



STUDIJŲ DALYKO (MODULIO) APRAŠAS

Dalyko (modulio) pavadinimas	Kodas
Kompiuterinė Fotonika	

Dėstytojas (-ai)	Padalinys (-iai)
Koordinuojantis: Doc. Dr. Vytautas Jukna Jaunesnysis asistentas dokt. Ignas Lukošius	Fizikos fakultetas, Lazerinių tyrimų centras

Studijų pakopa	Dalyko (modulio) tipas
Antroji (magistro)	Pasirenkamasis

Igyvendinimo forma	Vykdyto laikotarpis	Vykdyto kalba (-os)
Auditorinė	Rudens semestras	Lietuvių/anglų

Reikalavimai studijuojančiajam	
Išankstiniai reikalavimai: Bendros optikos ir lazerių fizikos žinios.	Gretutiniai reikalavimai (jei yra):

Dalyko (modulio) apimtis kreditais	Visas studento darbo krūvis	Kontaktinio darbo valandos	Savarankiško darbo valandos
5	140	48	92

Dalyko (modulio) tikslas: studijų programos ugdomos kompetencijos

Šiame kurse nagrinėjama tiesinių optinių terpių sąveika su elektromagnetine spinduliuote. Aprašomi šviesos ir medžiagos sąveikos tiesiniai reiškiniai bei jų modeliavimas baigtinio skirtumo ir Furjė metodais. Nagrinėjamos tiesinės terpės yra vienmatės, dvimatės ir trimatės formų šviesolaidžiai, optiniai keitikliai, fotoniniai kristalai, Brego veidrodžiai, difrakcinės gardelės, bangolaidiniai filtrai ir rezonatoriai. Paskaitų metų bus modeliuojami ir analizuojami šių sudėtingų įtaisų geba valdyti šviesos erdvinės ir spektrinės charakteristikas. Apžvelgiama mokslinė literatūra, eksperimentinės schemos ir teorija. Semestro gale bus aptariami skaitmeninio optimizavimo metodai, kuriais bus automatiškai kuriami fotoninių įtaisų dizainai šviesos valdymo taikymams.

Dalyko (modulio) studijų siekiniai	Studijų metodai	Vertinimo metodai
Šiuo kursu siekiama suteikti studentams naujus įgūdžius tiesinių optinių reiškinių modeliavime bei praplėsti jų žinias apie šviesos erdvių ir spektrinių charakteristikų valdymo priemones. Sudėtingi fizikiniai procesai bus modeliuojami ir analizuojami pasitelkiant žinomais algoritmais, kurių rezultatai eksperimentiškai patvirtinti. Naujausi tiesinės fotonikos pritaikymai, jų veikimo teorija bei mokslinė literatūra bus aptariama paskaitų ir pratybų metu. Pratybos yra skirtos tam, kad studentai įgytų naujus įgūdžius šių prietaisų optimizavime bei jų charakteristikų modeliavime. Studentai išmoks pritaikyti skaitinius metodus ir savo asmeniniams mokslo tiriamiesiems darbams bei projektams.	Paskaitos/pratybos/namų darbai, probleminis dėstymas.	Egzaminas, namų darbai.

Temos	Kontaktinio darbo valandos						Savarankiškų studijų laikas ir užduotys		
	Paskaitos	Konsultacijos	Seminarai	Pratybos	Laboratoriniai	Praktika	Visas kontaktinis	Savarankiškas	Užduotys
1. Kompiuterinės elektrodinamikos įvadas: Kompiuterinės fizikos nauda mokslinėje ir industrinėje aplinkose. Programavimo, algoritmų rašymo pradmenys. Baigtinio skirtumo metodai.	4			2			6	6	Paskaitų medžiagos, vadovėlių skaitymas ir namų darbai.
2. Fizikinių procesų apžvalga: Banginė optika, Helmholtz'o lygtis, dispersija, Pointingo vektorius, elektromagnetinės bangos poliarizacija ir tiesinių terpių optika.	2			1			3	5	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas.
3. Skaitmeninis baigtinio skirtumo metodas dažninėje erdvėje: Dalinių išvestinių matricių išvedimas, dvimatis kraštinis sugėrikliis. Maksvelio lygtys Yee erdvėje.	2			1			3	5	Paskaitų medžiagos, vadovėlių skaitymas ir namų darbai.
4. 2D ir 1D bangolaidžių analizė: Maksvelio lygtys plokščių bei bet kokios skersinės formos bangolaidžių skaitmeninei analizei atlikti. Efektinio lūžio rodiklio metodas. Bangolaidinių modų analizė naudojantis tikrinių matricių skaičiavimo metodika. Paviršinės plazmoninės modos. Susietų modų teorija. Bangolaidžių grandinės, optinės galios keitikliai ir jų lauko modeliavimas naudojantis FDFD metodu.	4			2			6	6	Paskaitų medžiagos, vadovėlių skaitymas ir namų darbai.
5. Fotoniniai kristalai (PhCs): Elektromagnetinis laukas periodinėse terpėse. Kietojo kūno elektrodinamika. Maksvelio lygtys Furjė erdvėje. Fotoninių kristalų analizė 2D Furjė metodu. Brego atspindys, šviesos kolimacija ir neigiamą lūžio rodiklį imituojančių įtaisų modeliavimas FDFD ir Furjė (PWEM) metodais.	4			2			6	6	Paskaitų medžiagos, vadovėlių skaitymas ir namų darbai.
6. Maksvelio lygtys laikinėje erdvėje. 1D ir 2D baigtinio skirtumo metodai laiko erdvėje (FDTD). Impulsinio pluošto sklaidos analizė naudojantis FDTD metodu, lauko atvaizdavimas, fotoninių įtaisų spektrinių savybių modeliavimas ir jų analizė.	4			2			6	6	Paskaitų medžiagos, vadovėlių skaitymas ir namų darbai.
7. Sklaidos matricos metodas: Išvedimas, taikymai, 1D fotoninių struktūrų pralaidumo ir atspindžio charakteristikų analizė.	2			1			3	5	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas.
8. Periodiškai ir aperiodiškai moduluotos terpės: 2D ir 3D Furjė skaitmeniniai metodai, jų panaudojimas 2D ir 3D fotoniniams kristalams analizuoti. Difrakcinės gardelės. Bangolaidinių modų rezonansas. Sklaida į priekį ir atgal nuo periodinių struktūrų.	4			2			6	6	Paskaitų medžiagos, vadovėlių skaitymas ir namų darbai.
9. Periodinių bangolaidžių skaitmeninė analizė: Iteracijų metodas, periodinių terpių pralaidumo ir atspindžio spektrinė analizė. Periodinių fotoninių įtaisų išsklaidyto stacionaraus lauko analizė pasitelkus 2D ir 3D FDFD metodais	4			2			6	6	Paskaitų medžiagos, vadovėlių ir mokslinės literatūros skaitymas.
10. Skaitinio optimizavimo metodai: Lokalaus ir globalaus optimizavimo metodai. Gradientinio nuolydžio metodas ir genetinis algoritmas, jų	2			1			3	5	Paskaitų medžiagos, vadovėlių skaitymas ir namų darbai.

pritaikymai fotoninių įtaisų dizainams kurti, siekiant tinkamai valdyti šviesos erdvinės charakteristikas.									
11. Pasiruošimas egzaminui ir jo laikymas								3 6	Paskaitų medžiagos, vadovėlių ir mokslinės literatūros skaitymas.
Iš viso	32			16				48 9 2	

Vertinimo strategija	Svoris proc.	Atsiskaitymo laikas	Vertinimo kriterijai
Programavimo uždaviniai	60	Semestro metu	Semestro metu bus suformuluoti 5 programavimo uždaviniai. Vertinamas: S1 užduočių užbaigtumas S2 užduočių rezultatų pateikimas ir jų paaiškinimas S3 teisingai atsakyti teoriniai klausimai Bendras=0.4*S1+0.4*S2+0.2*S3. Suminis kiekis sudarys 60% kurso įverčio.
Egzaminas	40	Egzaminų sesijos metu	Egzaminas raštu, 10 klausimų iš viso kurso. Vertinamas atsakymas į kiekvieną klausimą: išsamus atsakymas – 1 taškas, nepilnas atsakymas – 0,5 taško, neteisingas atsakymas – 0 taškų. Suminis egzaminų įvertinimas sudarys 40% viso kurso įvertinimo.
Viso	100		Suminis balas apvalinamas į didesnę pusę: <5 balų – neišlaikyta (nepakankamai) 5 balai – silpnai 6 balai – patenkinamai 7 balai – vidutiniškai 8 balai – gerai 9 balai – labai gerai 10 balų – puikiai

Autorius	Leidimo metai	Pavadinimas	Periodinio leidinio Nr. ar leidinio tomas	Leidimo vieta ir leidykla ar internetinė nuoroda
Privaloma literatūra				
R. Rumpf	2006	Design And Optimization Of Nano-optical Elements By Coupling Fabrication To Optical Behavior		Electronic Theses and Dissertations, https://stars.library.ucf.edu/etd/1081/?utm_source=stars.library.ucf.edu%2Fetd%2F1081&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
R. Rumpf	2022	Electromagnetic and Photonic Simulation for the Beginner: Finite-Difference Frequency-Domain in MATLAB		Artech House
Jennifer E. Houle, Dennis M. Sullivan	2020	Electromagnetic Simulation Using the FDTD Method with Python		Wiley
Papildoma literatūra				
Skaidrės, R. Rumpf.	2023	Computational electromagnetics		https://empossible.net/academics/
Allen Taflove, Susan C. Hagness	2005	Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method, Third Edition 3rd Edition		https://us.artechhouse.com/Computational-Electrodynamics-The-Finite-Difference-Time-Domain-Method-Third-Edition-P2342.aspx

Marek S. Wartak	2013	Computational Photonics: An Introduction with MATLAB	https://www.cambridge.org/core/books/computational-photonics/3E22C82EC7AE4B30CC232DBAB36BC067
-----------------	------	--	---



COURSE UNIT (MODULE) DESCRIPTION

Course unit (module) title		Code	
Computational Photonics			
Lecturer(s)		Department(s) where the course unit (module) is delivered	
Coordinator: Doc. Dr. Vytautas Jukna Teaching assistant dokt. Ignas Lukošius		Laser Research Center, Faculty of Physics	
Study cycle		Type of the course unit (module)	
Second (master program)		Optional	
Mode of delivery	Period when the course unit (module) is delivered	Language(s) of instruction	
Lectures, Exercises, Contact hours	Autumn semester	Lithuanian/English	
Requirements for students			
Prerequisites: Introductory Courses for Optics and Laser Physics.		Additional requirements (if any):	
Course (module) volume in credits	Total student's workload	Contact hours	Self-study hours
5	140	48	92
Purpose of the course unit (module): programme competencies to be developed			
<p>This course focuses on the physics of the interaction between electromagnetic waves and linear media. The details of the linear interactions are simulated by finite difference methods in time and frequency domains and by Fourier modal method. The linear media of interest are inhomogeneous, 1D, 2D, and 3D waveguide systems, couplers, photonic crystals, Bragg mirrors, diffraction gratings, and guided-mode resonance filters. Numerical models will be used to simulate the capabilities of such photonic devices to control the spectral and spatial characteristics of light. The results are analyzed via literature, theory, as well as experimental realizations. Optimization methods will be presented at the end of the semester, which will be used to optimize the geometrical parameters and materials of such photonic devices for precise light control applications.</p>			
Learning outcomes of the course unit (module)	Teaching and learning methods	Assessment methods	
<p>This course is made to provide new skills in the numerical simulation of linear optical media and its interaction with light. The course is also made for students to enhance their knowledge of the control of spectral and spatial characteristics of light. Various complex optical phenomena will be modeled and analyzed by experimentally verified numerical algorithms. The numerical, theoretical, and experimental results in the literature on light propagation controlling devices will be analyzed during lectures and exercise sessions. During exercise sessions, students will learn how to simulate linear photonic device interactions with light and apply optimization methods for device designs. Students will also be able to apply such algorithms for their own projects and research.</p>	Lectures/exercises/homework	Exam, homework	

Content: breakdown of the topics	Contact hours							Self-study work: time and assignments	
	Lectures	Tutorials	Seminars	Exercises	Laboratory work	Internship/work placement	Contact hours	Self-study hours	Assignments
1. Introduction to Computational Electrodynamics: Motivation and reasoning for usefulness of numerical modeling. Fundamentals of programming, introduction to computing. Finite Difference methods.	4			2			6	6	Reading of lecture notes and textbooks, homework.
2. Description of Physical quantities: Wave-like optics, Helmholtz' equation, material and wave dispersion, Poynting vector, polarization and linear media optics.	2			1			3	5	Reading of lecture notes and textbooks.
3. Numerical Finite Difference Frequency Domain method: derivation of matrices used in finite difference method, perfectly matched layer (PML) in the 2D domain. Maxwell's equations in Yee grid.	2			1			3	5	Reading of lecture notes and textbooks, homework.
4. Waveguide 2D and 1D analysis: Maxwell's equations for rib and slab waveguides. Effective index method analysis for arbitrarily shaped 1D and 2D waveguide systems. Eigenvalue and eigenvector analysis of waveguide modes. Slab waveguides, surface plasmon modes in metallic waveguides. Coupled mode theory. Waveguide circuits, couplers, and their field analysis with FDFD method.	4			2			6	6	Reading of lecture notes and textbooks and homework.
5. Photonic Crystals (PhCs): Electromagnetic fields in periodic media. Solid state electromagnetics. Maxwell's equations in Fourier space. 2D Plane Wave Expansion Method. Dispersion Analysis of PhCs. Self-collimation, negative refractive index, and Bragg reflective device simulation with FDFD and PWEM methods.	4			2			6	6	Reading of lecture notes and textbooks, homework.
6. Maxwell's equations in time domain. 1D and 2D Finite Difference Time Domain methods (FDTD). Scattering analysis via FDTD, field visualization. Photonic device response in time-domain, analysis and simulation of spectral characteristics.	4			2			6	6	Reading of lecture notes and textbooks, homework.
7. Scattering matrix method: Derivation, applications, and transmittance/reflection analysis of aperiodic 1D effective photonic devices.	2			1			3	5	Reading of lecture notes and textbooks.
8. Periodic and aperiodic materials: 2D and 3D Rigorous Coupled Wave Analysis numerical methods. Numerical analysis of diffraction gratings and Guided Mode Resonance filters. Forward and backward scattering simulations.	4			2			6	6	Reading of lecture notes and textbooks, homework.
9. Periodic waveguide numerical analysis: Parameter sweep. Transmission and Reflection analysis of PhCs and periodic waveguides. Scattered stationary field analysis of photonic devices via 2D and 3D FDFD methods.	4			2			6	6	Reading of lecture notes and textbooks.

10. Numerical optimization methods: Local and global optimization algorithms. Gradient descent and Genetic algorithm methods, and their applications for device designs for light propagation control.	2			1			3	5	Reading of lecture notes and textbooks, homework.
11. Preparation for the exam								36	Reading of lecture notes and textbooks.
In total	32			16			48	92	

Assessment strategy	Weight,%	Deadline	Assessment criteria
Homework	60	By the end of the course	Homework must contain clean, readable code with commentary. Each homework contains evaluation system presented in the following: S1 exercise completeness S2 presentation and explanation of results S3 correctly answered theoretical questions Overall = $0.4*S1+0.4*S2+0.2*S3$. The overall sum of the homework comprises 60% evaluation of the course.
Exam	40	By the end of the course	Exam in written form, 10 questions from the whole course and homework. Correct answers are evaluated by 1 points, weak answers – 0,5 points, wrong answer – 0 points. Overall score comprises 40% evaluation of the entire course.
Overall	100		The mark definitions: <5 below a threshold 5 – weak 6 – satisfactory 7 – average 8 – good 9 – very good 10 – excellent

Author	Year of publication	Title	Issue of a periodical or volume of a publication	Publishing place and house or web link
Compulsory reading				
R. Rumpf	2006	Design And Optimization Of Nano-optical Elements By Coupling Fabrication To Optical Behavior.		Electronic Theses and Dissertations, https://stars.library.ucf.edu/etd/1081/?utm_source=stars.library.ucf.edu%2Fetd%2F1081&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
R. Rumpf	2022	Electromagnetic and Photonic Simulation for the Beginner: Finite-Difference Frequency-Domain in MATLAB		Artech House
Jennifer E. Houle, Dennis M. Sullivan	2020	Electromagnetic Simulation Using the FDTD Method with Python		Wiley
Optional reading				
Slide material, R. Rumpf.	2023	Computational electromagnetics		https://empossible.net/academics/

Allen Taflove, Susan C. Hagness	2005	Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method, Third Edition 3rd Edition		https://us.artechhouse.com/Computational-Electrodynamics-The-Finite-Difference-Time-Domain-Method-Third-Edition-P2342.aspx
Marek S. Wartak	2013	Computational Photonics: An Introduction with MATLAB		https://www.cambridge.org/core/books/computational-photonics/3E22C82EC7AE4B30CC232DBAB36BC067