

Küberneetika Instituudi teemad

Topics from Department of Cybernetics

* Need teemad ei ole kohustuslikud. Kui üliõpilane soovib, siis võib ise leida teema ühes juhendajaga, mis on sobilik praktikaks või lõputööks.

* Using these topics is not obligatory. If the student wishes then the student could find a topic and a supervisor by himself/herself, which are suitable for internship or graduation theses.

Fiber composites

Heiko Herrmann (heiko.herrmann@taltech.ee)

Annotation. Composites containing short fibers are important in many areas. The used composites range from glass fiber plastics to steel fiber concrete. Many different material compositions for the matrix and the fibers are in use. The spatial and orientational distribution of the fibers plays an important role in the mechanical performance. The group deals with theoretical mechanics and computational mechanics including CFD. Sometimes experiments are performed.

Expectation for candidate. Depending on the actual task either good background in continuum mechanics or interest and skill in numerical simulations.

Pöördülesanded / Inverse problems

Jaan Janno (jaan.janno@ttu.ee)

Teema tutvustus. Füüsikalised mudelid koosnevad sageli järgmistest komponentidest: sisendid, keskkonna parameetrid ja väljundid. Kui kõik sisendid ja keskkonna parameetrid on teada, ja määratakse väljundeid, siis on tegemist päripidiülesandega. Kui aga mõni sisenditest või keskkonna parameetritest ei ole teada, ja seda määratakse väljundite mõõtmise alusel, siis on tegemist pöördülesandega.

Klassikalised pöördülesanded esinevad meditsiinilises ja tööstuslikus tomograaas, kus määratakse kehas sisalduvate mittehomogeensuste asukohti, kuju jms keha pinnal teostatud mõõtmiste alusel.

Pöördülesanded tekivad ka ainete füüsikaliste parameetrite määramisel. Näiteks olgu keha algtemperatuuriga T_0 paigutatud väliskeskkonda, mille temperatuur on T_e . Sisenditeks on T_0 ja T_e . Keha temperatuur T hakkab ajas muutuma. Temperatuuri ajalugu sõltub sisenditest ja kehas sisalduva aine omadustest (parameetritest), nt soojusjuhtivusest, erisoojusest, aine mälust jms. Positiivsel ajahetkel mõõdetud temperatuur sisaldab informatsiooni aine omaduste kohta ja seda saab parameetrite määramisel kasutada.

Mittelineaarse materjali mehaanilisel mõjutamisel tekivad seal teatud tingimuste korral spetsiilsed kuju säilitavad lained, mida nimetatakse solitonideks. Solitonide karakteristikud (amplituud, kiirus jms) sisaldavad informatsiooni materjali parameetrite kohta. Mõõtes neid karakteristikuid, on võimalik parameetreid määrata.

Pöördülesannete lahendamise abil saab hinnata ka füüsikalise protsessi mudeli relevantisust (sobivust). Kui erinevate algandmete korral langeb pöördülesande lahend ligikaudselt kokku, on mudel relevantne. Vastasel juhul ei ole mudel relevantne.

Lõputöö konkreetne teema ja sisu sõltub õppetasemest (bakalaureus või magister) ja ka tudengi eelistustest. On võimalik valida kas teoreetilisem või arvutuslikum lähenemine.

Annotation. Often physical models consist of following components: inputs, medium parameters and outputs. In case all inputs and medium parameters are known and outputs are to be

determined, we have a direct problem. But in case some of the inputs or medium parameters is unknown and we reconstruct it by means of measurements of outputs, we have an inverse problem.

Classical inverse problems occur in medical and industrial tomography, where locations, sizes etc. of inhomogeneities of bodies are determined by means of measurements on surfaces of the bodies.

Inverse problems occur also in determination of physical parameters of materials. For instance, let a body with an initial temperature T_0 placed to an environment with a temperature T_e . The quantities T_0 and T_e are inputs. The temperature T of the body starts to change in time. The history of temperature depends on inputs and properties of a material (parameters), e.g. conductivity, heat capacity, memory of the material etc. Measured temperature at some positive moment contains information about properties of the material and can be used in reconstruction of the parameters.

In mechanical excitation of a nonlinear material, specific shape-preserving waves, so called solitons arise. Characteristics of solitons (amplitudes, velocities etc.) contain information about material parameters. Measuring these characteristics, the parameters can be determined.

Solution of inverse problems is useful in estimation of relevance of a physical model, too. In case solutions of the inverse problem corresponding to different data approximately coincide, the model is relevant, otherwise not.

The specific topic of the thesis depends on a level of the study (bachelor or master) and preferences of a student. It is possible to choose either a theoretical or a numerical approach.

Pooljuhtmaterjalide elektrilised mõõtmised / Electrical studies of semiconductor materials

Raavo Josepson (raavo.josepson@ttu.ee)

Teema tutvustus. Koostöös TTÜ materjaliteadlastega uuritakse erinevaid pooljuhtmaterjale. Põhiliselt on uurimisobjektiks TTÜ-s valmistavad päikesepatareid, kuid samuti on võimalik uurida ka teisi pooljuhtstruktuure. Uurimiseks kasutatakse nii volt-amper karakteristikuid, kvantefektiivsust kui ka impedantsspektroskoopiat (mahtuvusspektroskoopia). Mõõtmisi on võimalik läbi viia erinevatel temperatuuridel (10 K - 300 K).

Kvantefektiivsuse korral uuritakse kuidas sõltub päikesepatarei poolt tekitatud vool pealelangeva valguse kvantide energiast. Mahtuvusspektroskoopias kasutatakse vahelduvpinget ja mõõdetakse ahela näivtakistust (impedantsi) ning voolu ja pinge vahelist faasi. Saadud tulemustest lähtuvalt saab arvutada struktuuri iseloomustavaid parameetreid.

Nõuded kandidaadile. Peab olema tõsine huvi eksperimentaalfüüsikaga tegelemiseks, keskmisest suuremad arvutioskused on hädavajalikud. Vajalikud on põhiteadmised pooljuhtmaterjalide ehitusest ja elektrist (alalis- ja vahelduvvool) Mõningad teadmised LabVIEW programmeerimisest tulevad igati kasuks.

Annotation. Studies of semiconductor materials are carried out with material scientists of Tallinn University of Technology. The main research objects are solar cells which have been produced in Tallinn University of Technology. Also it is possible to study other semiconductor objects. We use current-voltage characteristics, quantum efficiency measurements and impedance spectroscopy (admittance spectroscopy) in our studies. Measurements can be carried out at different temperatures (10K - 300K).

Quantum efficiency measurements show how the generated current of solar cells depends on the energy of quantum of used light. In case of impedance spectroscopy impedance of the object and

phase between current and voltage are measured. Using those results it is possible to calculate parameters which describe the structure of semiconductors.

Expectation for candidate. Must have interest in experimental physics, computer skills are essential. Basic knowledge of structure of semiconductors and electric current (alternating and direct current) are required. Some knowledge on LabVIEW programming does not harm.

Interdistsiplinaarsed kompleksüsteemid / Interdisciplinary complex systems

Jaan Kalda (kalda@ioc.ee)

Teema tutvustus. Komplekssüsteemid on süsteemid, mis koosnevad paljudest suhteliselt lihtsatest omavahel interakteeruvatest komponentidest ning mille puhul interaktsioonid viivad kvalitatiivselt uute omadusteni; tüüpiliseks tunnusjooneks on iseorganiseeruv kriitilisus ja astmeseadused. Näiteks võib tuua liivaterad liivakuhjas, liikide bioloogiline evolutsioon, aktsiaturud, ühiskond jne. Komplekssüsteemide uurimise puhul on kaks olulist meetodit: teoreetiline modelleerimine ja empiiriline analüüs – sobilike statistiliste karakteristikute leidmine antud süsteemi kirjeldamiseks. Uurimisobjekte võib leida nii geofüüsikast ja majandusest kui ka kirjandusest ja kunstist.

Nõuded kandidaadile. Baasoskused matemaatikas, statistikas ja programmeerimises (C/C++ või Python).

Annotation. Complex systems are systems which consist of many interacting and relatively simple components for which interactions lead to quantitatively novel properties; typical features are self-organized criticality and power laws. Few examples of complex systems: sand grains in a heap of sand, biological evolution of species, financial markets, society etc. There are two basic methods for studying complex systems: theoretical modelling, and empirical analysis – finding statistical measures for describing the particular type of systems. The topics of study range from geophysics to economy, literature, and fine arts.

Expectation for candidate. Basic skills in mathematics, statistics, and (C/C++ or Python).

Segunemine turbulentsetes keskkonnas / Mixing in turbulent media

Jaan Kalda (kalda@ioc.ee)

Teema tutvustus. Turbulentset segunemist võib kohata igal sammul – olgu siis tegemist suhkru sulatamisega teeklaasis, reostuse levikuga meres ja atmosfääris või vihma moodustumisega pilvedes. Vaatamata näilisele lihtsusele on turbulentse segunemise probleem püsinud jätkuvalt tänapäevafüüsika fookuses, sest matemaatiliselt on tegemist väga keerulise ja mitmekülgse nähtusega. TalTechi küberneetika instituudi füüsika osakonnas uuritakse seda praktiliselt olulist probleemi teoreetilise ja numbrilise modelleerimise teel.

Nõuded kandidaadile. Baasoskused matemaatikas, statistikas ja programmeerimises (C/C++ või Python).

Annotation. Turbulent mixing can be met everywhere, be it when melting sugar in a cup of tea, transport of pollution in marine environment, or formation of rain in clouds. Regardless of seeming simplicity, the problem of turbulent mixing has remained being a focal point of modern physics, because mathematically, this is an extremely complex phenomenon with many different aspects. In TalTech, this practically important problem is being studied via theoretical and numerical modelling.

Expectation for candidate. Basic skills in mathematics, statistics, and (C/C++ or Python).

Mittelineaarsete dünaamiliste protsesside modelleerimine ja analüüs / Modelling and analysis of nonlinear dynamical processes

Dmitri Kartofelev (dmitri.kartofelev@taltech.ee)

Teema tutvustus. Matemaatikas ja loodusteadustes on mittelineaarne süsteem selline süsteem või protsess, kus väljund ei ole proportsionaalne sisendi muutusega. Mittelineaarsed probleemid pakuvad huvi inseneridele, bioloogidele, füüsikutele, matemaatikutele ja paljudele teistele teadlastele, kuna enamik süsteeme on oma olemuselt mittelineaarsed. Selliseid süsteeme saab tihti kirjeldada kasutades mittelineaarseid diferentsiaalvõrrandite süsteeme.

<https://www.tud.ttu.ee/web/dmitri.kartofelev/>

Nõuded kandidaadile. Loodusteaduste bakalaureuse kraad. Baasteadmised diferentsiaalvõrrandite teooriast. Programmeerimisoskus Pythonis või Wolfram Mathematica tarkvara kasutusoskus.

Annotation. In mathematics and science, a nonlinear system is a system in which the change of the output is not proportional to the change of the input. Nonlinear problems are of interest to engineers, biologists, physicists, mathematicians, and many other scientists because most systems are inherently nonlinear in nature. These systems can be described with systems of simultaneous nonlinear differential equations.

<https://www.tud.ttu.ee/web/dmitri.kartofelev/>

Expectation for candidate. BSc degree in natural sciences. Basic knowledge of the theory of differential equations. Programming in Python or Wolfram Mathematica.

Valik teemasid muusikalisest akustikast/ Various topics of musical acoustics

Dmitri Kartofelev (dmitri.kartofelev@taltech.ee)

Teema tutvustus. Muusikaline akustika on multidistsiplinaarne teadusharu mis kasutab teadmisi füüsikast, psühhofüüsikast, organoloogiast, füsioloogiast, muusika teooriast, etnomusikoloogiast, signaalitöötlusest ja muusikainstrumentide ehitamisest jm. Muusikaline akustika uurib ja kirjeldab muusika ja muusikariistade füüsikat. Aktiivselt uuritavate teemade näiteks võib tuua: muusikaliste instrumentide toimimine, inimese hääl, meloodia analüüs, muusika teraapia jm. Pakutavad teemad saavad olema seotud keelpillide akustikaga.

<https://www.tud.ttu.ee/web/dmitri.kartofelev/>

Nõuded kandidaadile. Baasteadmised füüsikast ja matemaatikast. Programmeerimine Pythonis.

Annotation. Musical acoustics is a multidisciplinary field that combines knowledge from physics, psychophysics, organology, physiology, music theory, ethnomusicology, signal processing and instrument building, among other disciplines. As a branch of acoustics, it is concerned with researching and describing the physics of music and musical instruments. Examples of areas of study are the function of musical instruments, the human voice, computer analysis of melody, and in the clinical use of music in music therapy. The provided topics will be related to the physics of string instruments.

<https://www.tud.ttu.ee/web/dmitri.kartofelev/>

Expectation for candidate. Basic skills in physics and mathematics. Programming in Python.

Algoritmiline meloodia loomine, fraktaalne muusika / Algorithmic melody composition, fractal music

Dmitri Kartofelev (dmitri.kartofelev@taltech.ee)

Teema tutvustus. Lühidalt öeldes, fraktaalne muusika on muusika mis sisaldab vähemalt ühte mõõdetavat enesesarnast omadus (nt. helikõrguste intervallide jaotus, nootide ajalised kestused jaotus) mis tõestab astmeseaduse olemasolu. Lõputöö projekti raames on kavas luua fraktaalset muusikat ja võrrelda seda inimheliloominguga.

<https://www.tud.ttu.ee/web/dmitri.kartofelev/>

Nõuded kandidaadile. Muusikariista mängimise oskus. Noodilugemise oskus. Baasteadmised matemaatikast (statistika). Programmeerimine Pythonis.

Annotation. Briefly stated, fractal music possesses at least one measurable, self-similar property (e.g., distribution of melodic intervals or note durations) that reflects an underlying power-law. Aim of the thesis would be to compose fractal music and compare it to human composed music.

<https://www.tud.ttu.ee/web/dmitri.kartofelev/>

Expectation for candidate. Ability to play a musical instrument. Ability to read music sheets. Basic knowledge of mathematics (statistics). Programming in Python.

Poognaga ergastatud viiulikeele võnkumise modelleerimine / Modelling of bowed violin string vibration

Dmitri Kartofelev (dmitri.kartofelev@taltech.ee)

Marek Vilipuu (marek.vilipuu@taltech.ee)

Teema tutvustus. Viiulikeele ja muude poogenkeelpillide keelte võnkumise uurimine on pika ajalooga muusikalise akustika probleem mis on suuremas osas lahendatud. Poognaga ergastatud keele võnkumine kuulub relaksatsiooniosillatsiooni probleemide hulka. Viiuli keele suhteliselt keerukas võnkumine on põhjustatud asjaolust, et hõõrdejõud kahe kuiva pinna vahel on pöördvõrdelises seoses hõõrduvate pindade libisemis kiirusest. Projekti raames on plaanis luua lihtsustatud viiuli keele tasapinnalise võnkumise mudel.

<https://www.tud.ttu.ee/web/dmitri.kartofelev/>

Nõuded kandidaadile. Baasteadmised füüsikast ja matemaatikast. Programmeerimine Pythonis.

Annotation. String vibration of violin and other bowed string instruments is a long-standing problem in musical acoustics that has been mostly solved. The oscillations of a string excited by bowing belong to a class of relaxation oscillations which depend upon the fact that dry sliding friction decreases with the velocity of the sliding surfaces. The plan is to develop a simplified model of uniplanar violin string vibration.

<https://www.tud.ttu.ee/web/dmitri.kartofelev/>

Expectation for candidate. Basic skills in physics and mathematics. Programming in Python.

Iselokaliseeritud võnkumised mittelineaarsetes ühemõõtmilistes kristallides / Intrinsic Localized Vibrations in nonlinear one dimensional crystals

Mihhail Klopov (mihhail.klopov@ttu.ee)

Teema tutvustus. On teada, et perioodilisuse kaotamine kristalli võres kutsub esile lokaalsed võnkumised reaalses kristallides. 1980-ndate lõpus näidati teoreetiliselt, et ideaalse lihtkristalli

neljandat järku suur anharmoonilisus võib esile kutsuda iselokaliseeruvaid võnkumisi (intrinsic localized modes (ILM)). Sievers ja Takeno uurisid klassikalist võnkumise dünaamikat ühemõõtmelistes lihtkristallides. Nagu on omane kõigile mittelineaarsetele võnkumistele, nii on ka iselokaliseeruvate võnkumiste sagedused sõltuvad amplituudist. ILM võib keskenduda kristalli suvalises võresõlmes ning ILM-ga seotud mõned termodünaamilised ja ruumi-konfiguratsioonilised oletused on seotud iselokaliseeruvate võnkumiste olemasoluga suure anharmoonilisusega tahkistes, näiteks tahke heeliumi kristallis ja ferroelektrikutes. Bakalaureusetöö raames molekulaardünaamika meetodiks on uuritakse statsionaarse ja liikuva ILM-i omadused ühemõõtmelistes kristallides.

Nõuded kandidaadile. Üldfüüsika kursus, kõrgem matemaatika kursus, töö Linuxi keskkonnas ja Fortrani, Pythoni või C-tüüpi programmeerimiskeele tundmine.

Annotation. It is known that the loss of periodicity in a crystal lattice causes local oscillations in real crystals. At the end of the 1980s, it was theoretically demonstrated that the fourth-order high anharmonicity of an ideal single crystal could result in intrinsic localized modes (ILMs). Siever and Takeno studied the classical oscillation dynamics in one-dimensional simple crystals. As is to all non-linear oscillations, the frequencies of anharmonic oscillations depend on the amplitude. ILM can be localized on any atom in a crystal, and some thermodynamic and space-configurational properties of crystals with the strong anharmonicity is related to ILM for example such as solid helium crystals and ferroelectrics. In the framework of the bachelor thesis, the molecular dynamics method for study of the properties of stationary and mobile ILM in one-dimensional crystals will be used.

Expectation for candidate. General Physics course, Higher Mathematics course, the work in the Linux environment, and knowledge of Fortran, Python or C programming language.

Reaalsete kristallide füüsikaliste omaduste arvutamine DFT meetodil / Calculation physical properties of real crystals by the DFT method

Mihhail Klopov (mihhail.klopov@ttu.ee)

Teema tutvustus. Mikroskoopilised kristalli omaduste arvutusmeetodid (ab-initio, molekulaardünaamika (MD)) on muutunud väga atraktiivseks seoses nende tähtsusega materjaliteaduses. Ab-initio arvutuste edu on seotud tihedusfunktsionaali teooriaga (density functional theory (DFT)), mis võimaldab saavutada suurt täpsust koos arvutusliku efektiivsusega ja ei nõua täiendavaid, katseliselt saadud parameetreid. On tekkinud võimalus materjalide omaduste ennustamiseks ainete elektronstruktuuri täpse arvutamise alusel. Seda tüüpi arvutused lubavad isegi hüpoteetiliste ainete omadusi uurida ilma reaalselt eksperimenti teostamata (nn. arvutuslikud katsed). Ab-initio arvutuste kasutamine on suure tähtsusega uute teooriate kontrollimisel ja ka eksperimendi kavandamisel materjaliteaduse erinevatel aladel. Magistritöö raames on arvutatakse reaalsete kristallide elektroonilised, foonon- ja optilised omadused DFT meetodil. Saab kasutada selle jaoks litsenseeritud tarvara „VASP” ja „Phonon”. Lisainfot saab siit:

https://en.wikipedia.org/wiki/Density_functional_theory

<https://www.vasp.at/>

Nõuded kandidaadile. Üldfüüsika kursus, kõrgem matemaatika kursus, tahkekeha füüsika, töö Linuxi keskkonnas ja Fortrani, Pythoni või C-tüüpi programmeerimiskeele tundmine.

Annotation. Microscopic methods for calculating crystals properties (ab-initio, molecular dynamics (MD)) have become very attractive due to their importance in material science. The success of Ab-initio computations is related to density function theory (DFT), which allows for high accuracy with computational efficiency and does not require additional experimental parameters. There is a chance to predict the properties of materials by accurately calculating the electronic structure of substances. The calculations of this type allow even the properties of hypothetical substances to be investigated without real experimentation (so-called "computational experiments"). The use of ab

initio calculations is of great importance in controlling new theories and also in designing experiments in various fields of material science. In the framework of the thesis, the electronic, phonon and optical properties of real crystals will be calculated using the DFT method. Also the "VASP" and „Phonon" licensed software packages will be used for this aim. An additional information can be found here:

https://en.wikipedia.org/wiki/Density_functional_theory

<https://www.vasp.at/>

Expectation for candidate. General Physics course, Higher Mathematics course, Solid State Physics, the work in the Linux environment, and knowledge of Fortran, Python or C programming language.

Pooljuhtmaterjalide madatemperatuurne optiline spektroskoopia / Low temperature optical spectroscopy of semiconductor materials

Jüri Krustok (juri.krustok@ttu.ee)

Teema tutvustus. Fotoluminestsents, peegeldus, Raman spektroskoopia, fotopegeldus on meetodid, mis pakuvad väärtuslikku teavet erinevate pooljuhtmaterjalide defektstruktuuri kohta. Enamus uuritavaid ühendeid leiavad kasutamist absorbermaterjalidena tuleviku päikesepatareides. Lisaks uuritakse ka uusi 2D aatomkristalle, nagu näiteks MoS₂. Erinevate mõõtmiste läbiviimiseks on meil olemas kõrgetasemelised seadmed ja enamus meie grupi liikmetest on endised TTÜ tehnilise füüsika lõpetajad. Lisateavet võimalike teemade kohta leiate siit: <http://staff.ttu.ee/~krustok/>

Nõuded kandidaadile. Peab olema tõsine huvi eksperimentaalfüüsikaga tegelemiseks, keskmisest suuremad arvutioskused on hädavajalikud. Mõningad teadmised LabVIEW programmeerimisest tulevad igati kasuks. Eriti teretunud on tudengid, kes sooviksid siduda oma tulevase elu teadusega.

Annotation. Photoluminescence, reflectivity, Raman spectroscopy, photorefectance are methods providing valuable information about defect structure of various semiconductor materials. Most studied compounds are used as absorber materials in future solar cells. In addition, new 2D atomic crystals like MoS₂ will be also studied. We have a high-level equipment to perform different measurements and most of our group members are former graduates of engineering physics at TTU. Additional information about possible topics can be found here: <http://staff.ttu.ee/~krustok/>

Expectation for candidate. Must have interest in experimental physics, computer skills are essential. Some knowledge on LabVIEW programming do not harm. Especially welcome are students who want to link their future life with science.

Schliereni optilised süsteemid ja nende rakendamine füüsika õpetamise protsessis

Indrek Luberg (indrek.luberg@ttu.ee)

Teema tutvustus. Schliereni optika on selline optiline süsteem, mis võimaldab visualiseerida õhu või mingi muu läbipaistva keskkonna murdumisnäitaja väikesi erinevusi. Schliereni optilise süsteemi koostamiseks on mitmeid erinevaid võimalusi ja ülevaate andmine nendest ongi töö üheks ülesandeks. Teiseks ülesandeks on selliste süsteemide praktiline koostamine eesmärgiga kasutada neid füüsika loengutes või füüsikat populariseerivatel üritustel kui atraktiivset katsevahendit.

Nõuded kandidaadile. Töö eeldab üliõpilase huvi praktilise optika vastu. Kasuks tulevad üliõpilase mõningad oskused ja kogemused mitmesuguse aparatuuri või seadmete ehitamisel.

Tutvumine PSoC arendusplaatidega ja nende võimalike rakendustega

Indrek Luberg (indrek.luberg@ttu.ee)

Lembit Kurik (lembit.kurik@ttu.ee)

Teema tutvustus Juba päris palju aastaid on elektroonikahuviliste seas populaarsust kogunud mitmesugused arendusplaadid ja miniarvutid nagu näiteks **Arduino** ja **Raspberry Pi**. Neid kasutavad nii hobialektroonikud kui ka keerulise teadusaparatuuri koostajad. Samasse ritta võib asetada ka **PSoC (Programmable System on Chip)** arendusplaadid firmalt **Cypress Semiconductor**. Tehnikaülikooli füüsikaosakonnas on võimalik tutvuda nimetatud firma plaatide erinevate mudelitega. Esialgu praktika teemana, sügavama huvi korral, kui üliõpilane töötab välja arendusplaadi võimaliku rakenduse füüsika eksperimenditehnikas, siis võib see kujuneda ka tema lõputöö teemaks.

Nõuded kandidaadile. Üliõpilaselt eeldatakse huvi ja tahet teemaga tegeleda.

Cation-exchange reactions in confined metal chalcogenide domains

Svetlana Polivtseva (svetlana.polivtseva@taltech.ee)

Annotation. Activities pioneer a transformative approach to smart textiles by embedding cation-exchangeable metal chalcogenide nanostructures within textile fibers, enabling programmable ionic reconfiguration of material properties. Unlike conventional wearables that rely on rigid electronics, this concept exploits reversible cation exchange (e.g., $\text{Cu}^+ \leftrightarrow \text{Ag}^+ \leftrightarrow \text{Li}^+$) to dynamically modulate electrical conductivity, plasmonic color, thermoelectric performance, and infrared emissivity under mild stimuli such as low voltage or sweat-derived ions. The resulting fabrics will function as adaptive, multifunctional systems capable of sensing, energy storage, thermal regulation, and data encoding, all within a flexible, breathable architecture.

Expectation for candidate. Expected background for candidates: physics, chemistry, materials science, etc.

Nanofiltration membranes to concentrate metal derivatives from complex media

Svetlana Polivtseva (svetlana.polivtseva@taltech.ee)

Annotation. Nanofiltration membranes produced from various natural and synthetic fibers represent a promising solution for advancing both clean water technologies and circular economy principles. By utilizing fiber-based materials such as recycled polymers, cellulose, and composite blends, the manufacturing process not only reduces waste but also extends the functional life cycle of resources. These membranes are designed with selective permeability, allowing effective removal of salts, dyes, heavy metals, and organic micropollutants from wastewater and drinking water sources. Their fiber-derived nanostructures enhance membrane performance by improving mechanical strength, fouling resistance, and permeability, thereby ensuring long-term operation with lower energy demand. Integrating renewable and recycled fibers into membrane fabrication offers an eco-friendly alternative to conventional systems, thereby reducing dependence on virgin materials.

Expectation for candidate. Expected background for candidates: physics, chemistry, materials science, etc.

Apollo maandumiskohtade fotogrammeetriline analüüs / Photogrammetric analysis of Apollo landing sites

Vladislav-Veniamin Pustõnski (vlad.pustynski@gmail.com)

Teema tutvustus. Töö sisu on fotogramm-meetriline analüüs Apollo 11, Apollo 12 ja Apollo 14 missioonide raames Kuu pinnal tehtud fotodest. Siin on mõned võimalikud teemad:

1) Luuakse 3D-mudel Surveyor kraatrist, mille lähedale laskus Apollo 12. Kraatri sees tuleb mõõta teatud reeperpunktid, luua nende põhjal ebaregulaarne kolmnurkade võrk, lähendada see sujuva pinnaga, koostada samakõrgusjooned ja kõrgusprofiilid, võrrelda seda kraatrit teiste Kuu kraatritega ja hinnata selle vanust. Samuti võib modelleerida pinna välimust erinevate Päikese nurkade all. Mudelit saab välja printida 3D-printeriga.

2) Modelleeritakse peegeldused astronauti kiivris. Vaja on koostada matemaatiline mudel, mis kirjeldab, kuidas peegelduvad tuntud 3D-koordinaatidega punktid kiivril ja kuidas see peegeldus projekteerub foto tasapinnale. Mudel tuleb võrrelda Kuu pinnal tehtud fotodega (nt AS11-40-5902 ja AS11-40-5903), et täpsustada astronauti asukoht fotodel.

3) Uuritakse kivide jaotus Kuu maandumismooduli ümber. On vaja mõõta kivide laiust ja kõrgust kuumooduli ümbruses ja uurida nende ruumilist jaotust statistiliste meetoditega. Uurida kivide seost kraatritega ja võrrelda jaotust teiste teadlaste poolt saadut tulemustega.

4) Luuakse Apollo fotode põhjal täiustatud reaalsus: koostada visuaalsed mudelid, mis demonstreerivad kehade liikumist ja pöörlemist Kuu raskusväljas, samuti matemaatilise ja füüsilise pendli võnkumist ning Kuu tehiskaaslaste ja teiste taevakehade liikumist taevas.

Näidisenä võib vaadata tööd saidil <https://www.hq.nasa.gov/alsj/a11/a11Photogrammetry.html> ja artiklit https://doi.org/10.1162/pres_a_00393.

Nõuded kandidaadile. Kandidaadilt oodetakse valmidus töödelda suuri andmehulkasid, täpsus töös, tähelepanu detailide vastu, huvi matemaatika ja programmeerimise vastu.

Annotation. The content of the work involves a photogrammetric analysis of photographs taken on the lunar surface during the Apollo 11, Apollo 12, and Apollo 14 missions. Here are some possible topics:

1) Create a 3D model of the Surveyor crater, near which Apollo 12 landed. Specific reference points within the crater need to be measured, an irregular network of triangles should be generated based on them, then approximated with a smooth surface. Contour lines and elevation profiles are created, the crater compared with other lunar craters, and its age estimated. The surface appearance under different angles of sunlight can also be modeled. The model can be printed using a 3D printer.

2) Modelling reflections in an astronaut's helmet. A mathematical model is needed to describe how points with known 3D coordinates are reflected in the helmet and how this reflection projects onto the photograph plane. The model should be compared with photographs taken on the Moon (e.g., AS11-40-5902 and AS11-40-5903) to accurately determine the astronaut's position in the images.

3) Study the distribution of boulders and rocks around the lunar module. The widths and heights of rocks around the lunar module should be measured, and their spatial distribution analyzed with statistical methods. The relationship between rocks and craters should be examined and compared with results obtained by other researchers.

4) Create augmented reality based on Apollo photos: develop visual models to demonstrate the motion and rotation of bodies in the Moon's gravitational field, the oscillation of mathematical and physical pendulums, and the visible movement of the Moon's satellites and other celestial bodies in the sky.

For examples, see the work at <https://www.hq.nasa.gov/alsj/a11/a11Photogrammetry.html> and the article at https://doi.org/10.1162/pres_a_00393.

Expectation for candidate. The candidate should be prepared to handle large data sets, demonstrate accuracy in their work, show attention to detail, and have an interest in mathematics and programming.

NMR mõõtepea arendamine / Development of NMR probehead

Ago Samoson (Ago.Samoson@ttu.ee)

Teema tutvustus. NMR, üks molekulaarse struktuuri ja -dünaamika uurimise levinumaid meetodeid, kasutab spektraalse lahutusvõime parandamiseks proovi kiiret pöörlemist (MAS), mille nurk magnetvälja suhtes peab olema seadistatud võimalikult täpselt. Projekti esimese etapi ülesandeks on arendada välja kaugjuhitav nurga seadistamise mehhanism, nurga kontroll Halli anduri abil ning vastav tarkvara. Teisel etapil kasutame ära meie laboris arendatud unikaalse võimaluse kasutada pöörlemiskiirusi, mis on piisavalt suured et optimeerida lisaks vesinikule ka ^{14}N ja ^{17}O tuumade spektroskoopiat. Rakenduslike programmide raames pakume osalust diagnostilise metabooloomika ja Alzheimeri tõve molekulaarmehhanismide selgitamisel. Kõigil teemadel pakume ka kõrgetasemelist elamispinda ja hilisemat töökohta.

Nõuded kandidaadile. Kandidaadilt eeldame algteadmisi füüsikas, manuaalse töö võimekust ja soovi reisida ning suhelda koostööpartneritega.

Annotation. One of the most popular analyses methods- NMR- is using fast spinning of sample (MAS) to enhance the spectral resolution. The spinning axis angle to magnetic field should be set as accurately as possible. A development of angle control mechanism, including Hall sensor and software, constitutes the first stage of project. Subsequently we shall take advantage of a globally unique possibility to deploy the spinning speeds high enough to optimize NMR of ^1H , ^{14}N and ^{17}O . Our applications offer participation in diagnostic metabolomics and unraveling molecular mechanisms of the Alzheimer disease. We can also provide high standard living quarters and subsequent employment.

Expectation for candidate. Student should have basic knowledge in physics, some dexterity and willingness to travel overseas and interact with cooperation partners.

Rakusisene molekulide liikuvus / Intracellular molecular movement

Marko Vendelin (markov@sysbio.ioc.ee)

Martin Laasmaa (martin@sysbio.ioc.ee)

Teema tutvustus. Laboris uurime südamefüsioloogiat elundi, raku ja rakusisesel tasandil, kasutades selleks eksperimentaalseid katseid ja matemaatilist modelleerimist.

Teema keskendub sellele, kuidas molekulid liiguvad südamelihaskus. Varasemalt on täheldatud, et molekulide liikumine on südamelihaskus tugevalt piiratud, kuid täpne põhjus on senini teadmata. Selle uurimisteema eesmärgiks on välja selgitada füüsikaline põhjus miks rakusisene molekulide liikuvus on takistatud. Antud töö keskendub uute meetodite välja töötamisele, mis põhinevad fluorestsentskorrelatsioonispektroskoopiaal ning hõlmab nii eksperimentaaltööd kui ka

andmete analüüsi. Varasemalt on laboris ehitatud selle tarbeks erinevad mikroskoobid ning loodud uued lähenemisviisid eksperimentaalandmete analüüsimiseks.

Konkreetne ülesanne sõltub tudengi huvidest ja oskustest.

<https://sysbio.ioc.ee>

Nõuded kandidaadile. Põhioskused matemaatikas, füüsikas ja statistikas. Kuigi andmete analüüs nõuab programmeerimisoskust, siis kõrgetasemelist oskust ei eeldata ning vajadusel õpetatakse kohapeal.

Annotation. We study cardiac physiology on multiple levels: organ, cellular, and sub-cellular. For that, we use combination of experimental and modeling approaches.

Within this topic, you will study how molecules move within the heart muscle cell. There are indications that the movement of the molecules is severely restricted in the heart muscle cell. The physical basis for that is not fully understood and is the aim of this research topic. Here, you will participate in the development of new methods based on fluorescence correlation spectroscopy. So far, we have built our own microscopes and designed new approaches to analyze the measured data. You will be able to work on the experimental parts of the study and data analysis.

The specific task would depend on your interests and skills.

<https://sysbio.ioc.ee>

Expectation for candidate. Basic skills in mathematics, physics, statistics. Data analysis does require programming skills. However, we do not expect that you are fluent in programming and will teach you if needed.

Mikroskoopia piltide töötlus / Processing of microscopy images

Marko Vendelin (markov@sysbio.ioc.ee)

Martin Laasmaa (martin@sysbio.ioc.ee)

Teema tutvustus. Valgusmikroskoopia on üks meetoditest, mida kasutatakse sageli rakkude uurimiseks. Võrreldes teiste mikroskoopia meetoditega on selle suureks eeliseks võimalus jälgida elusrakke, see omakorda võimaldab meil uurida muutuseid rakkudes, mis on tingitud erinevatest stiimulitest. Paraku on difraktsioonist tulenev optiline lahutusvõime piiratud ning mõõte-elektronikaga kaasnev müra vähendab signaali kvaliteeti. Antud teema raames töötatakse välja lähenemisviisid lahutusvõime suurendamiseks ja müra vähendamiseks salvestatud piltidel.

Konkreetne ülesanne sõltub tudengi huvidest ja oskustest.

<https://sysbio.ioc.ee>

Nõuded kandidaadile. Põhioskused matemaatikas ja füüsikas. Kuigi andmete analüüs nõuab programmeerimisoskust, siis kõrgetasemelist oskust ei eeldata ning vajadusel õpetatakse kohapeal.

Annotation. Optical microscopy is a tool frequently used to study live cells. When compared with the other microscopy methods, it has an advantage of being able to follow the cell while it is alive, allowing us to study the cell response to different stimuli. However, the resolution due to diffraction, noise due to the photon detection both impact the imaging. Within this topic, you will work on development of approaches to enhance resolution and signal to noise of the recorded images.

The specific task would depend on your interests and skills.

<https://sysbio.ioc.ee>

Expectation for candidate. Basic skills in mathematics, physics. Data analysis does require programming skills. However, we do not expect that you are fluent in programming and will teach you if needed.

Rakusiseste protsesside matemaatiline modelleerimine / Analysis of extreme sea levels and development of future projections

Marko Vendelin (markov@sysbio.ioc.ee)

Martin Laasmaa (martin@sysbio.ioc.ee)

Teema tutvustus. Bioloogiliste protsesside uurimisel on tähtsal kohal katsete teostamine. Sageli nende tõlgendamiseks on tarvis luua matemaatilisi mudeleid kuna bioloogilised süsteemid on äärmiselt kompleksed. Lisaks sellele, võimaldab modelleerimine ennustada protsesse, mis puhtalt katsete põhjal pole võimalik.

Süsteemibioloogia laboris tegeletakse põhiliselt südamelihasku energiika, elektrofüsioloogia ja mehaanilise töö uurimisega, mis on iseenesest omavahel väga tihedalt seotud, et tagada südame lakkamatu töö elu kestel.

Antud töö raames on tudengil võimalik valida eelmainitud kolme suuna vahel ning sõltub tema huvidest ja oskustest. Töö eesmärkideks on ajakohase matemaatilise mudeli koostamine, selle analüüs ning kasutamine katseandmete interpretatsioonis.

<https://sysbio.ioc.ee>

Nõuded kandidaadile. Põhioskused matemaatikas, füüsikas ja statistikas. Kuigi matemaatiline modelleerimine nõuab programmeerimisoskust, siis kõrgetasemelist oskust ei eeldata ning vajadusel õpetatakse kohapeal

Annotation. Experiments are essential in the study of biological processes. It is often necessary to create mathematical models to interpret experimental data as biological systems are incredibly complex. In addition, modeling makes it possible to predict processes that cannot be measured.

The Laboratory of Systems Biology is mainly engaged in the study of cardiac energetics, electrophysiology, and mechanics, which are highly interconnected to ensure the continuous work of the heart throughout life.

Within the framework of this work, the student can choose between the three directions above depending on the student's interests and skills. The aims of the work are to assemble an up-to-date mathematical model, analyze it and use it to interpret experimental data.

<https://sysbio.ioc.ee>

Expectation for candidate. Basic skills in mathematics, physics, and statistics. Although mathematical modeling requires programming skills, a high level of proficiency is not required and is taught on-site if necessary.

Analysis of extreme sea levels and development of future projections

Katri Viigand (katri.viigand@taltech.ee)

Maris Eelsalu (maris.eelsalu@taltech.ee)

Annotation. Extreme sea levels are among the most significant threats to coastal environments, with direct implications for coastal management, urban planning and engineering. Designing resilient cities, harbours, and marine structures requires reliable knowledge of the frequency and severity of extreme events.

The proposed topic aims to investigate the behaviour of sea-level extremes and develop projections of their future occurrence. Possible study areas are coastal regions of the Baltic Sea. This topic offers the student an opportunity to combine concepts of statistical physics, mathematical modelling, and computational tools with real-world environmental challenges.

Return levels for different recurrence periods (e.g. 20, 50, 100 or 500) will be estimated using advanced statistical methods, including the Generalised Extreme Value (GEV) and Generalised Pareto (GPD) distributions on the simulated and/or observed sea level data. Parameters of these distributions will be evaluated using methods such as classical moments, L-moments or maximum likelihood estimation.

The same type of study can be carried out on extreme waves or wind speeds and in other regions. Alternatively, a related study can be designed according to the student's interest. The thesis may be written in English or Estonian.

Expectation for candidate. Analytical skills, foundation in basic statistics, and knowledge of Matlab, R or Python

Global assessment of wave energy flux along the world's coastlines: contributions from wind seas and swells

Katri Viigand (katri.viigand@taltech.ee)

Maris Eelsalu (maris.eelsalu@taltech.ee)

Annotation. The aim of this master's thesis is to assess the global wave energy flux along the world's coasts. The student will apply more than six decades (1959–2023) of wave reanalysis data from the Copernicus Marine Service. The study will investigate the spatial distribution and temporal variability of wave energy resources worldwide. It will analyze the relative contributions of swell and wind-sea components and determine the wave conditions that contribute most to coastal wave energy flux.

One of the core objectives is to identify global "hot spots" of wave energy potential at coastal regions where wave conditions are persistent enough to provide a steady energy flux while remaining relatively moderate, and therefore favorable for energy harvesting. The thesis will also explore seasonal and interannual variations, long-term trends, and the occurrence of extreme wave-energy events to provide a comprehensive picture of the global wave energy resource for future marine renewable energy planning.

Electronic structure calculation and material modeling

Raiker Witter (raiker.witter@taltech.ee)

Annotation. The introduction and optimization of new materials and device concepts is ideally assisted by digital twinning.

Here, it is considered to assist battery material development by quantum mechanical ab initio calculations with the aid of an integrated suite of open-source computer codes based on density-functional theory, plane waves, and pseudopotentials (Quantum Espresso).

Structures (inorganic crystals and stacked organic molecules) are being simulated to investigate structural, electronic and magnetic properties like ion mobility, electrochemical stability window, spin-states; theoretical results being directly compared and evaluated with experimental results of synthesized materials.

Expectation for candidate. Familiarity with quantum mechanics, penchantity to computing and interest in material science.

Electromagnetic and thermal simulations on detection setups of nuclear magnetic resonance (NMR)

Raiker Witter (raiker.witter@taltech.ee)

Annotation. For the development of new NMR detection concepts electromagnetic and thermal behavior needs to be optimized. The excitation and detection coil is requested to produce homogenous well defined magnetic field distributions. On the other hand, the introduction of heating by spinning flat metal sheets within higher magnetic field ($>1\text{T}$) needs to be controlled.

For this, state-of-the-art finite-element simulations are considered applying the CST-Suite simulation package.

Expectation for candidate. Familiarity with classical electrodynamics and skills in the preparation of technical drawings.

Direct structure determination with the aid of experimental constraints (NMR)

Raiker Witter (raiker.witter@taltech.ee)

Annotation. The 3D-structure elucidation with restraints from nuclear magnetic resonance (NMR) data is of importance to understand morphology and functioning of new materials.

Here, perturbations of the nuclear Zeeman-effect are used - the paramagnetic shift and induced local currents - in order to get insight into the atomistic local source of electronic spin-states, pore/particle size, its usage for structure determination on relevant examples like Hard Carbon and organic redox active metal centers.

Expectation for candidate. Familiarity with quantum mechanics, atom and molecular physics, skills in using Mathematica and interest in material science.