 1 287 000 kr.
- SF0182589s03 Läänemere ja Eesti suurjärvede ökosüsteemi matemaatiline modelleerimine ning operatiivse prognoosimudeli koostamine  
Tamsalu, Rein 2003-2007, 1 430 000 kr.
- SF0712699s05 Ranna- ja sisevete optika ning kaugseire  
Kutser, Tiit 2005-2010, 1 430 000 kr.

### **TÜ Tehnoloogiainstituut**

- SF0182563s03 Vaiksed seadmed: materjalid ja juhtimisalgoritmid  
Aabloo, Alvo 2003-2007, 669 000 kr.

### **Tallinna Tehnikaülikool**

- SF0142514s03 Vedeliku dünaamiline koostoime piiiretega  
Metsaveer, Jaan 2003-2007, 1 086 000 kr.
- SF0142500s03 Keskkonnasõbralike analüütiliste lahutusmeetodite uurimine ja kasutamine bioloogiliselt aktiivsete ühendite määramiseks  
Kaljurand, Mihkel 2003-2007, 1 725 000 kr.
- SF0142505s03 Kulumiskindlad materjalid ja kulumine  
Kübarsepp, Jakob 2003-2007, 3 826 500 kr.
- SF0142506s03 Mehhatroonika- ja mõõtesüsteemide süntees: modelleerimine, optimeerimine ja kvaliteedihõpe  
Tamre, Mart 2003-2007, 392 100 kr.
- SF0142507s03 Telekommunikatsioonitehnika alased uuringud  
Lossmann Eerik 2003-2007, 446 000 kr.
- SF0142508s03 Digitaalsüsteemide disain ja test  
Ubar, Raimund 2003-2007, 2 901 500 kr.
- SF0142509s03 Arukad komponendid ja nende ühendamise probleemid  
Mõtus, Leo 2003-2007, 1 515 000 kr.
- SF0142511s03 Muundurite mitteaktiivvõimsuse minimeerimine muutuvate pingeniivoode vahelise virtuaaltrafo, kaovaba resistori või kaovaba güratori realisatsiooni abil  
Järvik, Jaan 2003-2007, 390 000 kr.
- SF0142512s03 Töökindel ja säästlik energeetika  
Tammoja, Heiki 2003-2007, 417 000 kr.
- SF0142513s03 Energiamuundus- ja -vahetusprotsesside uurimine elektriaparaatide ja

- pooljuhtmuundurite jõuvõrkudes  
Laugis, Juhan 2003-2007, 657 000 kr.
- SF0142515s03 Nano ja submikroonsete kilede keemia ning tehnoloogia  
Krunks, Malle 2003-2007, 1 220 000 kr.
  - SF0142516s03 Pooljuhtpäikeseenergeetika materjalide keemia, füüsika ja tehnoloogia  
Mellikov, Enn 2003-2007, 3 527 000 kr.
  - SF0142518s03 Anorgaaniliste mitmekomponentsete süsteemide keemia ja rakendused  
Kuusik, Rein 2003-2007, 1 939 500 kr.
  - SF0812526s03 Disperssete (gaas-tahked osakesed) vooluste teooria arendamine ja rakendused  
energeetikas  
Rudi, Ülo 2003-2007, 1 716 000 kr.
  - SF0142628s04 Kütused ja kütuse komponendid, nende termodünaamilis-füüsikalised  
omadused  
Oja, Vahur 2004-2008, 719 500 kr.
  - SF0182644As04 Nanotehnoloogiliste süsteemide molekulaardisain  
Karelson, Mati 2004-2008, 934 000 kr.
  - SF0142687s05 Sünteetiliste ja looduslike polümeerimaterjalide omadused ja vääristamine  
Viikna, Anti 2005-2010, 800 000 kr.
  - SF0142684s05 Toodete ja tootmisprotsesside kiire teostamine - teooria ja metodoloogia.  
Küttner, Rein 2005-2010, 2 020 000 kr.
  - SF0142737s06 Missioonikriitiliste sardsüsteemide elektroonsed komponendid ja  
alamsüsteemid  
Min, Mart 2006-2011, 2 735 000 kr.
  - SF0142714s06 Elektrit juhtivate polümeer-materjalide omaduste uurimine ja modifitseerimine  
kasutamiseks funktsionaalsete materjalidena ning elektronseadiste komponentidena  
Õpik, Andres 2006-2011, 2 444 500 kr.
  - SF0142719s06 Tehnoloogiliste protsesside intensiivistamine aktuaalsete  
keskkonnaprobleemide lahendamiseks  
Munter, Rein 2006-2011, 1 257 600 kr.
  - SF0142722s06 Fossiil- ja taastuvkütuste ning orgaaniliste jäätmete termokeemilise  
koostöötlemise alused  
Luik, Hans 2006-2008, 1 220 000 kr.
  - SF0140024s07 Energiaressursside säästlik kasutamine ja protsesside täiustamine  
põletusseadmetes  
Ots, Arvo 2007-2012, 3 202 000 kr.
  - SF0140027s07 Biosignaalide interpreteerimine meditsiinitehnikas  
Fridolin, Ivo 2007-2012, 1 872 500 kr.

### **TTÜ Küberneetika Instituut**

- SF0322519As03 Analüütilised ja numbrilised meetodid modelleerimises  
Janno Jaan 2003-2007, 783 300 kr.
- SF0322520s03 Mittelineaarsed ja hübriidsed juhtimissüsteemid  
Kotta, Ülle 2003-2007, 1 672 500 kr.
- SF0322521s03 Mittelineaarne dünaamika ja pingeanalüüs  
Engelbrecht, Jüri 2003-2007, 3 365 000 kr.
- SF0322709s06 Usaldusväärsed tarkvara- ja inimkeele tehnoloogiad  
Uustalu, Tarmo 2006-2011, 2 454 400 kr.

### **TTÜ Meresüsteemide Instituut**

- SF0822522s03 Läänemere vee- ja ainevahetusprotsessid muutuvates kliimatingimustes. Rannikumere dünaamika ja optika  
Elken, Jüri 2003-2007, 2 597 500 kr.

### **Tallinna Ülikool**

- SF0182529Bs03 Loodusteadusliku hariduse relevantsuse kontseptsioon ja relevantsust mõjutavad tegurid üldhariduskoolis  
Reiska, Priit 2003-2007, 272 000 kr.
- SF0132723s06 Mittelineaarsed stohhastilised protsessid nano- ja ökosüsteemides: teooria ning rakendused materjaliteadustes ja ökoloogias  
Mankin, Romi 2006-2011, 1 057 000 kr.

### **Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut**

- SF0222597s03 Prioriteetsete saasteainete olek ja jaotumine Eesti keskkonnas  
Kirso, Uuve 2003-2007, 858 000 kr.
- SF0222598s03 Keemiline spektraalfüüsika  
Lippmaa, Endel 2003-2007, 5 920 200 kr.
- SF0222603s03 Funktsionaalne proteoomika - struktuuri-aktiivsuse seosed ning molekulaarne äratundmine looduslikes valgukooslustes  
Siigur, Jüri 2003-2007, 2 288 000 kr.

### **Tartu Observatoorium**

- SF0062464S03 Tähtede ehitus, keemiline koostis ja evolutsioon  
Kipper, Tõnu 2003-2007, 3 575 000 kr.
- SF0062465s03 Struktuuride areng Universumis kaugest minevikust tänapäevani  
Einasto, Jaan 2003-2007, 2 574 000 kr.
- SF0062466s03 Eesti ning Balti regiooni keskkonna optilise kaugseire alused  
Kuusk, Andres 2003-2007, 2 860 000 kr.

### **Eesti Teadusfondi 2007. aastal alanud uurimistoetusi**

Varasematel aastatel alanud ETF uurimistoetuste nimekirjad on eelmistes EFS aastaraamatutes.

Teemad on liigitatud vastavalt ETIS-e klassifikatsioonile ([www.etis.ee](http://www.etis.ee)).

Projekti teema

Projekti nr Lõpp

#### **4. Loodusteadused ja tehnika**

##### **4.2 Maateadused**

Atmosfääriaerosooli optiliste omaduste ja osakeste mõõtmespektri modaalkonstrukturi täpsustamine Balti piirkonnas ja vastavate mõõteseadmete mõõtmistäpsuse suurendamine (Eduard Tamm, TÜ)	ETF6988	2010
Kõrglahutuslik aerosooli leviku ja dünaamika modelleerimise süsteem (Marko Kaasik, TÜ)	ETF7005	2010
Lainetusest tingitud põhjasetete resuspensiooni hindamine reaalajas (Ants Erm, TTÜ)	ETF7000	2010

#### 4.3 Kosmoseuuritud ja astronoomia

Galaktikate evolutsioon ja tume energia paisuvas Universumis (Mirt Gramann, TO)	ETF7146	2010
Ketasgalaktikate evolutsioon kosmoloogilistel ajaskaaladel (Antti Tamm, TO)	ETF7115	2010
Päikese ultraviolettkiirguse spektraalne koostis maapinnal (Kalju Eerme, TO)	ETF7137	2010

#### 4.8 Elektrotehnika ja elektroonika

Kvantaukudega pooljuht-nanostruktuuride ja süsinikkanotorude modelleerimine (Andres Udal, TTÜ)	ETF6914	2009
Kõrgtaseme otsustusdiagrammidel põhinevad digitaalsüsteemide verifitseerimis- ja testimismeetodid (Jaan Raik, TTÜ)	ETF7068	2010
Laia keelutsooniga materjalidel põhinevate pooljuhtstruktuuride kontaktid: üleminekuala kompositsioon ja morfoloogia ning modelleerimine (Toomas Rang, TTÜ)	ETF7183	2010

#### 4.10 Füüsika

Deformatsioonilained mikrostruktuursetes tahkistes - multimastaapsed mudelid (Andres Salupere, TTÜ)	ETF7035	2010
Einsteini gravitatsiooniteooria modifikatsioonid: teoreetilised ja kosmoloogilised aspektid (Piret Kuusk, TÜ)	ETF7185	2010
Elektronergastuste evolutsioon keerulistes oksiidides ajalises piirkonnas femtosekunditest kuni sekunditeni (Vitali Nagirnõi, TÜ)	ETF7274	2009
Energiaspektrid, magnetilised ja ülijuhtivuse fluktuatsioonid madalamõõtmelistes süsteemides tugevate elektronkorrelatsioonidega (Aleksi Šerman, TÜ)	ETF6918	2010
Frustreeritud magnetite optiline spektroskoopia magnetväljas (Toomas Rõõm, KBFI)	ETF7011	2010
Heterostruktuursete nanokomposiitide uurimine TMR meetoditega (Priit Sarv, KBFI)	ETF7232	2009
Ioon-molekulaarsete reaktsioonide kiiruskoefitsientide väljatugevusest sõltuvuse määramine gaaslahendusplasma (Märt Aints, TÜ)	ETF6928	2009

Kiiritusnähtused laia keelutsooniga funktsionaalmaterjalides (Aleksandr Luštšik, TÜ)	JD72	2008
Koherentsed olekud kvantkriitiliste punktide ümbruses uudsetes frustreeritud kvantmagnetites (Raivo Stern, KBFI)	JD53	2008
Madaladimensionaalsed struktuurid ja nende rakendused (Jaak Kikas, TÜ)	JD77	2008
Mitmemastaabiline dünaamika mikrostruktuuriga tahkistes (Arkadi Berezovski, TTÜ)	ETF7037	2010
Nanomastaapsed pinged ja deformatsioonid tahkistes: molekulaarsondeerimise meetod (Jaak Kikas, TÜ)	ETF7141	2010
Optiliste protsesside stimuleerimine ja kontroll oksiidsetes nanomaterjalides: rakendusvõimalusi fotoonikas ja sensoorikas (Ilmo Sildos, TÜ)	ETF6999	2010
Optoelektronsed gaasisensormaterjalid (Raivo Jaaniso, TÜ)	ETF7160	2010
Resonantsprotsesside vaheseisundite dünaamika tahkistes ja molekulaarsüsteemides (Imbi Tehver, TÜ)	ETF7024	2009
Spektraalse peentimmimise viise iseorganiseeruvates molekulaarkompleksides ja valgusmuundurites (Arvi Freiberg, TÜ)	ETF7002	2010
Stohhastilised protsessid tiheda plasma ja materjalide interaktsioonil (Tõnu Laas, TLÜ)	ETF7048	2010
Uute optika- ja spektroskoopiameetodite arendamine ja rakendamine materjali- ja plasmauuringutes (Peeter Saari, TÜ)	JD69	2008

#### 4.12 Protsessitehnoloogia ja materjaliteadus

CuInSe <sub>2</sub> saamisvõimaluste uurimine CuIn sulamite seleniseerimisel vesilahustest (Tiit Varema, TTÜ)	ETF7268	2008
Fotovoltmuundurid nanostruktuursete CdS ja CdTe kilede baasil (Jaan Hiie, TTÜ)	ETF7241	2010
Komposiitmaterjalide ja -pinnete kulumiskindluse modelleerimine (Renno Veinthal, TTÜ)	ETF7227	2009
Optoelektronsed gaasisensormaterjalid (Raivo Jaaniso, TÜ)	ETF7160	2010
Õhukesed kiled ja fotovoltstruktuurid keemilistel vedeliksadestusmeetoditel (Malle Krunks, TTÜ)	ETF6954	2010

#### 4.13 Mehhanotehnika, automaatika, tööstustehnoloogia

Hulkpoolusmudelitega kirjeldatavate tehniliste ahelsüsteemide dünaamika modelleerimine ja simuleerimine (Mait Harf, TTÜ)	ETF7091	2008
Juhtimissüsteemid ajaskaaladel (Ülle Kotta, TTÜ)	ETF6922	2010

## VI. RAAMATUD JA KOGUMIKUD

- Peter Holmberg, Juha Perkkiö, Erkki Hiltunen. Santorius: Elava looduse füüsika. Soome keelest tõlkinud Ülo Ugaste, eessõna Arvi Freiberg. „Ilo”, 2007, 784 lk.
- Arvi Freiberg. High temporal and spectral resolution laser spectroscopy of biologically relevant molecules and biomolecular complexes. Lecture notes published by University of Vilnius, ISBN 9789955330691. <http://plantphys.ut.ee/kursused/fyysika.html#fyysika>
- Vladimir Pokropivny, Rynno Lohmus, Irina Hussainova, Alex Pokropivny, Sergey Vlassov. Introduction to nanomaterials and nanotechnology. Tartu University Press, 192 lk.
- Romi Mankin, Eerik Reiter. Statistiline termodünaamika II (täiendatud kordustrukk). TTÜ Kirjastus, 2007.
- Rein-Karl Loide. Füüsika näidisülesanded gümnaasiumile. Molekulaarfüüsika ja termodünaamika. Kirjastus Koolibri, 2007

## VII. IN MEMORIAM

**Karl Rebane** 11.IV 1926 – 4.XI 2007

Lahkunud on Tartu Ülikooli emeriitprofessor akadeemik Karl Rebane, Eesti Teaduste Akadeemia kauaaegne president, üks rahvusvaheliselt tuntumaid Eesti füüsikuid, tahkisespektroskoopia Tartu koolkonna rajaja.



Karl Rebane sündis Pärnus ja omandas kõrghariduse Leningradi Riiklikus Ülikoolis, jõudes kandidaadikraadini (1955) akadeemik V.A. Focki õppetooli juures. Samal aastal naases ta Eestisse ja asus tööle Tartu Ülikooli füüsikaosakonnas vanemõpetajana. 1958-1960 oli ta esimene eksperimentaalfüüsika kateedri juhataja. Ta luges uusi loengukursusi, sealhulgas kristallide spektroskoopiat, mis oli terve teadlaspõlvkonna jaoks üheks baastadmiseks. 1956. aastast alates töötas Karl Rebane paralleelselt Eesti Teaduste Akadeemia Füüsika ja Astronoomia Instituudis, instituudi pooldumise järel (1973) oli ta Füüsika Instituudi direktor aastail 1973-1976. 1961. aastal valiti ta Eesti TA liikmeks. Võimeka organisaatorina tegi ta kiiret akadeemilist karjääri: 1964-68 oli ta Eesti TA füüsika-matemaatika ja tehnikateaduste osakonna akadeemiksekretär, 1968-73 Eesti TA asepresident, 1973-1990 president. Teaduste Akadeemias töötades pani ta suurt rõhku akadeemia ja ülikooli koostööle, organiseerides Tartu Ülikooli ja TA Füüsika

Instituudi laseroptika ühiskateedri (1974-1993), mis kujunes noorte teadlaste soodsaks kasvulavaks. Ta kujundas Füüsika Instituudi teadlaskaadri, kelle edukas töö pälvis rahvusvahelise tunnustuse.

1964. aastal kaitses Karl Rebane doktoritöö, mis käsitles lisanditega kristallide optiliste spektrite teooriat. Saadud tulemused avaldas ta venekeelses monograafias, mis USAs inglise keelde tõlgiti ja füüsikailmas otsitud käsiraamatuks kujunes. See moodustas teoreetilise aluse, millel baseerub Karl Rebase loodud tahkisespektroskoopia koolkond Tartus. Siin arendatud foononvabade spektrijoonte teorial põhinevad mitmed uued meetodid tahkiste spektroskoopias, mis rohkendavad tuhandekordselt optiliste uuringute informatiivsust ning on aluseks uutele optoelektronika rakendustele nagu selektiivspektroskoopia ja spektraalsätkamine.

Karl Rebase tunnustatud saavutuseks on koos õpilastega arendatud optilise sekundaarkiirguse üldteooria, mis oli aluseks uue optilise nähtuse – kuuma luminesentsi – avastamisel (1968). See oli esimene NSVL riiklikus registris registreeritud Eesti teadlaste avastus. Karl Rebase teadushuvide ring ei piirdunud ainult tahkisefüüsikaga, vaid haaras ka elukeskkonna probleeme, mis leidsid kajastamist raamatus „Energia, entroopia, elukeskkond” (1980).

Karl Rebasest kujunes rahvusvaheliselt tuntumaid (ja tsiteeritumaid) Eesti füüsikuid, kes viis Eesti füüsikateaduse rahvusvahelisele areenile. Ta oli paljude toimetuskolleegiumide liige. Tema initsiatiivil korraldati 1970. aastal esimene füüsikaalane rahvusvaheline seminar Eestis “Physics of Impurity Centres in Crystals”, milles osales terve plejaad tuntud füüsikuid USAst, Saksamaalt, Inglismaalt, Itaaliast. Järgnes rida üleliidulisi ja rahvusvahelisi konverentse Tartus ja Tallinnas tema juhitud orgkomiteede eestvedamisel.

Karl Rebase teadustööd on kõrgelt hinnatud ja märgitud mitmesuguste auhindadega. Ta oli NSV Liidu Teaduste Akadeemia (alates 1992 Vene Teaduste Akadeemia) liige alates 1976. aastast, samuti Euroopa (Salzburgi ja Londoni) akadeemiate liige; ta juhatas NSVL TA Ühendatud Optikanõukogu, oli Euroopa Füüsikaühingu nõukogu liige, Rahvusvahelise Optikanõukogu liige ja asepresident. Eestis on Karl Rebase tööd tunnustatud riiklike teaduspreemiatega tööde eest kristallide lisanditsentrite ja nendega seotud protsesside teooria valdkonnas (1965) ning ühe lisandimolekuli spektroskoopia alal (1996). Eesti Vabariik on talle andnud elutööpreemia ning autasustanud Valgetähe III klassi teeneteristiga.

Kolleegide ja õpilaste mällu jääb Karl Rebane kui Eesti teaduse võimekas organisaator, erudeeritud teadlane ja huumorimeelne inimene.

## **VIII. FÜÜSIKAHARIDUSLIK TEGEVUS**

- 2007. a. jaanuaris andis füüsika ainekava töörühm Riiklikule Eksami- ja Kvalifikatsioonikeskusele üle põhikooli ja gümnaasiumi ainekava projekti. Ainekava projekti töörühma juhtis Enn Pärtel (TÜ). Töörühma kuulusid Kadri-Ly Trahv (Rakvere Reaalgümnaasium), Jaak Jõgi (Lähte Ühisgümnaasium), Jaan Paaver (Forseliuse Gümnaasium), Kalev Tarkpea (TÜ), Henn Voolaid (TÜ) ja Koit Timpmann (TÜ). Ainekava projekti lähteseisukohtade aruteluks korraldati kaks seminari, millest võttis osa üle kahekümne füüsikaõpetaja. Ainekava projekti retsenseeris Ülo Ugaste ja üleriigiline füüsika ainenõukogu.
- 7. märtsil anti Brüsselis pidulikult kätte Euroopa Komisjoni 2006. a teadusauhinnad ja Descartes'i teaduskommunikatsiooni auhinnad. Viimatinimetatud konkursil jõudis esikümnesse teadusbussi „Suur Vanker“ kollektiiv, kellele omistatud 5000 euro suurust finalistipreemiat (5.-10. koht) käisid



Brüsselis toimunud ELi 7. raamprogrammi avamisüritusel "Today is the future" vastu võtmas Kaido Reivelt, Heli Valtna ja Aigar Vaigu.

- 19. märtsil toimus Tartu Ülikoolis kuues akadeemiline füüsikaolümpiaad. Võitjaks tuli 1. a füüsikamagistrant Mihkel Kree, teise koha sai 2. a füüsikatudeng Siim Ainsaar. Kolmandat kohta jagasid füüsikaosakonna esmakursuslased Mihkel Heidelberg ja Lauri Kaldamäe ning 2. a füüsikamagistrant Endel Soolo.
- 26. apr kuulutati välja Eesti teaduse populariseerimise auhinna 2007 võitjad. Konkursi auhinnafondiks oli 160 000 krooni. Konkursile laekunud 28 kandidaadi hulgast valis žürii üheksa auhinna saajat, sealhulgas kolm füüsika populariseerimisega seotut:
  - I preemia suurusega 40 000 krooni võitis OÜ Haridusmeedia ETVs jooksnud saatesarja BioNina eest;
  - II preemia suurusega 15 000 krooni pälvis TTÜ Füüsikainstituudi professor Jüri Krustok pikaajalise eduka tegevuse eest teaduse populariseerimisel;
  - III preemia suurusega 10 000 krooni võitis Teaduskeskus AHHA 22. septembril toimunud üle-euroopalise Teadlaste Öö ürituste korraldamise eest Eestis.
- 28. 15. mail toimus Teaduste Akadeemia majas akadeemik Endel Lippmaa avalik akadeemiline loeng „Tänapäeva kõrgenergiafüüsika põhiprobleemid CERNis“.
- 29. 12. juunil algusega kell 10.00 toimus füüsika riigieksam gümnaasiumilõpetajatele.
- 30. 25.-27. juunil toimus Nõo Realgümnaasiumis EFS füüsikaõpetajate osakonna traditsioonilise üritusena füüsikaõpetajate suvekool. Osales 28 füüsikaõpetajat üle Eesti. Suvekooli raames korraldati seminar "Koolifüüsika reform", kus osalejad meenusid 20 aastat tagasi alanud koolifüüsika reformi ja otsisid võimalusi jätkamiseks.
- 10.-14. aug toimus Tõraveres astronoomiahuviliste XII üle-eestiline kokkutulek. Toimus neli loengusessiooni: „50 aastat kosmoseajastut“, „Kuidas saadakse astronoomiks“, „Astronoomide suured projektid“ ja „Astronoomia uudised“. Lisaks loengutele toimusid ka vaatlused, arutelud, filmiõhtu ja kontsert "Planeedid muusikas" (musitseerisid Urmas Sisask ja Tiit Kikas) ning matk Vellavere – Vitipalu matkarajale. Kokkutulekuga koos toimus Eesti esimene astronoomiliste fotode konkurss, mille korraldas Eesti Astronoomia Selts. Esimese ja kolmanda koha sai Taavi Tuvikene, teise koha Martin Vällik. Lisainfo [www.obs.ee/kokkutulekud](http://www.obs.ee/kokkutulekud).
- 24.–26. aug korraldas MTÜ Teadusteave Käsmu Meremuuseumis teadus.ee suvekooli, kus kohtusid tavainimesed ja teadlased. Suvekooli teemaks oli „Kuidas õhk teadust õpetab“. Füüsikutest olid esinejate seas Jaak Kikas, Ülle Kikas, Uno Veismann ja Margus Saal. Osalesid teadusbussi Suur Vanker liikmed oma demonstratsioonidega ja muusik Urmas Sisask oma õhulise muusikaga.
- Tartus Domus Dorpatensise majas toimusid populaarteaduslikud seminarid sarjast „Ahhaa! Teeme tutvust“:
  - 18. sept „Ahhaa! Teeme tutvust robotikaga“;
  - 22. okt „Ahhaa! Teeme tutvust kosmosega“;
  - 20. nov „Ahhaa! Teeme tutvust alternatiivenergiaga“;
  - 13. dets „Ahhaa. Teeme tutvust kliimamuutustega“.
- 25. sept esines TO vanemteadur T. Viik TÜ ajaloo muuseumi populaarteaduslike teedõhtute sarjas „Huvitavat teadusest ja elust“ ettekandega „Maa kui kosmiline märklaud“.
- 26.–30. sept korraldati Tartus teadusfestival, mis haaras endasse ka kaks juba traditsiooniks kujunenud ettevõtmist: 28. sept oli üle-euroopaline Teadlaste Öö ning 29.–30. sept toimusid Tähe 4 füüsikahoones teadust populariseerivad Tähe perepäevad TÄPE 2007, kus oli ca 1500 osavõtjat ja 64 korraldajat Tartu Ülikoolist. Tartu Teadusfestival osales üle-euroopalises projektis „Wonders 2007“ (*Welcome to Observations, News & Demonstrations of European Research and Science*), milles osales kokku 31 erinevat teadusfestivali ja üritust üle Euroopa.
- 28. sept korraldas AHHA-keskus Eestis teist korda rahvusvahelist Teadlaste Ööd koos ETV (nüüd ERR) ja Teaduste Akadeemiaga. Erinevad üritused toimusid üle kogu Euroopa, mis kõik seotud rahvusvahelise projektiga *Researchers' Night 2007*. Seekord toimusid järgnevad füüsikat ja astronoomiat populariseerivad ettevõtmised:

- *The AHHA Pressure Challenge* Pirogovi platsil Tartus. Kuidas õhurõhk on seotud õlletarbimisega? Kui pikka joogikõrt füüsikaseadused kasutada võimaldavad?
- Orienteerumisvõistlus „Planeedijooks“ Tartu Tähetornis ja linnas.
- Monumentaalfüüsika: Kalevipoeg Henn Voolaiu humoorikas käsitluses Kalevipoja monumendi juures Vabaduse puiesteel Tartus.
- Prof Enn Lusti loeng „Nanostruktuursed materjalid tänapäeva energeetikas“ TÜ keemiahoones.
- Kadrioru pargis olid alates 20. sept üleval ja kõigile huvilistele vaadata valgusinstallatsioonid teemal „Unistuste perekond“ (koostööst sotsiaal- ja füüsikateadlastega). 28. sept õhtul toimus KUMUs valgusteemaline töötuba.
- Erinevad teadusega seotud ettevõtmised KUMU territooriumil – vaadata sai teadusteatri, tutvuda interaktiivsete Energiakeskuse helieksponaatidega, jälgida virtuaalprogrammi „Cosmos“, kuulata ettekandeid, osaleda erinevates teaduse ja kunstiga seotud töötubades.
- Teaduskohvik Narvas: prof Jaak Kikase ettekanne „Loodusteaduslikud avastused – viimased 10 aastat“ (vene keeles).
- 29. sept – 7. okt Ukrainas toimunud XII rahvusvahelisel astronoomiaolümpiaadil sai hõbemedali Pärnu Vanalinna Põhikooli 9. kl õpilane Eero Vaher. Pronksmedaliga tulid koju Tallinna Reaalkooli poisid Erik Tamre ja Markus-Eerik Horma. Vanemas vanuseklassis sai Eesti õpilastest parima tulemuse Hugo Treffneri Gümnaasiumi 11. kl õpilane Siim Rinke. Olümpiaadist võttis osa 104 võistlejat 21 riigist.
- 23. okt avati Tallinna Energiakeskuses näitus "Tulevikulinn".
- 30. nov toimus Tallinna Tehnikaülikoolis traditsiooniline robotivõistlus „Robotex“. Esikoha sai TTÜ võistkond Viplala (elektroonikatudengid Andres Ormisson, Rasmus Raag ja Veigo Evard ning mehhatroonikatudengid Andres Vahter ja Siim Viilup), teiseks tuli ITK võistkond Diabolo (Tõnis Tiitsaar, Hendrik Tõnsau, Katrin Kibbal) ning kolmandaks TÜ võistkond Team Helina ja Püha Vaim 4000 (infotehnoloogia 2. a magistrandid Karl Kruusamäe ja Jaas Ježov, matemaatilise statistika 3. a tudeng Helina Kitsing ning infotehnoloogia esmakursuslane Jaanus Pähn; juhendas füüsikadoktorant Joel Kuusk).
- 4. dets avaldatud PISA loodusteaduslike teadmiste testi edetabelis olid Eesti 15-16 aastased lapsed 5.-6. kohal. Tabelis on esikohal Soome, järgnevad Hongkong, Kanada ja Taipei. Täpsemalt vt [www.pisa.oecd.org](http://www.pisa.oecd.org).
- 7. dets vestles TÜ keskkonnafüüsika instituudi lektor Piia Post Võru Kesklinna Gümnaasiumi õpilastega füüsiku elukutse võludest ja valudest.
- TÜ FK koolifüüsika keskuse tegevusi 2007. a:
  - Teadustöö:
    - \* Eesti kooliõpilaste füüsikaliste väärarusaamade ja nende tekkepõhjuste uurimine (O. Krikmann, J. Susi);
    - \* aktiivõppe meetodite rakendamine koolifüüsikas (E. Pärtel);
    - \* füüsikaõppe efektiivsuse mõõtmine (H. Voolaid, S. Ganina).
  - Projektid:
    - \* Europrojekt EU TRAIN, kus õpetajakoolituse koordineerimisel teevad koostööd Bulgaaria, Eesti, Poola ja Soome spetsialistid. Eestit esindavad O. Krikmann ja J. Susi. ESF projekt „Loodusteadusliku ja tehnoloogiaalase hariduse jätkusuutlikkuse tagamine kõigil õppetasanditel“. Osalevad H. Voolaid ja O. Krikmann.
  - Muu:
    - \* füüsikaõpetajate täiendõpe Jõgevamaa, Põlvamaa ja Tartu õpetajatele (E. Pärtel, H. Voolaid);
    - \* TÜ õpetajakoolituse arengukava koostamine (E. Pärtel, H. Voolaid);
    - \* H. Voolaid sai ajakirja *The Science Education Review* toimetuskolleegiumi liikmeks (30.01.07).
- Tallinna Ülikoolis toimus 2006/07 õ-a Õpilaskadeemia raames kursus „Universum inimese

ettekujutuses“.

- Taevaste sündmuste ja Tartu Observatooriumi tegemiste vastu tundsid huvi mitmed raadio- ja telekanalid. Enim intervjuusid andsid 2007. aastal Ain Kallis (42 intervjuud) ja Tõnu Viik (7 intervjuud).
- Tartu Observatoorium koos firmaga AS O.E. Map andis välja koolidele mõeldud tähistaeva kaardi koos Päikesesüsteemi planeetide andmetega.
- 1. ja 15. sept toimusid Tõraveres üritused loovprojekti „Kaevu taga kostab kosmos“ raames. Rühm noori erinevatelt kunstialadelt kogunes Tõraverre loomingulisse laagrisse, mille lõpptulemusena valmisid heli- ja valgusinstallatsioonid ning elava muusika ja liikuvate kehadega *performance*'id. Pärastlõunal alanud ning hilisööni kestnud programmide taotluseks oli siduda ja panna omavahel suhtlema omapärane Tõravere keskkond, teadus ja kunst. Õhtupoolikud algasid kosmoseteemaliste loengutega, mis võttis linti Raadio Ööülikool. Projekti elluviimiseks saadi põhitoetus Euroopa Ühenduse programmilt Euroopa Noored ning Hansapanga projektikonkursilt „Tähed särama“. Lisainfo <http://konverter.ee/kaevutagakostabkosmos>.
- Populaarteaduslikke loenguid astronoomia ja astrofüüsika alal sai kuulata Tartu Tähetorni Astronoomiaringi koosolekutel, mis toimusid regulaarselt iga kuu esimesel, kolmandal (ja viiendal) teisipäeval algusega kell 17.30 Tähetorni auditooriumis. Jätkas ilmumist ka populaarne veebiajakiri astronoomiahuvilistele „Vaatleja“, mis ilmub alates 2000. aastast, 6 numbrit aastas ([vaatleja.obs.ee](http://vaatleja.obs.ee)).
- 2007. aastal külastas Tartu Observatooriumi 280 grupi koosseisus üle 6500 inimese, kes said näha ja katsuda Eesti rahvapärast taevast Lagle Israeli seinapanool, 1,5-meetrist teleskoopi, Stellaariumi väljapanekuid, viibida virtuaalses planetaariumis jne.
- Tallinna Tähetornis jätkas tööd huviring õpilastele alates põhikoolist gümnaasiumi lõpuni (V. Harvig, M. Mars). Huvilised leidsid nii teoreetilist kui ka praktilist tegevust. Ringi kohtumiste sageduseks oli üks kord kahe nädala tagant.
- 17.-18. märtsil toimus Tartu Ülikoolis Eesti koolinoorte 54. füüsikaolümpiaadi lõppvoor. Füüsikaolümpiaadi lõppvoorüür otsus:
  - I Autasustada 1. järgu diplomiga
    - \* Gümnaasiumi arvestuses: Uku Hämarik (Miina Härma Gümnaasium, 11. kl), Marek Jarkovoi (Tallinna Reaalkool, 12. kl), Stanislav Zavjalov (Narva Humanitaargümnaasium, 10. kl).
    - \* Põhikooli arvestuses: Rauno Siinmaa (Pärnu Koidula Gümnaasium, 9. klass), Roland Matt (Tartu Tamme Gümnaasium, 9. kl), Tuule Mall Kull (Miina Härma Gümnaasium, 9. kl).
  - II Autasustada 2. järgu diplomiga
    - \* Gümnaasiumi arvestuses: Priit Rinken (Hugo Treffneri Gümnaasium, 12. kl).
    - \* Põhikooli arvestuses: Andre Tamm (Tallinna Inglise Kolledž, 9. kl), Aleksander Mjakonkih (Pärnu Kuninga Tänav Põhikool, 9. kl), Karol Kadarik (Tallinna Reaalkool, 9. kl).
  - III Autasustada 3. järgu diplomiga
    - \* Gümnaasiumi arvestuses: Ardi Loot (Hugo Treffneri Gümnaasium, 10. kl), Tanel Teinemaa (Tallinna Reaalkool, 11. kl), Stemo Ojavee (C. R. Jakobsoni Gümnaasium, 12. kl), Jevgeni Martjušev (Tallinna Tõnismäe Reaalkool, 12. kl).
    - \* Põhikooli arvestuses: Ivan Jakovlev (Tallinna Õismäe Vene Lütseum, 9. kl), Kristian Leite (Tallinna Inglise Kolledž, 9. kl), Aleksandr Ponomarjov (Narva Humanitaargümnaasium, 9. kl), Eero Vaher (Pärnu Vanalinna Põhikool, 8. kl).
  - IV Autasustada järguta diplomiga
    - \* Gümnaasiumi arvestuses: Marko Eltermann (Tallinna Reaalkool, 12. kl), Aleksandr Bitjukov (Tallinna Tõnismäe Reaalkool, 12. kl), Siim Lepik (Tallinna Reaalkool, 11. kl), Andreas Valdmann (Hugo Treffneri Gümnaasium, 11. kl), Egon Elbre (Nõo Reaalgümnaasium, 12. kl), Heino Soo (Hugo Treffneri Gümnaasium, 10. kl), Aleksei Filippov (Narva Pähklimäe Gümnaasium, 12. kl), Jaan Katus (Tallinna Reaalkool, 12. kl), Andrei Klevtsov (Tallinna Kesklinna Vene Gümnaasium, 11. kl), Kristjan Põder (Pärnu Koidula Gümnaasium, 11. kl), Fjodor Gainullin (Tallinna Tõnismäe Reaalkool, 11. kl), Jüri Aedla (Nõo Reaalgümnaasium, 11. kl), Karen Atabekjan

- (Tallinna Tõnismäe Reaalkool, 11. kl), Holger Kruusla (Pärnu Koidula Gümnn, 12. kl).
- \* Põhikooli arvestuses: Ain Salula (Gustav Adolphi Gümnn, 9. kl), Janno Jõulu (Tallinna Reaalkool, 8. kl), Erik Nisu (Pärnu Kuninga Tánava Põhikool, 9. kl), Taavi Pipar (Tallinna Reaalkool, 8. kl), Siim Liiser (Tallinna Reaalkool, 8. kl), Marten Kauküla (Tallinna Reaalkool, 9. kl), Gerli Viikmaa (Pärnu Koidula Gümnn, 9. kl), Mario Reiman (Avinurme Keskkool, 9. kl), Hansa Metsoja (Miina Härma Gümnn, 9. kl), Risto Vösaste (Jõgeva Ühisgümnn, 9. kl).
  - V Autasustada eridiplomiga
    - \* Parim eksperimentaator – Tanel Teinmaa (Tallinna Reaalkool, 11. kl) ja Holger Kruusla (Pärnu Koidula Gümnn, 12. kl).
  - VI Eriauhinnad toetajatelt
    - \* Füüsika Instituudi eriauhind – Uku Hämarik (Miina Härma Gümnn, 11. kl),
    - \* Eesti Füüsika Seltsi eriauhind – Stanislav Zavjalov (Narva Humanitaargümnn, 10. kl),
    - \* Hansapanga eriauhinnad – Marek Jarkovoi (Tallinna Reaalkool, 12. kl), Priit Rincken (Hugo Treffneri Gümnn, 12. kl), Ardi Loot (Hugo Treffneri Gümnn, 10. kl), Rauno Siinmaa (Pärnu Koidula Gümnn, 9. kl), Eero Vaher (Pärnu Vanalinna Põhikool, 8. kl),
    - \* MTÜ Loodusajakiri eriauhinnad – Rolan Matt (Tartu Tamme Gümnn, 9. kl) ja Tuule Mall Kull (Miina Härma Gümnn, 9. kl).
  - VII Žürii avaldab tänu õpilaste hea ettevalmistamise eest õpetajatele
 

Tatjana Belousova (Tallinna Tõnismäe Reaalkool), Reina Henn (Tallinna Reaalkool), Elsa Fedšenko (Pärnu Kuninga Tánava Põhikool), Jelena Guljajeva (Tallinna Kesklinna Vene Gümnn), Peet-Märt Irdt (Nõo Reaalgümnn), Mihhail Jemeljanov (Narva Pähklimäe Gümnn), Jüri Kaljurand (Gustav Adolphi Gümnn), Märt Kask (Hugo Treffneri Gümnn), Mart Kuurme (Tallinna Reaalkool), Larissa Lihh (Tallinna Õismäe Vene Lütseum), Gennadi Medkov (Narva Humanitaargümnn), Elmu Mägi (Pärnu Koidula Gümnn), Helle-Kaja Möls (Miina Härma Gümnn), Maire Piirimäe (Miina Härma Gümnn), Vahur Pohlasalu (C. R. Jakobsoni Gümnn), Madis Reemann (Hugo Treffneri Gümnn), Toomas Reimann (Tallinna Reaalkool), Vello Tiimus (Pärnu Vanalinna Põhikool), Heli Toit (Jõgeva Ühisgümnn), Meelis Vaher (Avinurme Keskkool), Guido Vegman (Tallinna Inglise Kolledž), Tiiu Üts (Tartu Tamme Gümnn).
  - VIII Vastavalt olümpiaadi statuudile arvata Eesti võistkonna liikmeks rahvusvahelisel füüsikaolümpiaadil Uku Hämarik (Miina Härma Gümnn, 11. kl).
  - IX Nimetada rahvusvahelise füüsikaolümpiaadi Eesti võistkonna kandidaatideks
 

Aleksandr Bitjukov (Tallinna Tõnismäe Reaalkool, 12. kl), Egon Elbre (Nõo Reaalgümnn, 12. kl), Marko Eltermann (Tallinna Reaalkool, 12. kl), Aleksei Filippov (Narva Pähklimäe Gümnn, 12. kl), Fjodor Gainullin (Tallinna Tõnismäe Reaalkool, 11. kl), Marek Jarkovoi (Tallinna Reaalkool, 12. kl), Jaan Katus (Tallinna Reaalkool, 12. kl), Andres Laan (Tallinna Reaalkool, 11. kl), Andrei Klevtsov (Tallinna Kesklinna Vene Gümnn, 11. kl), Holger Kruusla (Pärnu Koidula Gümnn, 12. kl), Siim Lepik (Tallinna Reaalkool, 11. kl), Ardi Loot (Hugo Treffneri Gümnn, 10. kl), Jevgeni Martjušev (Tallinna Tõnismäe Reaalkool, 12. kl), Stemo Ojavee (C. R. Jakobsoni Gümnn, 12. kl), Kristjan Pöder (Pärnu Koidula Gümnn, 11. kl), Priit Rincken (Hugo Treffneri Gümnn, 12. kl), Heino Soo (Hugo Treffneri Gümnn, 10. kl), Tanel Teinmaa (Tallinna Reaalkool, 11. kl), Velle Toll (Saaremaa Ühisgümnn, 12. kl), Andreas Valdmann (Hugo Treffneri Gümnn, 11. kl), Stanislav Zavjalov (Narva Humanitaargümnn, 10. kl).

Jaak Kikas, füüsikaolümpiaadi žürii esimees  
 Andre Säask, füüsikaolümpiaadi komisjoni esimees  
 Tartus, 18. märtsil 2007. a.

- 25. märtsist 1. aprillini Potsdamis toimunud EL loodusteaduste olümpiaadil EUSO2007 võitsid Eesti õpilased kuld- ja hõbemedali. Eestit esindasid kaks 3-liikmelist võistkonda: kuldmedali

pälvinud meeskonda kuulusid Stanislav Zavjalov (Narva Humanitaargümn), Taavi Pungas (Tallinna Reaalkool) ja Siim-Ilmar Nopri (C.R.Jakobsoni nim Gümn), hõbemedali pälvinud meeskonda kuulusid Mark Gimbutas (Hugo Treffneri Gümn), Kristiina Tüür (Saaremaa Ühisgümn) ja Andrei Klevtsov (Tallinna Kesklinna Vene Gümn). Eesti võistkondade juhendajateks olid Tartu Ülikooli füüsika-keemiateaduskonna õppejõud Karin Hellat ja Timo Kikas ning magistrant Jaanus Uibu.

- 2.–11. dets toimus Taivanil IV rahvusvaheline loodusteaduste olümpiaad (IJSO 2007), kus Tartu Ülikooli teaduskooli kasvandikud võitsid kaks hõbe- ja neli pronksmedalit.

Kokku võttis olümpiaadist osa 43 riiki, iga riiki esindas kuni kuueliikmeline võistkond. Olümpiaad toimus kolmes voorus, kus õpilased pidid näitama oma teadmisi bioloogias, keemias ja füüsikas läbi teoreetiliste ja eksperimentaalsete ülesannete.

Eestit esindas olümpiaadil kuus 9. klassi õpilast, kellest Eero Vaher (Pärnu Vanalinna Põhikool) ja Uku-Laur Tali (Tartu Kommertsgümnaasium) võitsid hõbemedali. Mart Luide (Tallinna Reaalkool), Andres Mihkelson (Koeru Keskkool), Artur Pata (Miina Härma Gümnaasium) ja Kadi Liis Saar (Tallinna Inglise Kolledž) pälvisid olümpiaadil pronksmedalid.

Võistkonna juhendajad olid Tartu Ülikooli keemia instituudi õppejõud Karin Hellat ja Timo Kikas ning doktorant Liina Nagirnaja, ettevalmistuse tagas TÜ Teaduskool. Rahvusvahelisel olümpiaadil osalemist finantseeris Haridus- ja Teadusministeerium.

IJSO 2007 kodulehekülj: <http://twijso.sec.ntnu.edu.tw/IJSO2007>

- Õpilaste teadustööde riiklikule konkursile laekus 51 tööd, neist 12 põhikooli ja 39 gümnaasiumi tasemel. Valdkondlikult esindasid 33 tööd reaal- ja loodus- ning ülejäänud 18 sotsiaal- ja humanitaarteadusi. Gümnaasiumi astme riiklikud preemiad said:
  - I preemia ja Eesti Noorte Teadlaste Akadeemia eripreemia sai Eleri Kärtner (Hugo Treffneri Gümnaasium) „Universumi ja elu tekke mõistmisest Hugo Treffneri Gümnaasiumi abituuriumis“.
  - II preemia sai Maria Orb (Jõgeva Ühisgümnaasium) „Katlakivi tekke vähendamine magnetseadmega“. Preemiaga kaasneb võimalus osaleda 2008. aastal USAs Atlantas toimival noorte teadusmessil Intel ISEF.

Kroonika koostasid Anna Aret (TO), Piret Kuusk (TÜ FI) ja Helle Kaasik (TÜ FI). Andmeid andsid Virge Anso (TÜ FK dekanat), Hugo Mändar (TÜ FO magistrikomisjon), Toomas Plank (TÜ FO nõukogu), Urmas Hörrak (TÜ FKKF), Aleksandra Linnas (TÜ FKKF), Henn Voolaid (TÜ koolifüüsika keskus), Jaak Jõgi (Lähte Ühisgümnaasium), Andi Hektor (KBFI), Tõnu Laas (TLÜ), Maarja Grossberg (TTÜ). Andmed ETF uurimistoetuste kohta ja osad isikuandmed pärinevad ETISest ([www.etis.ee](http://www.etis.ee)). Andmed sihtfinantseeritavate teadusteemade kohta ning üliõpilaste ja õpilaste teadustööde riikliku konkursi kohta pärinevad Haridusministeeriumi koduleheküljelt [www.hm.ee](http://www.hm.ee). Andmed kooliõpilaste füüsikaolümpiaadide kohta pärinevad TÜ täppisteaduste kooli koduleheküljelt [www.ttkool.ut.ee](http://www.ttkool.ut.ee). Andmed Eesti Teaduse Populariseerimise Auhinna kohta pärinevad SA Archimedes koduleheküljelt [www.archimedes.ee](http://www.archimedes.ee). Andmed TÜ Sihtasutuse stipendiumide kohta pärinevad veebilehelt [www.ut.ee/sihtasutus](http://www.ut.ee/sihtasutus). Kasutatud on ka [www.ut.ee](http://www.ut.ee), [www.akadeemia.ee](http://www.akadeemia.ee) ja [www.fyysika.ee](http://www.fyysika.ee) uudistelehekülgi.

## SUMMARY

The 18<sup>th</sup> Annual of the Estonian Physical Society starts with an article by Ilmar Ots on various facets of the concept of mass in the special theory of relativity. It is followed by a review by late Dr. Jaak Lõhmus of scientific work and books by Dr. Harry Õiglane (5. III 1927 – 17. VII 1999) and his bibliography assembled by Elmar Vesman. In the second part of the Annual, the programme of the 37<sup>th</sup> Estonian Days of Physics (Tartu, March 20–21, 2007), the report of the laureate of the EFS Annual Prize 2007 Dr. Jaan Kalda and a paper by Harry Alles on superfluid solid helium are published. Svetlana Ganina and Henn Voolaid publish an article on measuring of efficiency of learning of physics. The next part of the Annual presents official documents of the Estonian Physical Society. The EFS Annual Prize and the Medal of the Society 2007 were given to Dr. Jaan Kalda, the Student Prize 2006 was granted to Heli Valtna. The Honorary Citations winner was Andi Hektor for organizing the Young Physicists' Summer and Autumn Schools. The High School Student Award was granted to the student of the Lääte Gymnasium (*Lääte Ühisgümnaasium*) Martin Jõgi, whose work was completed under supervision of his teacher Jaak Jõgi. The award for the best student poster of the Days of Physics 2007 went to Aleksander Lissovski. The Society section includes also the Annual Report for the year 2007, and the list of Board members and new members of the Society. At the end of the section, the programmes of the Young Physicists' Summer and Autumn Schools and of the Summer School of Teachers of Physics for the year 2007 can be found. The Annual ends with the physics chronicle of 2007, which lists the most significant events in the development of physics in Estonia in 2007.

## Raamatus kasutatud lühendid

CENS	TTÜ KI mittelineaarsete uuringute keskus ( <i>Centre for Nonlinear Studies</i> )
EL 6RP	Euroopa Liidu 6. raamprogramm
EL 7RP	Euroopa Liidu 7. raamprogramm
ESO	Euroopa Lõunaobservatoorium ( <i>European Southern Observatory</i> )
ERR	Eesti Rahvusringhääling
ETIS	Eesti Teadusinfosüsteem
ETV	Eesti Televisioon
FMI	Soome Meteoroloogia Instituut ( <i>Finnish Meteorological Institute</i> )
HTM	Haridus- ja Teadusministeerium
KBFI	Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut
kSI2K	1000 SI2K (arvutusvõimsuse ühik vastavalt testile SpecINT2000)
KVÜÕA	Kaitseväge Ühendatud Õppeasutused
LOTE	Tartu Ülikooli Loodus- ja tehnoloogiateaduskond
PISA	Rahvusvaheline õpilaste õpitulemuslikkuse hindamise programm ( <i>Programme for International Student Assessment</i> )
REKK	Riiklik Eksami- ja Kvalifikatsioonikeskus
TLÜ	Tallinna Ülikool
TO	Tartu Observatoorium
TTÜ	Tallinna Tehnikaülikool
TTÜ GI	TTÜ Geoloogia Instituut
TTÜ KI	TTÜ Küberneetika Instituut
TTÜ MSI	TTÜ Meresüsteemide Instituut
TVK	Tartu Veeriku Kool
TÜ	Tartu Ülikool
TÜ FI	TÜ Füüsika Instituut

TÜ FK	TÜ füüsika-keemiateaduskond
TÜ FKBM	TÜ Biomeditsiinitehnika ja meditsiinifüüsika teadus- ja koolituskeskus
TÜ FKEF	TÜ eksperimentaalfüüsika ja tehnoloogia instituut
TÜ FKFE	TÜ füüsikalise keemia instituut
TÜ FKKF	TÜ keskkonnafüüsika instituut
TÜ FKOK	TÜ orgaanilise ja bioorgaanilise keemia instituut
TÜ FKTF	TÜ teoreetilise füüsika instituut
TÜ FO	TÜ füüsikaosakond
TÜTI	TÜ Tehnoloogiainstituut