

Küberneetika instituut, 2017. aasta teadus- ja arendustegevuse aruanne

Küberneetika instituut

Department of Cybernetics

Andrus Salupere, andrus.salupere@ttu.ee, +372 620 4152

Instituudis tegutsevad järgmised uurimisrühmad:

- Lainetuse dünaamika
- Süsteemibioloogia
- Pooljuhtide füüsika
- Teoreetiline füüsika
- Pöördülesanded ja stohhastilised meetodid
- Matemaatiline analüüs
- Rühma- ja poolrühmateooria
- Komposiitide reoloogia
- Fotoelastsus
- Mittelineaarne lainelevi

The Department conducts research within 10 research groups:

- Wave Engineering
- Systems Biology
- Semiconductor Physics
- Theoretical Physics
- Inverse Problems and Stochastic Methods
- Mathematical Analysis
- Group and Semigroup Theory
- Rheology of Composites
- Photoelasticity
- Nonlinear Wave Dynamics

Lainetuse dünaamika uurimisrühm

Uurimisrühma juht: **Tarmo Soomere**, juhtivteadur, professor

Uurimisrühma liikmed: vanemteadur Nadezhda Kudryavtseva; teadurid Nicole Delpeche, Katri Pindsoo, Andrus Räämet, Bert Viikmäe ja Andrea Giudici; kommunikatsioonispetsialist Ebe Pilt; doktorandid Maris Eelsalu ja Rain Männikus.

Lainetuse dünaamika labor (wavelab.ioc.ee) loodi 2009. a tagamaks adekvaatne täppisteaduslik tugi rannikutehnika-alasele teadus- ja õppetööle ning rakendustele. Sihiks on sulandada tervikuks merelainete dünaamika, lainetuse klimatoloogia ning teiste rannikupiirkonda mõjutavate protsesside uuringud. Labori teadustöö keskendub komplekssetele ja mittelineaarsetele nähtustele pinna- ja siselainete dünaamikas ja rannikutehnikas ning matemaatiliste meetodite rakendamisele neis valdkondades.

Peamised töösuunad:

- pinnalainete modelleerimine, lainekliima ja inimtekkeliste (laeva)lainete uuringud

- ekstreemsete üksiklainete (hiidlainete), lainetuse tingimuste ja veetasemete problemaatika
- lainetusega seotud nähtused rannikutehnikas (laineaju, lainerünnak)
- veemasside ja rannasetete dünaamika Lagrange'i vaatekohast
- rannikute funktsioneerimise teooria, rannikupiirkonna integreeritud haldus
- merelt lähtuvate ohtude kvantifitseerimine ja minimeerimine

Viimastel aastatel on labori kompetents ulatuslikult laienenud mitmesuguste kaugseire meetodite rakendamise suunas; seda nii fundamentaaluuringute tasemel (mitmesugused signaalifiltrid) kui ka praktiliste ülesannete lahendamiseks nagu rannas toimuvate muutuste kvantifitseerimine või avamerelainetuse omaduste analüüs. Põnevaid teadustulemusi on saadud näiteks siselainete peamiste omaduste klimatoloogias erinevates šelfimeredes (Läänemeri, Vahemeri, Ohhoota meri), veetaseme trendide, ekstreemumite ja klimatoloogia vallas ning Läänemere tuulelainetuse omaduste määratlemisel satelliitaltimeetria vahenditega.

Olulisemad projektid:

- IUT33-3 "Lainetuse dünaamika ja rannikutehnika" 2015–2020.
- Tempus SESREMO project "Strengthening education in space-based remote sensing for monitoring of eco systems in Israel, Azerbaijan, Kazakhstan" (543720-TEMPUS-1-2013-1-DE-TEMPUS-JPCR, 01.11.2013–31.10.2017)
- ERA.Net RUS Plus, "The impact of EXtreme events of future climates on the marine ecOSYSTEM in the Baltic and Barents Sea" (EXOSYSTEM), ERA-Net RUS Plus /grandileping nr 4-8/16/1 (22.02.2016), 2016–2018.
- Growth and innovation in the ocean economy: Baltic Sea Checkpoint. Sebastian Checkpoints – Lot 3 Baltic" of the call MARE/2014/09, 2015-2018.
- ERA-NET FLAG-ERA 2016. a rahvusvahelise ühiskonkursi ühisprojekt „Large scale experiments and simulations for the second generation of FuturICT" (FuturICT 2.0), 01.01.2017–31.12.2019

Wave Engineering Research Group

Head of the group: **Tarmo Soomere**, Lead Researcher, Professor

Members of the group: Senior Researcher Nadezhda Kudryavtseva; Researchers Nicole Delpeche, Katri Pindsoo, Bert Viikmäe, and Andrea Giudici; Communication Officer Ebe Pilt; PhD students Maris Eelsalu and Rain Männikus

The laboratory (wavelab.ioc.ee) was formed on 01.01.2009 to promote and provide a structure for research in water waves and coastal engineering within the Department of Mechanics and Applied Mathematics, Institute of Cybernetics. The laboratory was a part of the Centre of Nonlinear Studies (one of Estonian Centre of Excellence) in 2009–2016 and now is one of the core labs of the Department of Cybernetics.

The team focuses on complex and nonlinear phenomena in wave dynamics and coastal engineering, and the applications of mathematical methods in wave studies. The scope of research involves, long wave theory and applications (with emphasize on fast-ferry waves, shallow-water solitons, set-up and run-up phenomena, tsunami research etc), surface wave modelling, wave climate studies, and wave-driven phenomena in coastal engineering, with application to integrated coastal zone management.

Rapidly emerging new foci are the use of Lagrangian transport of different substances in marine environment for marine and maritime spatial planning, adequate description of hydrodynamic extremes, and preventive methods for mitigation of marine-induced hazards. Recently, our

competence has substantially expanded towards the use of various remote sensing methods for studies of both fundamental questions and applied problems.

The performed research has established several unexpected properties of internal wave fields in semi-enclosed seas such as the Baltic Sea, Mediterranean Sea and Sea of Okhotsk and made it possible to quantify changes in the main properties of surface waves in the Baltic Sea.

Essential projects:

- IUT33-3 “Wave dynamics for coastal engineering and management” 2015–2020.
- Tempus SESREMO project “Strengthening education in space-based remote sensing for monitoring of eco systems in Israel, Azerbaijan, Kazakhstan” (543720-TEMPUS-1-2013-1-DE-TEMPUS-JPCR, 01.11.2013–31.10.2017).
- ERA.Net RUS Plus, “The impact of EXtreme events of future climates on the marine ecOSYSTEM in the Baltic and Barents Sea” (EXOSYSTEM), ERA-Net RUS Plus 4-8/16/1 (22.02.2016), 2016–2018.
- Growth and innovation in the ocean economy: Baltic Sea Checkpoint. Sebastian Checkpoints – Lot 3 Baltic” of the call MARE/2014/09, 2015-2018.
- ERA-NET FLAG-ERA „Large scale experiments and simulations for the second generation of FuturICT“ (FuturICT 2.0), 2017–2019

Süsteemibioloogia uurimisrühm

Uurimisrühma juht: vanemteadur **Marko Vendelin**

Uurimisrühma liikmed: vanemteadur Rikke Birkedal; teadurid Mari Kalda, Niina Karro ja Martin Laasmaa; doktorant Jelena Branovets.

Süsteemibioloogia laboratoorium tegutseb biofüüsika ning bioenergeetika vallas, keskendudes südamerakus toimuvate protsesside uurimisele. Kasutades nii eksperimentaaltööd kui matemaatilist modelleerimist uuritakse rakusisest kompartmentatsiooni ning difusioonitakistusi ning nende mõju rakuenergeetikale; mitokondrite funktsionaalse struktuuri mõju rakuhingamisele; energia ülekande mehhanisme rakkudes ning südameraku mehaanika ning energeetika omavaheline seost.

Südamelihसरakus on kaht tüüpi difusioonitaksistusi, mis arvatavalt mängivad suurt rolli energia ülekandes, signaliseerimises, apoptootiliste faktorite ja reaktiivsete hapniku radikaalide jaotuses. Difusioonitaksistuste tuvastamiseks ja jaotuse määramiseks südamelihसरakus stimuleeriti roti permeabiliseeritud südamelihसरaku mitokondriaalset hingamist rakku ümbritseva lahuse ADP kontsentratsiooni muutmise teel ning mõõdeti samaaegselt NADH autofluorestsentsi, mis on sõltuvuses hingamismääraga. Leiti, et roti permeabiliseeritud südamelihसरakkudes moodustab mitokondrite välismembraan poole üleüldisest difusioonitaksistusest ning teine pool üleüldisest difusioonitaksistusest asetseb mitokondrite välismembraani ja raku välise lahuse vahel.

Kaltsiumi kontsentratsiooni muutus elektromehaanilise sidestuse ajal reguleerib südameraku kokkutõmbumist ja lõõgastumist. Kaltsiumi kontsentratsiooni muutvad kaltsiumivood on omavahel ülitäpselt tasakaalustatud, kuid südamehaiguse korral on see tasakaal muutunud ja südame tootlikus langeb. Töötasime välja meetodi, mille abil määrasime erinevate kaltsiumvoogude dünaamikat ja panust kaltsiumi kontsentratsiooni muutusse vikerforelli südamelihसरakus elektromehaanilise sidestuse jooksul. Loodud kaltsiumi tasakaalu matemaatiline mudel, mis kombineerib rakumembraani läbivate kaltsiumvoogude elektrofüsioloogilisi mõõtmisi aktsioonipotentsiaali vältel ja nende mõju kaltsiumi poolt vahendatud fluorestsentsi signaalile.

Uurimisrühma väljundiks on ka vabatarkvara kirjutamine rühmas väljatöötatud analüüsitehnikatele nagu näiteks dekonvolutsioon konfokaal mikroskoopia piltide parendamiseks, sarkomeeri pikkuse reaajas määramise algoritm. Arendatud tarkvara on tekitanud huvi erinevate firmade seas, kes on soovinud rühmas väljatöötatu rakendamisest oma toodetes.

Tähtsamad projektid:

- IUT33-7: Mikrostruktuuri, energiametabolismi ja sooritusvõime vahelised seosed südames
- European Union Framework Programme Horizon 2020 COST Action CA15203: Mitochondrial mapping: Evolution - Age - Gender - Lifestyle – Environment.
- European Union Framework Programme Horizon 2020 COST Action CA16225: Realising the therapeutic potential of novel cardioprotective therapies.

Süsteemibioloogia uurimisrühma koostööpartner:

- Koostöö: Craig Lygate, Division of Cardiovascular Medicine, Radcliffe Department of Medicine. Wellcome Trust Centre for Human Genetics, University of Oxford, Oxford, United Kingdom.

Systems Biology Research Group

Head of the group: **Marko Vendelin**, Senior Researcher

Members of the group: Senior Researcher Rikke Birkedal; Researchers Mari Kalda, Niina Karro, and Martin Laasmaa; PhD student Jelena Branovets.

The Laboratory of Systems Biology in 2007 with the help of the funding from Wellcome Trust granted to PI. We use interdisciplinary approaches to tackle questions in cardiac physiology. For that, we have formed a team of researchers with backgrounds in biophysics, biology, and applied mathematics/physics. As a result, we are able to approach scientific questions on different scales, from organ to molecular level, using combinations of different experimental and theoretical techniques by focusing on quantitative analysis of the data.

We studied diffusion in cardiomyocytes by tracking the movement of fluorescent molecules using extended raster image correlation spectroscopy (RICS). Our results suggest that diffusion barriers are arranged in a 3D lattice with relatively small openings and that macromolecular crowding between the barriers is small. From the analysis of autofluorescence response, we demonstrated that mitochondrial outer membrane and cytosolic diffusion barriers reduce the movement of molecules in similar extent. In our laboratory, in addition to wild-type animals, we study effects of creatine deficiency in collaboration with Prof. Neubauer's group to establish the role of creatine kinase shuttle in the heart.

We are studying excitation-contraction coupling (ECC) and mechanical contraction of the heart by focusing on interaction between processes. Mechanical contraction is initiated through entry of calcium ions into the cell. We developed a method to quantify the Ca^{2+} influx pathways. The novelty of our method lies in the mathematical analysis of measured transsarcolemmal Ca^{2+} currents and their impact on the corresponding Ca^{2+} transient during gradual inhibition of the currents in action potential (AP) clamp. The developed method resolves the major problem on how to separate highly interconnected fluxes in AP clamp and allows to study Ca^{2+} fluxes in cardiomyocytes under conditions close to *in vivo*.

We have been active in the development of new techniques and distribute them as open-source tools: deconvolution software for confocal imaging, symbolic flux analysis for genome-scale metabolic networks, and real-time sarcomere length estimation techniques. This development work has raised

interest in companies with an outreach of incorporating our algorithms and software into their products.

Essential projects:

- IUT33-7 Relationships between microstructure, energy transfer, and performance in heart, 2015-2020.
- European Union Framework Programme Horizon 2020 COST Action CA15203: Mitochondrial mapping: Evolution - Age - Gender - Lifestyle – Environment.
- European Union Framework Programme Horizon 2020 COST Action CA16225: Realising the therapeutic potential of novel cardioprotective therapies.

Systems Biology Research Group collaboration

- Craig Lygate, Division of Cardiovascular Medicine, Radcliffe Department of Medicine, Wellcome Trust Centre for Human Genetics, University of Oxford, Oxford, United Kingdom.

Pooljuhtide füüsika uurimisrühm

Uurimisrühma juht: **Jüri Krustok**, professor

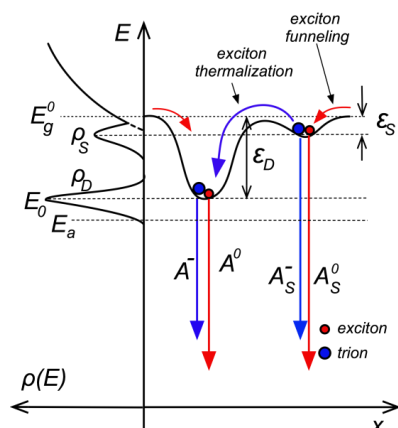
Uurimisrühma liikmed: dotsendid Arvo Mere, Raavo Josepson; teadur Veljo Sinivee

Pooljuhtide füüsika grupi teadustöö toimub tihedas koostöös TTÜ Materjali- ja keskkonnatehnoloogia instituudiga. Enamus töid sisaldavad päikesepatareide absorbermaterjalide elektrilisi ning optilisi uuringuid ning uute pooljuhtmaterjalide otsinguid. Põhilised uurimismeetodid on madalatemperatuurne fotoluminesents, Raman spektroskoopia, XRD, XPS, Halli efekt, mahtuvusspektroskoopia ja modulatsioonspektroskoopia. Uuritud materjalideks on $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_4$, ZnO , TiO_2 , CuInSe_2 , MoSe_2 , SnS , Sb_2S_3 , CdTe , WS_2 , Cu_2SnS_3 . 2017. aastal algas ka hoogne uurimistöö uute ning perspektiivsete 2D materjalide alal ning esmakordselt Eestis õnnestus ka kasvatada esimesed MoS_2 monokihid CVD meetodil.

2017. aastal ilmus kokku 11 artiklit erinevates kõrgetasemelistes ajakirjades. Nendest olulisim valmis koostöös Tartu ja USA teadlastega:

- J. Krustok, R. Kaupmees, R. Jaaniso, V. Kiisk, I. Sildos, B. Li, Y. Gong. Local strain-induced band gap fluctuations and exciton localization in aged WS_2 monolayers. *AIP Advances*, 7 (2017) 065005.

Selles töös uuriti WS_2 monokihte ning näidati esmakordselt, et vananemise käigus tekivad monokihi alla kõrgendikud ning nendes kohtades ilmuvad spektritesse uued maksimumid. Nende seletamiseks pakuti välja eksitonide ja trionite lõksustumise mudel (vt. joonis ___).



Lokaliseerunud eksitonide ja trionite mudel vananenud WS_2 monokihtides, mis seletab erinevate kiirgusribade tekkimist antud materjalis.

Semiconductor Physics Research Group

Head of the group: Jüri Krustok, Professor

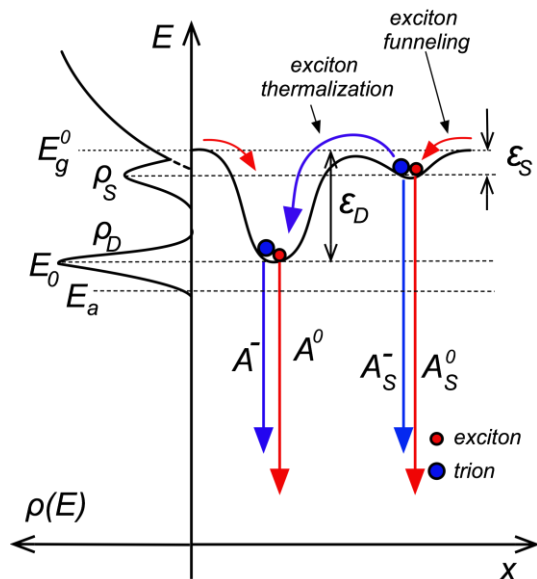
Members of the group: Associate professors Arvo Mere and Raavo Josepson; Researcher Veljo Sinivee

Research in the Semiconductor Physics group is carried out in close collaboration with Department of Materials and Environmental Technology. Most studies involve optical and electrical characterization of absorber materials for solar cells and search of new semiconductor materials. Low temperature photoluminescence spectroscopy, Raman spectroscopy, XRD, XPS, Hall effect, capacitance spectroscopy and modulation spectroscopy are the main experimental methods. Studied materials include $\text{Cu}_2\text{ZnSn}(\text{Se}_x\text{S}_{1-x})_4$, ZnO , TiO_2 , CuInSe_2 , MoSe_2 , SnS , Sb_2S_3 , CdTe , WS_2 , Cu_2SnS_3 . In 2017 we also started a new research on 2D materials and succeeded to grow first MoS_2 monolayers by using CVD method.

In 2017, a total of 11 papers were published in various high-level journals. The most important of these is published in close cooperation with the scientists from Tartu and the United States:

- J. Krustok, R. Kaupmees, R. Jaaniso, V. Kiisk, I. Sildos, B. Li, Y. Gong. Local strain-induced band gap fluctuations and exciton localization in aged WS_2 monolayers. *AIP Advances*, 7 (2017) 065005.

In this work, the aged WS_2 monolayer was investigated and for the first time it was shown that in the course of aging monolayer nanocaps are formed, and in these places new peaks appear in the spectra. A model for exciton and trion trapping was proposed to explain them (see Fig. ___)

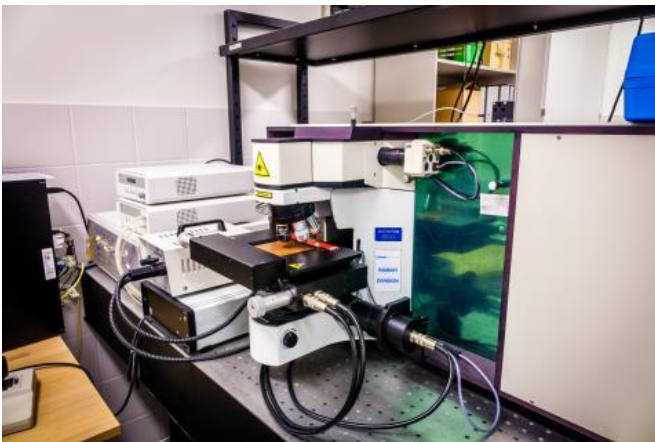


Proposed recombination model for localized excitons and trions in aged WS_2 monolayers. Density of deep ρ_D and shallow ρ_S localized states are shown. The origin of double PL peaks is explained.

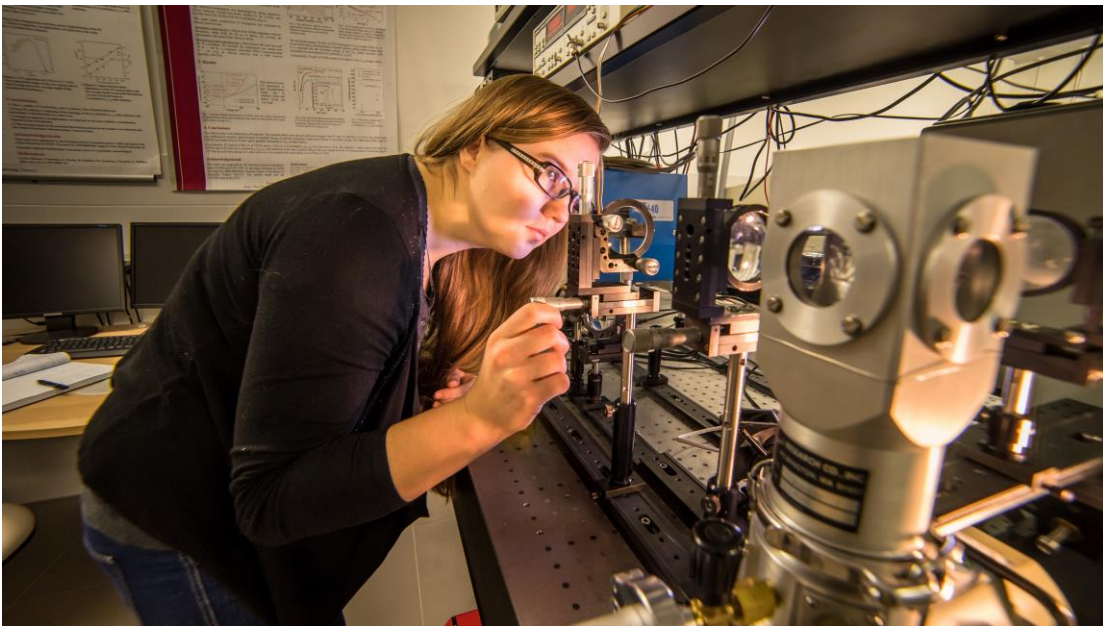
Fotod:



Madaltemperatuursetts- ja modulatsioonspektroskoopilised uuringud.
Low temperature photoluminescence and modulation spectroscopy equipment.



μ -Raman spectrometer HORIBA LabRAM 800HR



**Pooljuhtide füüsika uurimisrühma koostöö:
Semiconductor Physics Research Group Collaboration:**

- Department of Physics and Electrical Engineering, Northumbria University, Newcastle upon Tyne NE1 8ST, UK
- Department of Physics, SUPA, University of Strathclyde, Glasgow G4 0NG, UK
- Ural Federal University, Ekaterinburg 620002, Russia
- Institute of Solid State Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg 620990, Russia
- Scientific-Practical Material Research Centre of the National Academy of Sciences of Belarus, P.Brovki 19, Minsk 220072, Belarus
- Catalonia Institute for Energy Research, Jardins de les Dones de Negro 1, Sant Adria de Besos, Spain
- Institute of Physics, University of Tartu, W. Ostwaldi 1, 50411 Tartu, Estonia
- Department of Applied Physics, Aalto University, P.O. Box 11100, 00076 Aalto, Finland
- Department of Mechanical Engineering, Villanova University, 800 Lancaster Avenue, Villanova, Pennsylvania 19085, USA
- Department of Chemistry, Rice University, Houston, Texas 77005, USA



Teoreetilise füüsika uurimisrühm

Uurimisrühma juht: **Jaan Kalda**, professor

Uurimisrühma liikmed: dotsendid Mihhail Klopov, Tanel Mullari, Vladislav-Veniamin Pustõnski ja Pavel Suurvarik, emeritprofessor Rein-Karl Loide; doktorandid Siim Ainsaar, Mihkel Heidelberg, Stephanie Rendon De La Torre.

Uurimisrühma peamised kompetentsid on järgmised:

- Päikesepatareide tehnoloogiaga seonduvalt uuritakse odavate ja efektiivsete **fotogalvaaniliste materjalide omadusi**. Üheks uurimissuunaks on kvant-keemilisel ja tihedus-funktsionaali teorial tuginevate mudelite abil uute fotogalvaaniliste materjalide (hübriid-perovskiid ja CZTS) põhiliste füüsikaliste parameetrite arvutamine.
- Materjalitehnoloogiliste lahenduste jaoks on oluline mõista **lokaliseeritud võnkumisi tahkises** ja LLM-i (Linear Localized Modes) füüsikalisi mehhanisme. Oleme selgitanud välja ILM-i (Intrinsic Localized Modes) tekitamise tingimusi erinevates kolmemõõtmelistes kristallides ja võrrelnud teooriat eksperimendiga.
- **Satelliitide tegevuse modelleerimine ja planeerimine**. Nanosatelliidi (CubeSat) projekti raames oleme koostanud satelliidi päikeseenergia bilansi mudeli ja ennustanud kommunikatsiooniaknaid.
- Töörühma üheks olulisemaks töösuunaks on **turbulentse segunemise teoreetiline analüüs ja modelleerimine**. Kasutatavateks töövahenditeks on Lagrange'i venitusstatistika Fokker-Planck'i võrrandid, statistiliste Lagrange'i dünaamika invariandid, juhuslike maatriksite korrutised, segunemiseväljade statistilise topograafia, stohhastilised „pagariteisendused“ ülesande dimensionaalsuse alandamiseks. Koostöös lainetuse dünaamika laboriga oleme modelleerinud merepinnal edasikanduvate osakeste klasteriseerumist võttes arvesse veevoolu ja tuule koosmõju. Koostöös Marseille ülikooliga oleme uurinud segunemist poorses keskkonnas, vt. Phys. Rev. Fluids (2017) 2, 104502 (Altmetrix skoor 9).
- Töörühma kompetentsiks on ka **majandusfüüsika, st. majanduse uurimine füüsikaliste meetoditega**. Viimastel aastatel oleme uurinud majandusvõrgustiku mastaabivabu omadusi tuginedes Swedbanki andmetebaasile ja oleme näidanud, et sellel võrgustikul on multifraktaalsed omadused, vt Eur. Phys. J. B (2017) 90: 234 (Altmetrix skoor 5).

- Suurt tähelepanu on pööratud **füüsika hariduse populariseerimisele** ja loomingulisust nõudvate probleemide lahendusmeetoditele pühendatud **õppematerjalide väljatöötamisele**. Lehel <https://www.ioc.ee/~kalda/ipho/> leiduvad materjalid on võitnud rahvusvaheliselt suure populaarsuse, keskmine allalaadimiste arv on ca 1000 faili päevas. 2017 a mais korraldati TFU eestvedamisel esimene Euroopa füüsikaolümpiaad, kus osales 91 võistlejat 20 riigist, vt ka Europhysics News, 48, lk 5-6 (2017).

Teoreetilise füüsika uurimisrühma koostöö:

1. Tartu Ülikool, Füüsika Instituut, tahkisefüüsika labor (Vladimir Hižnjakov)
2. Tartu Ülikool, Füüsika Instituut, väljateooria labor (Aleksandr Pishtshev, Teet Örd)
3. Tartu Ülikool, Füüsika Instituut, füüsikalise optika labor (Peeter Saari, Heli Lukner)
4. Tartu Ülikool, Füüsika Instituut, plasmafüüsika labor (Matti Laan)
5. Institute for Energy Technology (Kjeller, Norway), Solar Energy Department (Dr. Karazhanov Smagul)
6. Bialystok University of Technology, Poland (Zbigniew Bartosiewicz, Malgorzata Wyrwas and Ewa Pawluszevicz)
7. IRPHE, University of Marseille, France (Emmanuel Villermaux)

Theoretical Physics Research Group

Head of the group: Jaan Kalda, Professor

Members of the group: Associate Professors Mikhail Klopov, Tanel Mullari, Vladislav-Veniamin Pustychski and Pavel Suurvarik, Professor Emeritus Rein-Karl Loide; PhD students Siim Ainsaar, Mihkel Heidelberg, Stephanie Rendon De La Torre.

Our competence:

- Rapidly developing solar cell technology has brought to the forefront the problem about **the properties of inexpensive and efficient photovoltaic materials**. One of our research topics is calculation of the basic physical parameters of new photovoltaic materials (hybrid-perovskite and CZTS) using quantum chemical and density functional theory methods. For material technology applications, it is important to understand the **localized oscillations in solids** and the physical mechanisms of LLM (Linear Localized Modes); we have determined the conditions of excitation of ILM (Intrinsic Localized Modes) in various three-dimensional crystals and compared theory with experiment.
- The group has also competence in **orbital modelling and planning for satellites**. Within nanosatellite project „CubeSat“, we have developed a solar energy balance model, and predicted the positions of its communication windows.
- One of our main research topics is **theoretical analysis and modelling of turbulent mixing**. Our research tools include Fokker-Planck equations for Lagrange stretching statistics, statistical Lagrange dynamics invariants, stochastic matrix products, statistical topography of passive fields, stochastic baker’s map for reducing dimensionality of the problems. In collaboration with Wave Dynamics Laboratory, we have modelled litter patchiness in marine environment as a result of coupling between the water flow and wind drag. In cooperation with University of Marseille, we have studied mixing in a porous environment, see Phys. Rev. Fluid (2017) 2, 104502 (Altmetrix score 9).
- The group has been also involved in **econophysics research**. We have studied scale-free properties of economic networks based on the database of wire transfers of Swedbank – these appear to be multifractal networks, see Eur. Phys. J. B (2017) 90: 234 (Altmetrix score 5).
- The group has been **developing physics study materials**, mostly focusing on methods for solving creative problems, and **popularizing physics education**. The materials available at <https://www.ioc.ee/~kalda/ipho/> have won a great international recognition, with an average

download of about 1,000 files per day. In 2017, TFU convened the first European Physics Olympiad, with 91 participants from 20 countries, see also Europhysics News, 48, p. 5-6 (2017).

- **Theoretical Physics Research Group collaboration**
- 1. Laboratory of Solid State Theory, Institute of Physics, University of Tartu, Estonia (Vladimir Hižnjakov).
- 2. Laboratory of Field Physics, Institute of Physics, University of Tartu, Estonia (Aleksandr Pishtshev, Teet Örd)
- 3. Laboratory of Physical Optics, Institute of Physics, University of Tartu, Estonia (Peeter Saari, Heli Lukner)
- 4. Laboratory Plasma Physics, Institute of Physics, University of Tartu, Estonia (Matti Laan)
- 5. Institute for Energy Technology (Kjeller, Norway), Solar Energy Department (Dr. Karazhanov Smagul)
- 6. Bialystok University of Technology, Poland (Zbigniew Bartosiewicz, Malgorzata Wyrwas and Ewa Pawluszevicz)
- 7. IRPHE, University of Marseille, France (Emmanuel Villermaux)

Pöördülesannete ja stohhastiliste meetodite uurimisrühm

Uurimisrühma juht: **Jaan Janno**, professor

Uurimisrühma liikmed: professor Lassi Päivärinta, dotsent Margus Pihlak, assistent Kari Kasemets ja doktorant Nataliia Kinash.

Töörühmas tegeletakse pöördülesannete analüüsi ja stohhastiliste meetodite arendamisega.

Peamised uurimissuunad:

- *Pöördülesanded murrulisi tuletisi sisaldavatele võrranditele.* Vaadeldakse pöördülesandeid lineaarsetele ja mittelineaarsetele murruliste tuletistega diferentsiaalvõrranditele nii klassikalises (siledas) kui ka nõrgas (mittesiledas) seades. Taolised ülesanded tekivad difusiooni ja mehaaniliste protsesside modelleerimisel poorsetes, fraktaalsetes ja bioloogilistes keskkondades. Üks ülesannete klass seisneb koefitsientide ja allikafunktsioonide määramises hetk- või integraaltingimuste põhjal, mis on ette antud vastavate otseste ülesannete lahendite jaoks. Teises ülesannete klassis määratakse üldistatud murrulistes tuletistes sisaduvaid tuumi rajapinnal tehtud mõõtmiste alusel.
- *Stohhastilised meetodid pöördülesannete käsitlemisel.* Vaadeldakse pöördülesandeid fraktsionaalsele Browni liikumisele (FBL) ja Bayesi pöördülesandeid. Konkreetseid probleeme on: FBLi Hursti parameetri määramine kasutades erinevat fraktsionaalset müra ja lahendades pöördülesandeid vastavate fraktsionaalsete difusioonivõrrandite jaoks, stabiilsete protsessidega seotud eeljaotuste konstrueerimine Bayesi pöördülesannete jaoks, mis säilitavad servi eesmärgiga määrata täpsemini keskkondade anomaaliaid. Rakenduste spekter on lai: alates meditsiinilisest kuvamisest ja atmosfääri kaugeirest kuni finantsmatemaatikani.
- *Mitteparameetriliste statistiliste meetodite väljatöötamine.* Arendatakse mitteparameetriliste statistiliste meetodite aluseks olevat matemaatilist aparatuuri ja rakendatakse neid meetodeid keskkonna- ja ehitustehnikas. Rakendusala koostöö toimub TTÜ inseneriteaduskonna ja Tartu Ülikooli uurimisrühmadega

Hiljutisi tulemusi

- Fraktsionaalses difusioonivõrrandis sisalduva tuletise järgu ja allikafunktsiooni üheaegse määramise pöördülesande lahendi ühesuse tõestus juhul, kui ette on antud olekumuutuja väärtused lõpphetkel.

- Ionosfääri kihi F_2 maksimumi pikaajalise trendi kirjeldamine Bayesi statistika abil ja selle seostamine süsihappegaasi ning metaani taseme muutustega atmosfääris.

Põhilised projektid

- ERC advanced grant, “Inverse problems (Project INVPROB)”, Lassi Juhani Päivärinta, (kuni 2016).
- PUT1093 Stohhastilised meetodid pöördülesannete käsitlemisel rõhuasetusega fraktsionaalse difusiooni mudelitele, 2016–2019.
- PUT568 Pöördülesanded murdteletisi sisaldavatele paraboolsetele diferentsiaalvõrranditele, 2015–2018.

Inverse Problems and Stochastic Methods Research Group

Head of the group: **Jaan Janno**

Members of the group: Professor Lassi Päivärinta, Associate Professor Margus Pihlak, Assistant Kari Kasemets and Early Stage Researcher Nataliia Kinash.

The research is focused on analysis of inverse problems as well as on development of stochastic methods for inverse problems and other applications. Main directions of research are:

- *Inverse problems for equations containing fractional derivatives.* Inverse problems for linear *Stochastic methods in inverse problems.* Inverse problems for fractional Brownian motion (FBM) and Bayesian inverse problems are considered. The particular problems are: the reconstruction of the Hurst parameter of FBM making use of different fractional noises and via solution of inverse problems of related fractional diffusion equations, construction of prior distributions with stable processes for Bayesian inverse problems that preserve edges in order better to detect anomalies. Applications are manifold starting from medical imaging and atmospheric remote sensing and ending up to mathematics of finance.
- *Elaboration of nonparametric statistical methods.* Theory of nonparametric statistical methods is developed and these methods are applied in environmental and building engineering. Application-oriented collaboration is performed with research groups of school of engineering of TTÜ and University of Tartu.

Some recent results

- Proof of simultaneous identifiability of an order of derivative and a source term in a fractional diffusion equation (FDE) from final measurements.
- Description of long trends of maximum of ionosphere layer F_2 by means of Bayesian statistical inference and associating them with change of levels of carbon dioxide and methane in the atmosphere.

Main grants:

- ERC advanced grant, “Inverse problems (Project INVPROB)”, Lassi Juhani Päivärinta, (until 2016).
- PUT568 Inverse problems for parabolic differential equations with fractional derivatives, 2015–2018.
- PUT1093 Stochastic methods in inverse problems with special focus on fractional diffusion, 2016–2019.

**Pöördülesannete ja stohhastiliste meetodite uurimisrühm teaduskoostöö:
Inverse Problems and Stochastic Methods Research Group collaboration:**

- M. Sini (RICAM),
- K. Astala (University of Orleans),
- M. Lassas, P. Piiroinen (University of Helsinki),
- J. Christiina (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne)

Matemaatilise analüüsi uurimisrühm

Uurimisrühma juht: vanemteadur **Gert Tamberg**

Uurimisrühma liikmed: doktorant Olga Orlova

Teadustöö põhisuunad:

1. Uuritakse üldistatud Shannoni valimoperaatoreid, mis võimaldavad esitada funktsioone rittaarendusena, kus kordajateks on funktsiooni väärtused sõlmedes ning baasifunktsioonid saadakse teatud tuumafunktsiooni nihetena. On defineerinud Kantorovichi-tüüpi valimread, kus arenduse kordajateks on võetud funktsiooni väärtuste asemel sõlmedes selle funktsiooni väärtuste kaalutud keskmised vastava sõlm mingis ümbruses, mida esitakse Fejer-i singulaarsete integraalidega.
2. Uuritakse valimoperaatorite rakendusi signaalitöötluses, eelkõige pildinduses, kus piltide suurendamise ja vähendamise algoritme on loomulik esitada valimriidade abil. Samuti uuritakse valimriidade rakendusvõimalusi suure dünaamilise ulatusega piltide esitamisel ja valimoperaatorite rakendusi aegriidade analüüsis ning lühiajaliste prognooside teostamisel.

Põhitulemused 2017. aastal

1. Uurisime piiratud ribaga tuumaga valimoperaatoreid ning üldistasime Kantorovichi-tüüpi valimoperaatoreid, kasutades Fejeri singulaarseid integraale, mis võimaldas saavutada parema koonduvuskiiruse siledade funktsioonide korral. Uurisime valimoperaatoritega lähendamise kiirusi tõkestatud variatsiooniga funktsioonide korral ja hindasime Kantorovichi-tüüpi valimoperaatorite norme. Selgitasime valimoperaatorite lähendusomadusi tugevalt asümmeetriliste tuumade korral.
2. Kasutasime valimriidadel põhinevaid piltide suurendamise algoritme superresolutsiooni algoritmides algjärgi leidmisel.
3. Uurisime valimriidade kasutamist aegriidade analüüsis ning lühiajaliste prognooside tegemisel. Konkreetse näitena kasutasime valimriidu autonoomsete sensorite korral kasutatava energia hulga prognoosimisel.
4. Töörühma liikmed olid kaasatud rahvusvahelise konverentsi SampTA 2017 (12th International Conference „Sampling Theory and Applications (SampTA 2017)”, July 3 – 7, 2017, Tallinn, Estonia. <http://sampta2017.ee/>) organiseerimiskomisjoni töösse.

Matemaatilise analüüsi uurimisrühma teaduskoostöö:

- iCV Research Group, Tartu Ülikool (Dr. Gholamreza Anbarjafari)
- Institut Mines-Telecom, Telecom ParisTech, Paris, France (Dr. Cagri Ozcinar)
- Visual Analysis of People Laboratory, Aalborg University, Denmark (Thomas B. Moeslund)
- Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituut, TTÜ (prof.Yannick Le Moullec)

Mathematical Analysis Research Group

Head of the group: Senior Researcher Gert Tamberg

Members of the group: PhD student Olga Orlova

Main directions of research are as follows:

1. We study the generalized Shannon sampling operators that mean the representations of functions in terms of series, where the expansion coefficients are its samples and expansion functions are translates of certain kernel function. In the case of Kantorovich-type sampling operators we take instead of point estimates some local averages as Fejer-type singular integrals.
2. We study applications of the generalized sampling operators in Signal Processing, especially in imaging applications, where the generalized sampling operators are a natural tool for image resampling. We also study applications in HDR imaging. We study the applications of sampling operators in time series analysis and linear prediction.

Main results in 2017

1. We studied sampling operators, defined using an even band-limited kernel function and approximation properties of generalized sampling operators in Lebesgue spaces. We generalized the Kantorovich-type sampling operators making use of Fejer-type singular integrals, which allowed us to estimate the order of approximation via a modulus of smoothness of higher order. We also estimated norms of generalized Kantorovich-type sampling operators and studied the approximation properties of generalized sampling operators in the case of functions with bounded variation and clarified approximation properties of sampling operators with not necessary even kernel, especially for sampling operators with strongly asymmetric kernels.
2. We applied image-resampling algorithms, based on sampling operators in super resolution algorithms.
3. We applied sampling operators in time series analysis and linear prediction, especially for energy prediction.
4. Members of the group participated in organizing of 12th International Conference „Sampling Theory and Applications (SampTA 2017)”, July 3 – 7, 2017, Tallinn, Estonia. <http://sampta2017.ee/>.

Mathematical Analysis Research Group collaboration:

- iCV Research Group, Tartu Ülikool (Dr. Gholamreza Anbarjafari)
 - Institut Mines-Telecom, Telecom ParisTech, Paris, France (Dr. Cagri Ozcinar)
 - Visual Analysis of People Laboratory, Aalborg University, Denmark (Thomas B. Moeslund)
 - Thomas Johann Seebecki elektroonikainstituut, TTÜ (prof. Yannick Le Moullec)
-

Rühma- ja poolrühmateooria uurimisrühm

Uurimisrühma juht: vanemlektor Alar Leibak

Uurimisrühma liikmed: emeriitprofessor Peeter Puusemp, assistent Piret Puusemp

Teadustöö ülevaade

Uurimisrühm on keskendunud rühmade ja nende endomorfismipoolrühmade vaheliste seoste ning rühmateooria rakenduste uurimisele. Eesmärk on anda tuntud lõplike rühmade klasside jaoks nende

kirjeldused endomorfismimonoidide kaudu ja uurida nende määratavust endomorfismide abil kõigi rühmade klassis. Nn. väikeste rühmade korral alustasime uurimist, millised neist on määratud oma endomorfismimonoidiga. Mitte määratud rühmade korral anda nende rühmade kirjeldused, mille endomorfismimonoid on isomorfne etteantud rühma omaga. Samuti arendatakse algoritme, et tarkvara GAP (<http://www.gap-system.org>) abil automaatselt otsustada lõpliku rühma määratavust oma endomorfismimonoidiga.

Uuritavad rakendused hõlmavad:

- mittekommutatiiivse algebra (väänatud polünoomide ringid, Dieudonne' determinant) kasutamist juhtimissüsteemide matemaatilises teoorias (koostöö Ü. Kotta ja J. Belikoviga);
- tsüklilisel rühmal või poolrühmal põhineva Diffie-Hellmani salajase võtme jaotuse uurimist.

Olulisemad tulemused

- Kasutades tarkvaras GAP olevat väikeste rühmade loetelu, näitasime, et lõplike rühmade, mille järk on väiksem kui 48 (selliseid rühmi on kokku 198), hulgas on ainult 5 rühma, mis ei ole määratud oma endomorfismimonoidiga.
- Näidati, et kolme ja enam kasutaja korral ei ole lõplikul tsüklilisel rühmal põhineva Diffie-Hellmani võtmevahetuse ühisvõtmed ühtlase jaotusega. Lisaks näidati, kuidas tuleb kõikide kasutajate isiklike võtmete valikut piirata, et ühisvõtmed oleks ühtlase jaotusega.
- Koostöös Ü. Kotta ja J. Belikoviga näidati, et Dieudonne' determinandi kasutamine võimaldas lineaarsete juhtimissüsteemide teoorias teada olevat seost süsteemi minimaalse realisatsiooni järgu määramist determinandi abil üldistada mittelineaarsetele juhtimissüsteemidele.

Osalemine Mektory satelliidiprogrammis

- Alar Leibak osaleb Mektory satelliidiprogrammis matemaatilise konsultandina (Maa magnetvälja mudeli arvutamine, täheatlase kasutamine satelliidi asukoha määramiseks, kvaternioonide ja duaalsete kvaternioonide rakendamine satelliidi asendikontrollis).

Rühma- ja poolrühmateooria uurimisrühm koostöö:

- Šauliai Ülikooli matemaatikaosakond, prof. Roma Kacinskaite

Group and Semigroup Theory Research Group

Head of the group: senior lecturer Alar Leibak

Members of the group: Professor emeritus Peeter Puusemp, assistant Piret Puusemp

The research is focused on the study of the connection between groups and their endomorphism semigroups, and the applications of group theory.

The aim is to describe some well-known classes of finite groups by their endomorphism semigroups and to decide whether a group is determined by its endomorphism semigroup in the class of all groups or not. We started to describe all *small groups*, that are determined by their endomorphism semigroups. Further, if a group G is not determined by its endomorphism semigroup, then to provide the complete list of nonisomorphic groups having the endomorphism semigroup isomorphic to that of G . As the computational group theory and the software GAP (<http://www.gap-system.org>) are becoming more popular among people working in applied algebra, we started to develop

algorithms what are able to decide automatically whether or not a given finite group is determined by its endomorphism semigroup.

Main results:

- We proved that among all groups of order up to 47 (there are 198 such groups) all but five groups are determined by their endomorphism semigroup.
- The distribution of the multi-party Diffie-Hellman common secret keys were studied if the platform group is an arbitrary finite cyclic group. As a result, it was proved that the secret keys are not uniformly distributed. Furthermore, we demonstrated how to improve the generating of users secret keys such that the common secret keys are uniformly distributed.

Group and Semigroup Theory Research Group collaboration:

- Šauliai University, department of mathematics, prof. Roma Kacinskaite

Komposiitide reoloogia uurimisrühm

Uurimisrühma juht: vanemteadur Heiko Herrmann

Uurimisrühma liikmed: insener Andres Braunbrück (PhD), doktorant Oksana Goidyk, külaliskõrge Maria Gladkova (Jacobs University Bremen, Saksamaa)

Kompetentsid:

Uurimisgrupi kompetents on lai, ulatudes olekuvõrrandite teooriast arvutisimulatsioonide, kujutiste analüüsi ja andmestiku kujutamiseni virtuaalreaalsuses. Teadusteema põhisuund on lühikesekiuliste komposiitide mehaaniliste omaduste uurimine. Tulemuste peamine rakendusvaldkond on teraskiuga armeeritud betoon – materjal, mis on kogumas populaarsust ehitussektoris. Sellise materjali mehaanilised omadused sõltuvad suuresti lühikeste kiudude orientatsioonist, mis betoonelementide valmistamisel on omakorda mõjutatud betoonisegu valuprotsessist. Just betoonisegu voolamine ühes sissesegatud kiududega määrab kiudude orientatsiooni. Katsekehade kiudude orientatsioon määratakse röntgenkiirte arvutusliku tomograafiaga, millest saadud tulemuste töötlemise järel saadakse kiudude orientatsioon. Pilditöötlemiseks on uurimisgrupp välja arendanud oma tarkvara. Betoonelementide valuprotsessi arvutis simuleerimiseks kasutatakse arvutusliku vedelikumehaanika (CFD) tarkvara, mis on seotud kiudude orientatsiooni kirjeldava võrrandiga. Valmis katsekehade painde- ja lõhenemise katset simuleeritakse arvutis kasutades materiaalseid punkte simuleerivaid diskreetseid elemente. Teoreetilise poole pealt on uurimisgrupp tuletanud olekuvõrrandid, mis kirjeldavad kiudude orientatsiooni jaotuse mõju kiudbetooni mehaanilistele ja termilistele omadustele.

Ülalmainituga on seotud uurimistöö stereoskoopse pool-immersiivse 3D visualiseerimise (virtuaalne reaalsus) vallas, mida tehakse enda väljatöötatud süsteemil „Kyb3“. Süsteemi peamine ülesanne on visualiseerida kiudude arvutatud tomograafiat ja CFD simulatsioonide tulemusi. Süsteem võimaldab visuaalselt kontrollida ja võrrelda mõõtmiste ning simulatsioonide tulemusi.

Projektid

Heiko Herrmann, PUT1146 "Kiudbetoon-komposiidi reoloogia ja selle mõju pragude käitumisele (1.01.2016–31.12.2019)"

Komposiitide reoloogia uurimisrühma koostööpartnerid:

- Inseneriteaduskond, Ehituse ja arhitektuuri instituut, Ehitusprotsessi uurimisrühm
- Inseneriteaduskond, Ehituse ja arhitektuuri instituut: Konstruksiooni- ja vedelikumehaanika uurimisrühm
- Physics Department at TU Chemnitz, Saksamaa

Rheology of Composites Research Group

Head of the group: senior researcher Heiko Herrmann

Members of the group: engineer Andres Braunbrück (PhD), PhD student Oksana Goidyk, visiting MSc student Mariia Gladkova (DAAD-RISE intern Jacobs University Bremen, Germany)

Competences:

The competences of the group have a broad range, from constitutive theory over numerical computer simulations and image analysis to virtual reality visualization of scientific data. The main research topic is concerned with the mechanical properties of composites containing short fibres. The core application is steel fibre reinforced concrete, a construction material, whose use is gaining momentum in the building industry. The mechanical properties largely depend on the orientation of the short fibres, which in turn are influenced by the production process of the structural parts made of the fibre concrete. In particular the flow of the fresh concrete mass, which is mixed with the fibres, determines the fibre orientations. Analysis of fibre orientations in experiment samples is done by x-ray computed tomography, fibre orientations are then extracted from the tomography. The group has developed its own software for this purpose. The production process of concrete parts, in particular the casting is simulated using computational fluid dynamics (CFD) coupled to an orientation equation. Further, simulations of bending tests and split tests are performed with particle based discrete element simulations. On the theoretical side, the group has developed constitutive models for the influence of the fibre orientations distribution on the mechanical and thermal properties of the fibre concrete.

Connected to this is the research on stereoscopic semi-immersive 3D visualization (virtual reality), which is conducted on the self developed „Kyb3“ system. The main task of the system is the visualization of the computed tomography of fibre concrete and CFD simulations. It is used to visually inspect measurement and simulation results.

Projects:

Heiko Herrmann, PUT1146 "Rheology of short fibre reinforced cementitious composites and influence on fracture behaviour (1.01.2016–31.12.2019)"

Rheology of Composites Research Group cooperation:

- School of Engineering, Department of Civil Engineering and Architecture, Building Lifecycle Research Group
- School of Engineering, Department of Civil Engineering and Architecture, Mechanics of Fluids and Structures Research Group
- Physics Department at TU Chemnitz, Germany



Fotoelastsuse uurimisrühm

Uurimisrühma juht: vanemteadur Johan Anton

Uurimisrühma liikmed: vanemteadur Pearu Peterson, konsultant Hillar Aben (DSc)

Fotoelastsuse uurimisrühm on rohkem kui 50 aasta jooksul välja töötatud teooria, meetodika ja mõõtmistehnoloogia jääkpingete määramiseks keeruka kujuga klaastoodetes. See tehnoloogia, fotoelastsustomograafia, on realiseeritud automaatpolariskoobis AP, mis on varustatud intelligentsete algoritmidega jääkpingete mõõtmiseks joogiklaasides, pudelites, elektrilampides, optiliste kiudude toorikutes, meditsiinilistes ampullides jne. Jääkpingete mõõtmiseks arhitektuurilistes klaasides ja autoklaasides on välja töötatud hajunud valguse meetodil baseeruv polariskoop SCALP. Ülaloodud polariskoope kasutavad klaasitehased üle kogu maailma. Klaasi valmistajad tulevad turule uute klaastoodetega, milles olevad jääkpinged on väga spetsiifilised. Uurimisrühm jätkab uute meetodikate välja töötamist jääkpingete määramiseks sellistes klaastoodetes, mille korral traditsioonilised meetodid ei ole enam rakendatavad.

Hiljutisi tulemusi:

- *Fotoelastsuse tensorvälja tomograafiat* on kasutatud jääkpingete määramiseks muutuva murdumisnäitajaga YAG monokristallides. Polariseeritud valguse teisenemist on mõõdetud kristalli optiliste telgedega ristival tasapinnal. Jääkpinged on määratud kasutades Maxwelli pieso-optilist seadust (dielektrilise tensori lineaarset sõltuvust pingetest) ning peapingete telgede väikest pöördumist võttes arvesse valguskiirte paindumise.
- *Anisotroopse mittehomogeense keskkonna geomeetiline optika*. Valguse levi lihtsustatud käsitluse põhjal on välja töötatud palju erinevaid meetodeid jääkpingete määramiseks termiliselt karastatud klaasis. Keemiliselt karastatud klaasis on jääkpingete muutused niivõrd suured, et oluliseks muutuvad valguskiire paindumise ja optiliste telgede pöördumise nähtused, mida lihtsustatud teooriad ei arvesta. Eesmärgiga üldistada olemasolevaid jääkpingete määramise meetodeid ka sellistele juhtudele on selgitatud valguse levi Maxwelli EM lainete teooria raames võttes aluseks Sommerfeld-Runge lähenduse ning täpsustatud M. Sluijteri teooriat valguskiirte ja polarisatsiooni vektorite määramiseks anisotroopses mittehomogeenses keskkonnas. Välja on töötatud ka vastav tarkvara.
- *Lamineeritud komposiitklaaspaneeli materjalide omaduste määramine*. Vaatluse all on lamineeritud komposiitklaaspaneelid, milles on vähemalt üks plastne/viskoelastne kiht. Eesmärgiks on määrata selliste klaaspaneeli materjalide omadused, mis on vajalikud lamineeritud klaasist struktuuride täpseks modelleerimiseks. Koostöös ettevõttega GlasStress OÜ on väljatöötatud vajalik tarkvara ja mõõtmistehnika jääkpingete mõõtmiseks.

Fotoelastsuse uurimisrühma teaduskoostöö:

- Prof. C. R. Kurkjian, South Maine Ülikool, USA
- Prof. S. Chandrasekar, Purdue Ülikool, USA
- Prof. S. Yoshida, Shiga Prefecture Ülikool, Jaapan
- Nippon Electric Glass Ltd, Jaapan
- Prof. D. Locheignies, Valenciennes Ülikool, Prantsusmaa
- Siim Hödemann, Füüsika instituut, Tartu Ülikool, Eesti
- GlasStress OÜ, Tallinn, Eesti

Photoelasticity Research Group

Head of the group: Senior researcher Johan Anton

Members of the group: Senior researcher Pearu Peterson, adviser Hillar Aben (DSc)

In more than 50 years the Research Group has developed theories, methods and measurement technology for determining residual stresses in glass articles of complicated shapes. This technology, photoelastic tomography, is implemented in the automated polariscope AP, accompanied with

intelligent algorithms for measuring residual stresses in bottles, electric lamps, optical fibre preforms, cathode-ray tubes, etc. To measure residual stresses in architectural glass panels and automotive glazing a polariscope SCALP, based on the scattered light method, has been developed. This measurement methodology is used in many glass factories all over the world. While new glass types with specific residual stresses are invented, the Research Group continues to research for new methods for estimating the stresses in these glass products where conventional methods have serious difficulties.

Recent results:

- *Photoelastic tensor field tomography* has been used for residual stress measurement in graded-index YAG monocrystals. Transformation of the polarization of light is measured in a plane orthogonal to the optical axis of the crystal. Stresses are determined within the framework of the Maxwell piezo-optic law (linear dependence of the dielectric tensor on stresses) and small rotation of principal stress axes. Ray deflection is taken into account.
- *Geometrical optics of anisotropic inhomogeneous medium*. Under simplifying assumptions of light propagation in glass, various methods for estimating stresses in thermally tempered glass samples have been developed. However, in chemically tempered glass species the stress gradients are so high that these assumptions are not valid for ray bending and the rotations of optical axes. In order to generalize the stress estimation procedures to such cases the light propagation is studied using the theory of Maxwell EM waves under Sommerfeld-Runge ansatz, and the work of M. Sluijter is refined for determining the rays as well as polarization vectors in anisotropic inhomogeneous medium. Appropriate software has been developed.
- *Material characterization for laminated glass composite panel*. Laminated glass composite panel (LGCP) with at least one flexible plastic/viscoelastic interlayer is considered. The purpose is to determine the material properties of the constituents of LGCP required for accurate modelling of the laminated glass structures. In cooperation with private company GlasStress Ltd special software and measuring equipment are developed for determining residual stresses.

Photoelasticity Research Group collaboration:

- Prof. C. R. Kurkjian, South Maine University, USA
- Prof. S. Chandrasekar, Purdue University, USA
- Prof. S. Yoshida, Shiga Prefecture University, Jaapan
- Nippon Electric Glass Ltd, Jaapan
- Prof. D. Lochegnies, Valenciennes University, Prantsusmaa
- Siim Hödemann, Institute of Physics, University of Tartu, Estonia
- GlasStress OÜ, Tallinn, Estonia

Mittelineaarse lainelevi uurimisrühm

Uurimisrühma juht: professor Andrus Salupere

Uurimisrühma liikmed: vanemteadur Arkadi Berezovski, teadurid Tanel Peets, Kert Tamm, Dmitri Kartofelev ja Martin Lints; konsultant Jüri Engelbrecht; doktorant Mart Ratas.

Mittelineaarse lainelevi uurimisrühma tegevus on fokuseeritud komplekssetes keskkondades toimuva lainelevi seaduspärasuste selgitamisele ja vastavatele rakendustele. Ühest küljest on siin tegu otseülesannetega, mille korral selgitatakse kuidas erinevat tüüpi lained formeeruvad, levivad ja interakteeruvad teadaolevate omadustega materjalides. Teisest küljest on eesmärgiks

pöördülesannete lahendamine, mille korral määratakse materjali omadusi, defektide olemasolu või pingeseisundit füüsikalistes eksperimentides mõõdetavate suuruste põhjal.

Peamised uurimissuunad:

- *Pideva keskkonna mehaanika ja sisemuutujate teooria.* Uurimistöö on keskendunud materjalide sisemise struktuuri kirjeldamisele väljade abil. Vastavad matemaatilised mudelid võtavad arvesse mittelineaarseid, dispersiivseid ning temperatuuri efekte, k.a. mitme erineva skaalaga mikrostruktuuride koosmõju mehaaniliste lainete levile.
- *Solitonide ja üksiklainete analüüs.* Rakendatakse nii Boussinesq-tüüpi (kahe laine) kui KdV-tüüpi (ühe laine) mudeleid, mis kirjeldavad deformatsioonilaineid mikrostruktuuriga tahkistes ja mehaaniliste lainete levi biomembraanides. Selgitatakse millistel tingimustel saavad formeeruda solitonilised lahendid.
- *Diskreetne spektraalanalüüs.* Keerukate lainestruktuuride ajalis-ruumilise käitumise uurimiseks rakendatakse Fourier' teisendusel põhinevaid spektraalkarakteristikuid.
- *Materjalide mittepurustav testimine.* Töötatakse välja meetodeid mittehomogeensete materjalide (k.a. lamineeritud materjalid) mehaanikaliste omaduste määramiseks ja defektide tuvastamiseks.

Hiljutisi tulemusi:

- Materjalide mittepurustavaks testimiseks on väljatöötatud hilistunud ajalisel ümberpöördel põhinev mittelineaarse elastsuslaine spektroskoopia (inglise keeles: delayed Time Reversal-Nonlinear Elastic Wave Spectroscopy, lühidalt delayed TR-NEWS). Meetodi valiidsust on kinnitanud nii numbrilised simulatsioonid kui füüsikalised eksperimentid.
- On tuletatud sidustatud mudel, aksonis liikuva närviimpulsiga kaasneva mehaanilise laine levi kirjeldamiseks. Numbrilised simulatsioonid näitavad, et meelavalitse kujuga sisendist võivad formeeruda solitoni sarnased lained.
- Muusikainstrumentide akustika vallas on tuletatud teoreetiline mudel, mis kirjeldab keele ja barjääri interaktsiooni ning on teostatud selle mudeli eksperimentaalne kontroll keelpillide jaoks.

Projektid

- PUT434 Laineenergia ümberjagamine mikrostruktuuriga tahkistes, 2014–2017.
- IUT 33-24 Lainelevi komplekssetes keskkondades ja rakendused, 2015-2020.

Nonlinear Wave Dynamics Research Group

Head of the group: Professor Andrus Salupere

Members of the group: Senior researcher Arkadi Berezovski, Researchers Tanel Peets, Kert Tamm, Dmitri Kartofelev ja Martin Lints; advisor Jüri Engelbrecht; PhD student Mart Ratas.

Activities of the research group are focused on wave propagation in complex media and corresponding applications. On the one hand this includes direct problems where the goal is to analyse how waves of different types propagate and interact in materials which properties are known. On the other hand, the aim is to solve inverse problems, in order to determine properties of materials, existence of defects, residual stresses, etc making use of quantities measured from physical experiments.

Main research directions

- *Theory of continua and internal variables.* The internal structure of materials is described using internal fields. The corresponding mathematical models of wave motion in microstructured

solids take into account nonlinear, dispersive and temperature effects and possible multiscale of a microstructure.

- *Solitons and solitary waves.* Boussinesq-type (two-wave) models and KdV-type (one-wave) models which describe waves in microstructured solids and mechanical waves in biomembranes are applied. Conditions for formation of solitonic solutions are determined.
- *Discrete spectral analysis.* Fourier spectrum related spectral characteristics are applied in order to examine time-space behaviour of complex wave-structures.
- *Nondestructive testing of materials.* Nonhomogeneous materials (inc. laminated materials) are under consideration. Methods for determining of mechanical properties of materials and for detection of defects in laminated objects are worked out.

Some recent results

- An original signal processing method called delayed Time Reversal-Nonlinear Elastic Wave Spectroscopy (delayed TR-NEWS) is worked out. The method could be used to amplify signal in certain regions of the material under Non Destructive Testing. These concepts are shown to work well in numerical simulations and physical experiments.
- A coupled model is derived for describing the propagation of mechanical wave that accompanes the nerve pulse during its propagation along the nerve axon. Numerical experiments demonstrate that soliton-like waves can be formed from arbitrary inputs.
- In acoustics of musical instruments a theoretical model is worked out for describing of interaction between the string and the obstacle. The model is tested experimentally for string instruments.

Projects

- PUT434 Wave energy redistribution in solids with microstructure, 2014–2017.
- IUT 33-24 Wave propagation in complex media and applications, 2015-2020.

Mittelineaarne lainelevi uurimisrühma teaduskoostöö:

- Institute of Thermodynamics, Academy of Sciences of the Czech Republic, Dr. Jiří Plešek
- INSA Centre Val de Loire, France, Dr. Serge Dos Santos
- Department of Signal Processing and Acoustics, School of Electrical Engineering, Aalto University, Finland, Prof. Vesa Välimäki
- International Research Center for Mathematics & Mechanics of Complex Systems, Cisterna di Latina, Italy, Prof. Francesco dell'Isola
- Institute of Mechanics, Otto-von-Guericke University, Magdeburg, Germany, Prof. Holm Altenbach
- Wigner Research Centre for Physics, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, Hungary, Dr. Peter Van
- Embry-Riddle Aeronautical University, Daytona Beach, Florida, USA, Prof. A. Ludu



Info instituudi töötajate olulisemate sise- ja välisriiklike T&A-ga seotud tunnustuste kohta:

- Tarmo Soomere: valiti Eesti teadusliku seltsi Rootsis auliikmeks (09.02.2017), Klaipėda ülikooli audoktoriks (senati otsus 22.09.2017) ja pressisõbraks (Eesti Ajalehtede Liit, ametlik teade 06.12.2017; pidulik üleandmine 28.12.2017); samuti paigutati Eesti kõige silmapaistvamate isikute seas viiendale kohale ajalehe Postimees kolumnistide poolt (Postimees, 29.12.2017)
- Andrea Giudici: konkursi Teadus kolme minutiga laureaati 27.10.2017

Info osalemise kohta erinevates TA võrgustikes

Tarmo Soomere

- Eesti Teaduste Akadeemia liige ja president
- Riigi teaduspreemiate komisjoni esimees
- ajakirja *Trames* toimetuskolleegiumi esimees.
- Ajakirja *Akadeemia* toimetuskolleegiumi liige
- Läänemere mereteaduste kongressi (Baltic Sea Science Congress “Living along gradients: past, present, future”, 12.–16.06.2017, Rostock, Saksamaa) teadusnõukoja liige
- Eesti esindaja Euroopa Liidu riikide valitsuste teadusnõustajate võrgustikus
- Ühtekuuluvuspoliitika 2014–2020 rakenduskava seirekomisjoni liige
- Tõukefondide 2014–2020 prioriteetsete suundade „Teadus- ja arendustegevuse inimressursi arendamine“ ja „Eesti TA konkurentsivõime tugevdamine teadusprogrammide ja kõrgkoolide ning teadusasutuste kaasajastamise kaudu“ juhtkomisjoni liige (prioriteetsed suunad 4 ja 5)
- Teadus- ja Arendusnõukogu liige
- Teaduse populariseerimise programmi „TeaMe+“ nõukoja liige
- Arenguseire Keskuse nõukoja liige
- Eesti eesistumise perioodi konverentsi *Nature-Based Solutions* (24.–26.10.2017, Tallinna Ülikooli konverentsikeskus) orgkomitee liige
- Riikliku Geoloogiateenistuse moodustamise töörühma liige (kuni sügiseni 2017)
- Riikliku Geoloogiateenistuse nõukoja asendusliige (alates sügisest 2017)
- Retsensent ajakirjadele *Earth System Dynamics*, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *Acta Adriatica*, *International Journal of Sediment Research*, *IET Renewable Power Generation*, *Progress in Oceanography*, *Continental Shelf Research*, *Natural Hazards*, *International Journal of Geophysics (Hindawi)*, *Nonlinear Processes in Geophysics* ning *Journal of Coastal Research*.
- Helsingi Ülikooli geofüüsika professori kohale kandideerivate teadlaste taotluste välisretsensent (Eesti Mereakadeemia laevaehituse ja meretehnika professorite valimiskomisjoni liige (nov. 2017).

Katri Pindsoo: retsensent ajakirjale *Boreal Environment Research*

Andrea Giudici: retsensent ajakirjale *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*

Marko Vendelin

- European Union Framework Programme Horizon 2020 COST Action CA15203: Mitochondrial mapping: Evolution - Age - Gender - Lifestyle – Environment. – juhtkomitee liige ja ühe töörühma kaasesimees; member of Management Committee and co-leader of one of the workgroups

- European Union Framework Programme Horizon 2020 COST Action CA16225: Realising the therapeutic potential of novel cardioprotective therapies.– juhtkomitee liige; member of Management Committee

Toimetuskolleegiumid / Membership in Editorial Boards:

- Applied and Computational Mechanics: A.Berezovski and J.Engelbrecht
- Continuum Mechanics and Thermodynamics: A.Berezovski
- Wave Motion: A.Salupere
- Proc. Estonian Acad Sci. : J.Engelbrecht
- Applied Mechanics (Kiev): J.Engelbrecht
- J.Theor. and Appl. Mech. (Warsaw): J.Engelbrecht
- Trames (Estonia): J.Engelbrecht
- Akadeemia (Estonia): J.Engelbrecht
- J.Engelbrecht is the Section Editor for the „Encyclopedia of Continuum Mechanics”, edited by H.Altенbach and A. Oeschler, Springer.

Retsensendid / Reviewing

A.Berezovski: reviews for Continuum Mechanics and Thermodynamics, Archive of Applied Mechanics, Journal of Structural Control and Health Monitoring, Acta Mechanica, European Journal of Mechanics/Solids, International Journal of Solids and Structures.

J.Engelbrecht: reviews for Wave Motion, J.Acoust Soc. Amer., Continuum Mech. and Thermodynamics.

H. Herrmann: reviews for Cement and Concrete Composites, Materials, Bautechnik, International Journal of Digital Earth, Technologies, Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics, Salento-AVR-2017

A.Salupere: reviews for Wave Motion, Applied Physics Letters, ZAMM - Zeitschrift fuer Angewandte Mathematik und Mechanik