



STUDIJŲ DALYKO (MODULIO) APRAŠAS

Dalyko (modulio) pavadinimas	Kodas
Optinės sistemos	

Dėstytojas (-ai)	Padalinys (-iai)
Koordinuojantis: prof. Domas Paipulas	Fizikos fakultetas, Lazerinių tyrimų centras

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

Igyvendinimo forma	Vykdymo laikotarpis	Vykdymo kalba (-os)
Auditorinė	2 semestras	Lietuvių/anglų

Reikalavimai studijuojančiajam	
Išankstiniai reikalavimai: Bendrosios fizikos (optikos) kursas	Gretutiniai reikalavimai (jei yra):

Dalyko (modulio) apimtis kreditais	Visas studento darbo krūvis	Kontaktinio darbo valandos	Savarankiško darbo valandos
5	159	56	104

Dalyko (modulio) tikslas: studijų programos ugdomos kompetencijos		
Dalyko klausytojai susipažins su optinių sistemų veikimo principais, jų konstrukciniais ypatumais ir taikymais. Kurse išsamiai apžvelgiama geometrinės optikos fizika, tame tarpe pagrindiniai paraksialiniai optinių sistemų parametrai, spindulių trasavimo principai. Kurse aptariama vaizdų formavimo teorija ir aberacijų įtaka vaizdo iškraipymui. Analizuojamas spindulių ir bangos fronto aberacijos, atskirai detalizuojamos visos trečios eilės aberacijos ir strategijos kaip jas reikia panaikinti. Kurso metu naudojamas skaitmeninio modeliavimo paketas Optics Studio (ZEMAX), kurio pagrindu praktiškai demonstruojami optinio dizaino principai ir ugdomas gebėjimas dirbti su tokiais modeliavimo paketais. Aptariami pagrindiniai optinių sistemų sudedamieji elementai: lęšiais, veidrodžiais. Kurse apžvelgiami populiariausi optiniai prietaisai ir jų konstrukcijos: mikroskopai, afokalsios sistemos, mikroskopų objektyvai, okuliarai, fotokamerų objektyvai, telecentriniai objektyvai. Lazerinio skenavimo objektyvai.		
Dalyko (modulio) studijų siekiniai	Studijų metodai	Vertinimo metodai
Išklausę šį kursą studentas sugebės savarankiškai analizuoti įvairaus sudėtingumo optines sistemas, įvertinti jų veikimo charakteristikas, pritaikyti skaitmeninio modeliavimo programas ZEMAX projektuojamų sistemų kūrimui, optimizavimui bei testavimui.	Probleminis dėstymas, pratybos, modeliavimo laboratoriniai darbai	Modeliavimo egzaminas, modeliavimo kontroliniai darbai
Studentas gebės turimas teorines žinias pritaikyti iškilusios praktinės problemos, susijusios su optinių sistemų kūrimu priežasčių suvokimui ir galimų sprendimų suradimui. Studentas mokės pritaikyti optikos žinias, praktinius ir inžinerinius gebėjimus optinių sistemų veikimo principų suvokimui, analizavimui ir kūrimui.	Probleminis dėstymas, modeliavimas.	Egzaminas raštu, modeliavimo egzaminas ir modeliavimo kontrolinis darbas

Temos	Kontaktinio darbo valandos						Savarankiškų studijų laikas ir užduotys		
	Paskaitos	Konsultacijos	Seminarai	Pratybos	Laboratoriniai	Praktika	Visas kontaktinis	Savarankiškas darbas	Užduotys
1. Geometrinė ir fizikinė optika. Spindulių optika. Šviesos refrakcija. Snelijaus dėsnis. Objektas ir atvaizdas. Realūs ir virtualus objektai ir atvaizdai. Idealiosios optinės sistemos. Paraksialinė optika. Lūžis per vieną paviršių. Plono lęšio formulė. Skersinis ir išilginis didinimas. Laužiamoji geba, jos prasmė. Lūpa, jos didinimas.	2			1			3	6	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas, užduotys pratybose
2. Spindulių trasavimas ir sklidimas per daugelį paviršių. Kardinalieji optinės sistemos taškai (pagrindinės optinės plokštumos, nodaliniai taškai, efektyvusis židinio nuotolis, darbinis atstumas), jų padėčių nustatymas. Optinis invariantas. Dviejų optinių elementų sujungimas į vieną. Storis lęšis. Spindulių trasavimo modeliavimas	2			1			3	6	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas, užduotys pratybose
3. Apertūros optinėse sistemose. Apertūrinė diafragma ir lauko diafragma, lauko lęšis, jų padėčių nustatymas. Įėjimo ir išėjimo vyzdys. Vyzdžio spindulys ir kraštinis spindulys, jų prasmė. Vinjetės efektas. Optinių sistemų parametrai: skaitinė apertūra, regėjimo laukas, f- skaičius, efektyvusis f- skaičius. Fokusavimo gylis, fokusavimo laukas. Telecentrinė sistema.	2			1			3	6	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas, užduotys pratybose
4. Įvadas į optinių sistemų modeliavimą nuosekliu (sequential) metodu su ZEMAX. Programos sąsaja, optinės sistemos įvedimas į kompiuterį: recepto nuskaitymas, sistemos nustatymas (apertūra, laukas, bangos ilgis). Trasavimo parametrų nustatymai. Optinės sistemos vizualizacija. Darbas su programa. Pagrindinių paviršių parinkimas: paraksialiniai paviršiai, asferiniai, atspindintys paviršiai, difrakcinės gardelės.	6			3	2		11	10	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas, užduotys pratybose, modeliavimas prie kompiuterio
5. Optinių sistemų veikimo analizė. Spindulių kritimo kreivės, taškinės diagramos. Difrakcija optinėse sistemose. Airy diskas. Taško sklaidos funkcija, moduliacijos perdavimo funkcija. Analizės įrankių naudojimas ZEMAX programoje.	2			1			3	6	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas, užduotys pratybose, modeliavimas prie kompiuterio
6. Aberacijų teorija. Išilginė, skersinė, bangos fronto aberacijos. Sferinė aberacija. Koma. Astigmatizmas. Distorsija. Lauko kreivumas. Aberacijų mažinimo būdai. Seidelio koeficientai, jų prasmė. Chromatinė aberacija. Abbės skaičius. Achromatai, apochromatai, Aplanatiniai lęšiai ir jų modeliavimas.	4			2			6	8	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas, užduotys pratybose, modeliavimas prie kompiuterio
7. Optinių sistemų optimizavimas. Automatinės optimizavimo funkcijos (solves). Lokalus ir globalus optimizavimas. Optimizavimo strategijos. Paklaidos funkcija. Operandai. Singletai, dubletai ir tripletai. Aberacijų kompensavimas. F-theta lęšiai.	2			1	2		5	6	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas, užduotys pratybose, modeliavimas prie kompiuterio
8. Teleskopai ir pagrindinės jų konstrukcijos. Galilėjaus, Keplerio, Niutono, Kasegreno, Ričio-	2			1			3	4	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas,

Kratjeno, Maskutovo, Schmidto teleskopai ir jų modeliai. Jų veikimo palyginimas.								užduotys pratybose, modeliavimas prie kompiuterio	
9. Mikroskopai. Mikroskopų objektyvai ir jų modeliavimas, okuliarų modeliavimas.	2			1			3	4	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas, užduotys pratybose, modeliavimas prie kompiuterio
10. Klasikiniai fotoobjektyvai ir jų modelių analizė: LandScape objektyvas, Chevelier objektyvas, Petzvalio objektyvas, Cooko tripletas, Tessar, Double-Gauss, Smartphone lens.	2			1	2		5	4	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas, užduotys pratybose, modeliavimas prie kompiuterio
11. Tolerancijų analizė. Optinių elementų gamybos ir montavimo tikslumas. Jautrumo statistinė analizė. Monte-Karlo analize	2			1			3	4	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas, užduotys pratybose, modeliavimas prie kompiuterio
12. ZEMAX programavimas ir sąsajos su kitomis programomis. ZEMAX skriptų rašymo kalba, macros. Vartotojo sukurti operandai ir paviršiai. Ryšys su MATLAB.	2			1			3	4	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas, užduotys pratybose, modeliavimas prie kompiuterio
13. Pasiruošimas egzaminui ir dviems kontroliniams ir jų laikymas							4	36	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas, modeliavimas prie kompiuterio
Iš viso	30			15	6		55	104	

Vertinimo strategija	Svoris proc.	Atsiskaitymo laikas	Vertinimo kriterijai
Egzaminas	60	Egzaminų sesijos metu	Egzaminą sudaro dvi dalys: pirmoji teorinė (raštu), antroji praktinė – kompiuterinis modeliavimas. Abi dalys sudaro po 50 % indėlį į galutinį egzamino pažymį. Teorinėje dalyje vertinamos bendrosios optinių sistemų žinios: terminologijos žinios, bendrosios optinių sistemų koncepcijos (spindulinė optika, kokybės kriterijai, aberacijų teorija ir t.t.) , populiariausių optinių sistemų vaikimas. Pateikiami 10 klausimų, kuriuos studentas atsako pagal savo sugebėjimus. Praktinėje egzamino dalyje atliekama modeliavimo darbas prie kompiuterio, vertinant studento gebėjimą skaitmeniškai pruprojektuoti optinę sistemą su reikiamomis charakteristikomis ZEMAX paketu: studentas sukuria optinę sistemą, ją optimizuoja, atlieka veikimo analizę ir pateikia išvadas su sistemos receptu. Trumpai apibendrina modeliavimo kelią ir kokius įrankius (strategijas naudojo). Vertinama dešimtbalėje sistemoje apvalinant į didesnę pusę.
Kontrolinis darbas	20	Antrą kurso mėnesį	Kontrolinis darbas tikrinantis geometrinės optikos žinias. Pateikiami 8 uždaviniai, kuriuose tikrinami praktiniai studento gebėjimai taikyti geometrinės optikos žinias. Vertinama 10-balėje sistemoje.
Modeliavimo kontrolinis	20	Trečia kurso mėnesį	Modeliavimo kontrolinis darbas prie kompiuterio kurio tikrinama studento gebėjimas naudotis pagrindiniais ZEMAX įrankiais. Pateikiamas optinės sistemos receptas ir studentas atlieka jos modeliavimą ir atlieka veikimo analizę, pateikia išvadas.

Autorius	Leidimo metai	Pavadinimas	Periodinio leidinio Nr. ar leidinio tomas	Leidimo vieta ir leidykla ar internetinė nuoroda
Privaloma literatūra				
W.J. Smith	2008	Modern optical engineering		McGraw-Hill Professional.
J.M.Geary	2002	Introduction to LENS design with Practical ZEMAX examples		Willmann-Bell,Inc
Papildoma literatūra				
H. Gross (redaktorius)	2004-2008	Handbook of Optical systems (1-4)		Wiley-VCH
P. Mouroulis, J. Macdonald	1997	Geometrical optics and optical design,		Oxford University Press



COURSE UNIT (MODULE) DESCRIPTION

Course unit (module) title	Code
Optical systems	

Academic staff	Core academic unit(s)
Coordinating: prof. Domas Paipulas	Laser Research Center, Faculty of Physics

Study cycle	Type of the course unit
Second (master program)	Compulsory

Mode of delivery	Semester or period when it is delivered	Language of instruction
Auditorium	2nd semester	Lithuanian/English

Requisites	
Prerequisites: General Physics (Optics) Course	Co-requisites (if relevant):

Number of ECTS credits allocated	Student's workload (total)	Contact hours	Individual work
5	159	56	104

Purpose of the course unit		
Students will learn the principles of optical systems' operation, construction, and applications. The course covers in-depth geometrical optics, including basic paraxial parameters of optical systems, ray tracing principles, image formation theory, and the influence of aberrations. Strategies for eliminating third-order aberrations are detailed. Practical training is provided using the Optics Studio (ZEMAX) software, demonstrating optical design principles. The course includes components like lenses and mirrors and reviews devices like microscopes, telecentric lenses, and laser scanning lenses.		
Learning outcomes of the course unit	Teaching and learning methods	Assessment methods
After completing this course, the student will be able to independently analyze optical systems of varying complexity, evaluate their operational characteristics, and utilize digital modeling software like ZEMAX to design, optimize, and test proposed systems.	Problem-based teaching, exercises, and computer modeling.	Written exams, computer modeling tests.
The student will have practical skills to apply optical design knowledge to build various complex optical systems.	Problem-based teaching, computer modeling.	Written exam, modeling exam, and colloquium.

Content	Contact hours							Individual work: time and assignments	
	Lectures	Tutorials	Seminars	Workshops	Laboratory work	Internship	Contact hours, total	Individual work	Tasks for individual work
1. Geometrical and Physical Optics. Ray optics. Light refraction. Snell's law. Object and image. Real and virtual objects and	2			1			3	6	Reading lecture materials and

images. Ideal optical systems. Paraxial optics. Refraction through a single surface. Thin lens formula. Transverse and longitudinal magnification. Refractive power and its significance. Magnifying lens.									textbooks, exercise tasks
2. Ray tracing and propagation through multiple surfaces. Cardinal points of an optical system (principal planes, nodal points, effective focal length, working distance) and their position determination. Optical invariant. Combining two optical elements into one. Thick lens. Ray tracing modeling.	2			1			3	6	Reading lecture materials and textbooks, exercise tasks
3. Apertures in optical systems. Aperture STOP and field STOP, field lens, and their position determination. Entrance and exit pupils. Chief ray and marginal ray, and their significance. Vignetting effect. Optical system parameters: numerical aperture, field of view, f-number, effective f-number. Depth of focus and focus field. Telecentric system.	2			1			3	6	Reading lecture materials and textbooks, exercise tasks
4. Introduction to optical system modeling using the sequential method with ZEMAX. Software interface, inputting an optical system into the computer: reading the prescription, setting system parameters (aperture, field, wavelength). Configuring ray tracing parameters. Visualization of the optical system. Operating the software. Selection of key surfaces: paraxial surfaces, aspheric surfaces, reflective surfaces, diffraction gratings, etc.	6			3	2		11	10	Reading lecture materials and textbooks, exercise tasks, computer modeling
5. Analysis of optical system performance. Ray intercept curves, spot diagrams. Diffraction in optical systems. Airy disk. Point Spread Function (PSF) and Modulation Transfer Function (MTF). Use of analysis tools in the ZEMAX software.	2			1			3	6	Reading lecture materials and textbooks, exercise tasks, computer modeling
6. Aberrations. Longitudinal, transverse, and wavefront aberrations. Spherical aberration. Coma. Astigmatism. Distortion. Field curvature. Methods for reducing aberrations. Seidel coefficients and their significance. Chromatic aberration. Abbe number. Achromats, apochromats, aplanatic lenses, and their modeling.	4			2			6	8	Reading lecture materials and textbooks, exercise tasks, computer modeling
7. Optimization of optical systems. Automatic optimization functions (solves). Local and global optimization. Optimization strategies. Merit function. Operands. Singlets, doublets, and triplets. Aberration compensation. F-theta lenses.	2			1	2		5	6	Reading lecture materials and textbooks, exercise tasks, computer modeling
8. Telescopes and their main constructions. Galileo, Kepler, Newton, Cassegrain, Chrétien, Maksutov, and Schmidt telescopes and their designs. Comparison of their performance.	2			1			3	4	Reading lecture materials and textbooks, exercise tasks, computer modeling

9. Microscopes. Microscope objectives and their modeling, eyepiece modeling.	2			1			3	4	Reading lecture materials and textbooks, exercise tasks, computer modeling
10. Classical camera lenses and their model analysis: Landscape lens, Chevalier lens, Petzval lens, Cooke triplet, Tessar, Double-Gauss, Smartphone lens	2			1	2		5	4	Reading lecture materials and textbooks, exercise tasks, computer modeling
11. Tolerance analysis. Precision of optical element manufacturing and assembly. Sensitivity statistical analysis. Monte Carlo analysis.	2			1			3	4	Reading lecture materials and textbooks, exercise tasks, computer modeling
12. ZEMAX programming and interfaces with other programs. ZEMAX scripting language, macros. User-defined operands and surfaces. Connection with MATLAB	2			1			3	4	Reading lecture materials and textbooks, exercise tasks, computer modeling
13. Preparation for the exam and two tests and taking them							4	36	Reading lecture materials and textbooks, exercise tasks, computer modeling
Total	30			15	6		55	104	

Assessment strategy	Weight %	Deadline	Assessment criteria
Exam	60	During the exam session	The exam consists of two parts: the first is theoretical (written), and the second is practical – computer modeling. Both parts contribute 50% each to the final exam grade. The theoretical part evaluates general knowledge of optical systems: knowledge of terminology, general concepts of optical systems (ray optics, quality criteria, aberration theory, etc.), and the operation of the most popular optical systems. There are 10 questions provided, which the student answers based on their abilities. In the practical part of the exam, the student performs a modeling task on the computer, evaluating their ability to numerically design an optical system with the required characteristics using the ZEMAX software. The student creates the optical system, optimizes it, performs performance analysis, and provides conclusions with the system's specifications. The student briefly summarizes the modeling process and the tools (strategies) used. The grading is done on a ten-point scale, rounded to the nearest whole number.
Colloquium	20	The second month of the course	The midterm test checks knowledge of geometric optics. Eight problems are provided, where the student's practical ability to apply geometric optics knowledge is assessed. Grading is done on a ten-point scale.
Modeling colloquium	20	The third month of the course	The modeling midterm test on the computer checks the student's ability to use the essential ZEMAX tools. An optical system recipe is provided, and the student performs its modeling, conducts performance analysis, and presents conclusions.

Author (-s)	Publishing year	Title	Issue of a periodical or volume of a publication	Publishing house or web link
Required reading				

W.J. Smith	2008	Modern optical engineering		McGraw-Hill Professional.
J.M.Geary	2002	Introduction to LENS design with Practical ZEMAX examples		Willmann-Bell,Inc
Recommended reading				
H. Gross (redaktorius)	2004-2008	Handbook of Optical Systems (1-4)		Wiley-VCH
P. Mouroulis, J. Macdonald	1997	Geometrical optics and optical design,		Oxford University Press