



STUDIJŲ DALYKO (MODULIO) APRAŠAS

Dalyko (modulio) pavadinimas	Kodas
Ultratrumpųjų impulsų optika	

Dėstytojas (-ai)	Padalinys (-iai)
Koordinuojantis: prof. Gintaras Valiulis Kitas (-i):	Fizikos fakultetas, Lazerinių tyrimų centras

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

Igyvendinimo forma	Vykdymo laikotarpis	Vykdymo kalba (-os)
Auditorinė	Rudens semestras	Lietuvių

Reikalavimai studijuojančiajam	
Išankstiniai reikalavimai: Optikos, Lazerių fizikos (ar kvantinės elektronikos), netiesinės optikos kursai	Gretutiniai reikalavimai (jei yra):

Dalyko (modulio) apimtis kreditais	Visas studento darbo krūvis	Kontaktinio darbo valandos	Savarankiško darbo valandos
5	140	64	76

Dalyko (modulio) tikslas: studijų programos ugdomos kompetencijos		
Bendrosios: kritinio mąstymo ugdymas, gebėjimas dirbti grupėje su įvairių parengtį turinčiais kolegomis. Dalykinės: identifikuoti, suprasti, paaiškinti ir praktiškai taikyti pagrindinius ultratrumpų impulsų optikos reiškinius; mokėti praktiškai atlikti skaičiavimus, leidžiančius modeliuoti ultratrumpųjų šviesos impulsų sklaidimą optinėmis terpėmis; susipažinti su prametrinių šviesos dažnio keitiklių veikos principais ir mokėti juos taikyti praktikoje; suprasti šiuolaikinės netiesinės optikos problematiką ir vystymosi tendencijas.		
Dalyko (modulio) studijų siekiniai	Studijų metodai	Vertinimo metodai
Ultratrumpųjų impulsų tiesinės ir netiesinės optikos problematika ir susijusių optinių reiškinių samprata	Paskaitos, seminarai	Egzaminas raštu (90%), ir įvertinimas už seminaro pranešimą (10%).

Temos	Kontaktinio darbo valandos						Savarankiškų studijų laikas ir užduotys		
	Paskaitos	Konsultacijos	Seminarai	Pratybos	Laboratoriniai	Praktika	Visas kontaktinis	Savarankiškas	Užduotys
1. Įvadas: erdviškai bei laikiškai moduluotų šviesos bangų samprata, as netiesinius optinius reiškinius. Bangų amplitudės ir fazės laikinė bei erdvinė moduliacija. Lokalizuota šviesa-bangų paketai. Trumpų šviesos impulsų gavimo metodai.	2		1				3	2	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas.
2. Šviesos impulsai tiesinėse dispersinėse terpėse. Šviesos impulsų modeliai. Ribotojo spektro impulsai. Moduluotos fazės impulsai. Gauso	2		1				3	2	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas.

impulsai. Šviesos impulso sklaidimo lygtis dispersinėje terpėje. Įvairūs dispersijos teorijos artiniai.								
3. Antrasis dispersijos teorijos artinys. Normali ir anomali grupinių greičių dispersija. Šviesos impulsų dispersinis plitimas. Moduluotos fazės impulso spūda dispersinėje terpėje. Trečiasis dispersijos teorijos artinys. Laikinės šviesos impulsų spūdos aberacijos. Kintamųjų atskyrimo (Furje) metodo taikymas diferencialinėms lygtims su dalinėmis išvestinėmis.	4		1			5	2	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas.
4. Šviesos pluoštų difrakcija. Šviesos pluoštas – lokalizuota erdvėje šviesa. Erdvinė ir laikinė bangos paketų analogija tiesinėje optikoje. Šviesos pluoštų modeliai. Gauso pluoštai. Pluoštų skėstis. Difrakcinė skėstis. Kirchofo metodas. Erdvinis šviesos signalo spektras. Fraunhoferio ir Frenelio difrakcija.	4		1			5	2	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas.
5. Parabolinė difrakcijos lygtis. Plokščiojo fronto Gauso pluošto difrakcija. Sferinio fronto Gauso pluošto difrakcija. Pluoštų fokusavimosi aberacijos. Beselio pluoštai.	4		1			5	2	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas.
6. Erdvėlaikyje lokalizuota šviesa. Pakreipto fronto impulsai. Banginio paketo erdvinių ir laikinių savybių susiejimas. Kampinė dispersija. Pakrypusio fronto impulsų gavimas. X impulsai tiesinėje terpėje – X kulkos.	4		1			5	2	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas.
7. Šviesos impulsų ir pluoštų saviveika. Netiesinis lūžio rodiklis. Netiesinė poliarizacija. Saviveika. Šviesos impulsų fazinis moduliavimasis, jo sąlygotas impulsų spektras. Fazinė impulsų savimoduliacija normalios grupinių greičių dispersijos sąlygomis. Šviesos impulsų spauštuvai. Fazinė impulsų savimoduliacija anomalios grupinių greičių dispersijos sąlygomis. Šrėdingerio solitonai. Šviesos pluoštų fokusavimasis.	6		2			8	8	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas.
8. Šviesos impulsų parametrinė trifotonė sąveika. Pagrindinės lygtys, jų išvedimo procedūra. Tribangės sąveikos ryšys su parametrinio rezonanso reiškiniu. Pirmasis ir antrasis dispersijos teorijos artiniai, grupinių greičių dispersijos ir difrakcijos įskaitymas. Grupinis nederinimas ir apertūrinis diafragminis reiškiny. Erdvinė ir laikinė netiesinės optikos analogija. Tiesinė (duotojo kaupinimo lauko režimas) ir netiesinė veika. Grupinis bangų sinchronizmas.	4		2			6	8	Paskaitų medžiagos, vadovėlių ir mokslinės literatūros skaitymas
9. Tribangė tiesinė veika. Parametrinis stiprinimas monochromatinio kaupinimo lauke. Parametrinio stiprinimo dažnių juosta. Parametrinė difuzija. Skirtuminio ir suminio dažnio bangų generacija žemadažnio monochromatinio kaupinimo atveju. Bifotoninė dispersija. Impulsinis kaupinimas: signalo siaurėjimas grupinio derinimo sąlygomis. Pagrindiniai parametrinio stiprinimo režimai impulsinio kaupinimo atveju: stiprinimas, kai vienos iš bangų grupinis greitis sutampa su kaupinimo grupiniu greičiu; soties režimas; modinio stiprinimo režimas. Faziškai jungtinių bangų parametrinis stiprinimas, fazinės moduliacijos apgrąža, fazinės moduliacijos dauginimas.	9		3			12	6	Paskaitų medžiagos ir vadovėlių skaitymas.

10. Netiesinio sąveikos režimo ypatumai. Grupinių greičių sinchronizmo atvejais. Gigantiško subharmonikos impulso generacija. Netiesinė suminio dažnio impulsų spūda. Netiesinė suminio dažnio pakrypusio fronto impulsų spūda. Achromatinis fazinis sinchronizmas. Parametriniai solitonai. Netiesiniai X impulsai.	9		3				12	6	Paskaitų medžiagos, vadovėlių ir mokslinės literatūros skaitymas
11. Pasiruošimas egzaminui ir jo laikymas								3 6	Paskaitų medžiagos, vadovėlių ir mokslinės literatūros skaitymas
Iš viso	48		16				64	7 6	

Vertinimo strategija	Svoris proc.	Atsiskaitymo laikas	Vertinimo kriterijai
Egzaminas	90	Egzaminų sesijos metu	Egzaminas raštu, 30 klausimų iš viso kurso. 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				
A. P. Stabinis, G. Valiulis	2008	Ultratrumpųjų šviesos impulsų netiesinė optika		TEV, Vilnius, 244 p.
S.A.Akhmanov, V.A.Vysloukh, A.S.Chirkin	1992	Optics of Femtosecond Laser Pulses”, American Institute of Physics		American Institute of Physics, New York, 366p.
J.C.Diels, W.Rudolph	1996	Ultrashort laser pulse phenomena		Academic press, San Diego, 581 p.
Papildoma literatūra				
A. Dubietis	2011	Netiesinė optika		VU leidykla, Vilnius, 178 p.
R. W. Boyd	2008	Nonlinear optics	3 rd. Ed.	Academic Press, 613 p.
E. Hecht	2002	Optics		Addison Wesley, 698 p.



COURSE UNIT (MODULE) DESCRIPTION

Course unit (module) title	Code
Ultrashort pulse optics	

Lecturer(s)	Department(s) where the course unit (module) is delivered
Coordinator: prof. Gintaras Valiulis Other(s):	Laser Research Center, Faculty of Physics

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

Mode of delivery	Period when the course unit (module) is delivered	Language(s) of instruction
	Autumn semester	Lithuanian

Requirements for students	
Prerequisites: Courses of Optics, Laser Physics (or Quantum Electronics)	Additional requirements (if any):

Course (module) volume in credits	Total student's workload	Contact hours	Self-study hours
5	140	64	76

Purpose of the course unit (module): programme competences to be developed		
General: training of critical thinking, ability to work in a team Specific: identify, understand and explain ultrashort pulse optical phenomena and apply them in practice; able to perform solutions and design the numeric code for ultrashort light pulse propagation modelling; knowledge of operation principles of optical parametric amplification, ability to apply them in practice; understanding of modern trends of nonlinear optics		
Learning outcomes of the course unit (module)	Teaching and learning methods	Assessment methods
Understanding of ultrashort pulse optics and related phenomena	Lectures, seminars	Exam (90%), seminars (10%)

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 spatially and temporally modulated light waves. Wave spatio-temporal amplitude and phase modulation. Localized light as a wave-packet. Ultrashort light pulse formation methods.	2		1				3	2	Reading of lecture notes and textbooks

2. Light pulses in linear dispersive medium. Types of light pulses. Transform-limited and phase-modulated pulses. Gaussian pulses. Truncated wave equation governing light pulse propagation in dispersive medium. Various dispersion approximations	2		1				3	2	Reading of lecture notes and textbooks
3. Second order of dispersion approximation. Normal and anomalous group velocity dispersion. Pulse dispersive spreading. Phase-modulated pulse compression in dispersive medium. Third order dispersion approximation. The aberrations of pulse compression. Fourier (variable separation) method for partial differential equations.	4		1				5	2	Reading of lecture notes and textbooks
4. Light beam diffraction. Light beam: spatially localized radiation. Spatial and temporal analogy of wave-packets. Types of light beams. Gaussian beam. Beam diffraction broadening. Kirchhoff method. Beam spatial spectrum. Fraunhofer and Fresnel diffraction.	4		1				5	2	Reading of lecture notes and textbooks
5. Parabolic diffraction equation. Diffraction of Gaussian beam with flat and spherical front. Beam focusing aberrations. Bessel beams.	4		1				5	2	Reading of lecture notes and textbooks
6. Spatio-temporally localized light. Tilted pulses. The interconnection of wave-packet spatial and temporal properties. Angular dispersion. Formation of tilted pulses. X pulses in linear dispersive medium.	4		1				5	2	Reading of lecture notes and textbooks
7. Light pulse and beam self-action. Nonlinear refractive index. Nonlinear polarization. Self-phase modulation. Self-phase modulation in normal group dispersion region. Pulse compressors. Self-phase modulation in anomalous group dispersion region. Schroedinger solitons Self-focusing.	6		2				8	8	Reading of lecture notes and textbooks
8. Three-wave parametric interaction. Three light wave interaction equations, the derivation procedure. Relation with the parametric resonance phenomenon. 1-st and 2-nd order dispersion approximations, diffraction and group velocity dispersion. Group velocity mismatch and lateral walk-off. Spatio-temporal analogy in nonlinear optics. Linear and nonlinear regime. Group velocity matching.	4		2				6	8	Reading of lecture notes and textbooks, laboratory work
9. Three-wave interaction in linear regime. Parametric amplification in monochromatic pump field. Parametric amplification bandwidth. Parametric diffusion. Difference and sum frequency generation in the case of low-frequency monochromatic pump. Bi-foton dispersion. Pulsed pump: pulse shortening in the case of group velocity matching. Most important regimes with pulsed pump: parametric amplification, when signal is group velocity matched with pump; saturation regime; modal amplification regime. Amplification of phase-conjugated waves, chirp reversal, chirp enhancement.	9		3				12	6	Reading of lecture notes and textbooks
10. Three-wave nonlinear interaction regime. Group velocity matching. Giant pulse generation. Sum frequency nonlinear compression. Sum frequency compression with tilted pulses.	9		3				12	6	Reading of lecture notes and textbooks, laboratory work

Achromatic phase-matching. Parametric solitons. Nonlinear X pulses.									
11. Preparation for the exam								36	Reading of lecture notes and textbooks, laboratory work
Total	48		16				64	76	

Assessment strategy	Weight, %	Deadline	Assessment criteria
Exam	90	By the end of the course	Exam in written form, 4 questions from the whole course. The mark definitions: <5 below 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				
A. P. Stabinis, G. Valiulis	2008	Nonlinear optics of ultrashort light pulses (in Lithuanian)		TEV, Vilnius, 244 p.
S.A.Akhmanov, V.A.Vysloukh, A.S.Chirkin	1992	Optics of Femtosecond Laser Pulses”, American Institute of Physics		American Institute of Physics, New York, 366p.
J.C.Diels, W.Rudolph	1996	Ultrashort laser pulse phenomena		Academic press, San Diego, 581 p.
Optional reading				
A. Dubietis	2011	Nonlinear optics (in Lithuanian)		Vilnius University Press, Vilnius, 178 p.
R. W. Boyd	2008	Nonlinear optics	3 rd. Ed.	Academic Press, 613 p.
E. Hecht	2002	Optics		Addison Wesley, 698 p.