



SD(M) pavadinimas	Course title
Dinaminės sistemos ir chaosas	Dynamical Systems and Chaos

SD(M) priklausomybė studijų pakopai

Course subjection to study level

Studijos: Studies:	B – Pirmosios pakopos First cycle
-----------------------	--------------------------------------

SD(M) priklausomybė studijų programai

Course subjection to programme

SD(M) priklausomybė studijų krypčių ir krypčių grupei

The list of study fields and groups of fields

SD(M) priklausomybė dalykų grupei *	1 – studijų dalyko Course	Studijų krypčių grupės kodas Code of the group of study fields	Studijų krypties kodas Code of the study field
SD(M) priklausomybė programos daliai **	B – Studijų krypties dalykų dalis Part of Study area Subjects		
Struktūrinė SD priklausomybė ***	K – katedros Department	A	A01

*) **Grupė:** *) 1 - studijų dalyko; 2 - praktikos; 3 - baigiamojo darbo ar projekto; 4 - baigiamojo egzamino; 5 - tiriamojo darbo; 6 - profesinio testavimo; 7 - kitas.

**) A - Bendrųjų universitetinių studijų; B - Studijų krypties; C - Specializacijos.

***) U - universiteto; F - fakulteto; K - katedros.

*) **Group:** *) 1 - Course; 2 - Practice; 3 - Final Work or Project; 4 - Final Examination; 5 - Research Work; 6 - Professional Testing; 7 - Other.

**) A - General; B - Field; C - Specialization.

***) U - University; F - Faculty; K - Department.

SD(M) kodas

Course number

Fakultetas Faculty	Katedra Department	Pakopa *	Modulio Nr. Number
F	M	B	16607

SD(M) kreditai

Course volume in credits

Iš viso: Total:	Iš jų: KD, KS, KP, PR There out:
6	0

SD(M) Atsiskaitymo forma

Course assessment

I, E1, E2, E, BE, BD, TD, A	KD, KS, KP, PR
E	-

*) B - pirmoji pakopa; A - vientisosios studijos; M - antroji pakopa.

*) B - first cycle studies; A - integrated studies; M - second cycle studies.

SD(M) valandų paskirstymas pagal studijų formas ir būdus

Distribution of course hours by study forms and ways

Studijų forma Study form	Valandos Hours								Kontaktinių Contact
	Kodas Code	Studijų būdas * Study way	Paskaitoms Lectures	Lab. darbams Laboratory works	Pratyboms Practical works	Konsultacijoms Consultation	Sav. darbui Independent work	Iš viso Total	
Nuolatinės studijos Full-time studies	NL	S	30	15	15	4	96	160	64

*) Studijų būdas: S - semestrais; M - moduliai; C - ciklais; T - nuotolinis; NI - neakivaizdinis intensyvusis.

*) Study process forms: S - semesters; M - modules; C - periods; T - distance; NI - part-time.

SD(M) ANOTACIJA

Kurso metu nagrinėjami kokybiniai dinaminų sistemų tyrimo metodai. Supažindinama su pagrindinėmis netiesinėmis dinamikos sąvokomis - fazine erdve, rimties taškais, stabilumu, bifurkacijomis, ribiniais ciklais. Daug dėmesio skiriama pirmos ir antros eilės tolydžiosioms dinaminėms sistemoms. Taip pat supažindinama su chaoso teorijos pagrindinėmis sąvokomis apsiribojant išsamia tolydžiosios Lorencio sistemos analize ir diskrečiais vienmačiais atvaizdais.

Šis kursas yra įvadas į dinaminio chaoso teoriją, kuri yra aktyviai vystoma šiais laikais.

Studentai numatytu tvarkaraštyje metu privalo dalyvauti ne mažiau kaip 50 proc. teorinių paskaitų, 60 proc. pratybų ir atlikti

ne mažiau kaip 80 proc. laboratorinių darbų.

ANNOTATION OF COURSE

The course examines the qualitative research methods for dynamical systems. Students are introduced to the basic concepts of nonlinear dynamics - the phase space, fixed points, stability, bifurcation, limit cycles. Much attention is given to the continuous dynamical systems of the first and second order. Students are also introduced to the basic concepts of chaos theory limited to a detailed analysis of the continuous Lorenz system and discrete one-dimensional iterative maps. This course is an introduction to the theory of dynamical chaos, which is being actively developed nowadays.

Students must attend at least 60% of the time scheduled practical works, 80% of the time scheduled laboratory works and 50% of the lectures.

SD(M) TIKSLAS

Dinaminių sistemų ir chaoso kurso tikslas - supažindinti su šiuolaikiniais dinaminių sistemų tyrimo metodais ir suformuoti praktinius jų taikymo įgūdžius.

AIM OF COURSE

The aim of the course of Dynamical Systems and Chaos is the introduction of modern methods of investigation of dynamic systems and development of practical skills.

Studento pasiekimų vertinimo formulė

Studentų žinių vertinimui taikoma kriterinė proporcinė žinių vertinimo sistema. Dinaminių sistemų ir chaoso modulio studijos baigiamos egzaminu. Egzamino pažymys apskaičiuojamas taip:

$$E = 0,2 \cdot TE + 0,1 \cdot ND + 0,1 \cdot LD + 0,1 \cdot KD + 0,5 \cdot E,$$

(20 proc.+10 proc.+ 10 proc. + 10 proc. + 50 proc.)

E - egzamino pažymys pagal dešimties balų sistemą,

ND - namų darbų, KD - kontrolinio darbo, LD - laboratorinių darbų, TE - tarpinio egzamino pažymiai pagal dešimties balų sistemą.

Assessments methods of students formula

Critical proportional knowledge assessment system is applied to assess students' knowledge. The dynamical systems and chaos module is completed by the exam. The exam grade is calculated as follows:

$$E = 0,2 \cdot TE + 0,1 \cdot ND + 0,1 \cdot LD + 0,1 \cdot KD + 0,5 \cdot E,$$

(20 pct.+10 pct.+ 10 pct. + 10 pct. + 50 pct.)

E - assessment of the exam applying a ten-point system,

ND - home works, KD - test, LD - laboratory works, TE - intermediate exam assessments applying a ten-point system.

Pagrindinė literatūra (ne daugiau kaip 5 šaltiniai):

Main references (not more than 5 references)

Eil. Nr. No.	Leidinio autoriai ir pavadinimas (elektroninių leidinių ir žiniatinklio adreso) Authors and title (site address in case of e-publication)
1.	M. Brin, G. Stuck. Introduction to dynamical systems. Cambridge University Press, 2002.
2.	M.W. Hirsch, S. Smale, R.L. Devaney. Differential equations, dynamical systems and an introduction to chaos. Academic Press, 2013.
3.	S.H. Strogatz. Nonlinear dynamics and chaos: with applications to physics, biology, chemistry, and engineering. Westview Press, 2014.

*) Kortelės pildymo metu

*) At the form filling moment

Papildoma literatūra (ne daugiau kaip 10 šaltinių):

Additional references (not more than 10 references)

Eil. Nr. No.	Leidinio autoriai ir pavadinimas (elektroninių leidinių ir žiniatinklio adreso) Authors and title (site address in case of e-publication)
1.	K. Pyragas. Netiesinės dinamikos pagrindai: vadovėlis aukštųjų mokyklų tikslųjų mokslų specialybių studentams. Vilnius, Ciklonas, 2003.
2.	P. Cvitanovic, R. Artuso, R. Mainieri, G. Tanner, G. Vattay. Chaos: classical and quantum, 2015. Prieiga per internetą: http://chaosbook.org/chapters/ChaosBook.pdf
3.	S.P. Kuznetsov. Dynamical chaos. Fizmatlit, Moscow, 2001 (in Russian). Prieiga per internetą: http://www.e-reading.club/book.php?book=107806

Eil. Nr.	Leidinio autoriai ir pavadinimas (elektroninių leidinių ir žiniatinklio adreso)
4.	N. Bellomo. Mechanics and dynamical systems with Mathematica, Birkhäuser, 2000.

*) Kortelės pildymo metu

*) *At the form filling moment*

Savarankiško darbo turinys

Content of individual work

Užduoties pavadinimas <i>Assignment title</i>	Sav. darbo apimtis vienai užduočiai <i>Amount of hours of independent work for a single task</i>					Užduočių skaičius <i>Number of tasks</i>					Iš viso valandų <i>Total hours</i>					Įvertinimo dalis % <i>Part of Evaluation %</i>								
	Rekomen- duojamos val. <i>Recom- mended hours</i>	Skirta val. <i>Separated hours</i>					NL (T)	NL (S)	NL (Sav.)	I(S)	I(T)	NL(T)	NL(S)	NL (Sav.)	I(S)	I(T)	NL(T)	NL(S)	NL (Sav.)	I(S)	I(T)			
		NL(T)	NL(S)	NL (Sav.)	I(S)	I(T)																		
Pasirengimas atsiskaitymui Preparation for evaluation	10-60		39					1					39											
Kontrolinis darbas Test	4-20		10					1					10					10						
Namų darbas Home work	4-27		5					2					10					10						
Kolokviumas Intermediate examination	8-27		27					1					27					20						
Laboratorinis darbas Laboratory work	2-12		10					1					10					10						
Iš viso: <i>Total:</i>													96											

*) Papildomas laukas pildomas tik tada, kada taikomas SD(M) kortelėje nenurodytas studijų būdas: M - moduliai; C - ciklais; T - nuotolinis

*) *Must be used in case study way does not fall into standard category: M - modules; C - periods; T - distance*

Savarankiško darbo grafikas

Individual work schedule

Užduoties tipas <i>Task type</i>	Užduoties pateikimo(*) ir atsiskaitymo(+) savaitė <i>Week of Assignment setting (*) and assessment(+)</i>																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Nuolatinės studijos (S) <i>Full-time studies</i>																				
Namų darbas <i>Home work</i>	* +	1				1	2					2								
Kontrolinis darbas <i>Test</i>	* +		1							1										
Kolokviumas <i>Intermediate examination</i>	* +	1					1													
Laboratorinis darbas <i>Laboratory work</i>	* +	1										1								

Pratybų temų sąrašas

List of the Course exercise topics

Temos pavadinimas <i>Topic title</i>	Valandų skaičius <i>Number of hours</i>				
	NL(T)	NL(S)	NL(Sav.)	I(S)	I(T)
1. Pirmosios eilės sistemų tyrimas grafiniu ir tiesinės analizės metodais. <i>Linear and graphical analysis for one dimensional dynamical systems. Potentials.</i>		2			
2. Fazinis laukas apskritime. Bifurkacijos pirmos eilės sistemose. <i>Phase portrait on the circle. Bifurcations in the first order systems.</i>		2			
3. Antros eilės tiesinių sistemų tyrimas ir fazinės erdvės vaizdavimas. <i>The second order linear systems. Phase space.</i>		2			
4. Antros eilės netiesinių sistemų tyrimas ir fazinės erdvės vaizdavimas. <i>The second order nonlinear systems. Phase portraits.</i>		2			
5. Ribinių ciklų tyrimas. Ribinių ciklų buvimo/nebuvimo kriterijų taikymas. <i>Analysis of limit cycles. The existence of closed orbits.</i>		2			
6. Bifurkacijų antros eilės sistemose tyrimas. <i>Bifurcations in the second-order systems.</i>		2			

Pratybų temų sąrašas
List of the Course exercise topics

Temos pavadinimas <i>Topic title</i>	Valandų skaičius <i>Number of hours</i>				
	NL(T)	NL(S)	NL(Sav.)	I(S)	I(T)
7. Vienmačių atvaizdų tyrimas. <i>One dimensional maps.</i>		2			
8. Kartojimas. <i>Review.</i>		1			
Iš viso: <i>Total:</i>		15			

Laboratorinių darbų sąrašas
List of the Course laboratory work

Temos pavadinimas <i>Topic title</i>	Valandų skaičius <i>Number of hours</i>				
	NL(T)	NL(S)	NL(Sav.)	I(S)	I(T)
1. Pirmos eilės tolydžių sistemų tyrimas grafiškai taikant matematinį paketą. Sistemų lygčių sprendimas analiziškai ir skaitiškai. Asimptotinis sprendinių su skirtingomis pradinėmis sąlygomis elgesys. <i>First-order systems and their graphical analysis. Solving equations on the computer, numerical solutions. Asymptotics of the solutions.</i>		3			
2. Bifurkacijų pirmos eilės sistemose tyrimas. Bifurkacinės diagramos sudarymas. <i>The analysis of bifurcations in the first-order systems. Bifurcation diagram.</i>		4			
3. Antros eilės sistemų tyrimas. Fazinių portretų braižymas. <i>The analysis of the second-order system. Phase portraits.</i>		4			
4. Chaotinio elgesio tyrimas diskrečiosiose sistemose. <i>Chaos analysis in discrete systems.</i>		4			
Iš viso: <i>Total:</i>		15			

Paskaitų temų sąrašas
List of the Course lecture topics

Temos pavadinimas <i>Topic title</i>	Valandų skaičius <i>Number of hours</i>				
	NL(T)	NL(S)	NL(Sav.)	I(S)	I(T)
1. Dinaminių sistemų klasifikavimas ir pavyzdžiai, pagrindinės sąvokos. <i>Overview of dynamical systems classification, classifications and examples.</i>		2			
2. Pirmosios eilės tolydžios sistemos: vienmatis vektorinis laukas, grafinis ir tiesinis analizės metodai, rimties taškų stabilumo sąvoka. Vektorinis laukas faziniame apskrityje. Tolygieji ir netolygieji osciliatoriai, susietieji osciliatoriai. <i>First-order systems. Method of graphical analysis, one-dimensional vector field, stable and unstable fixed points. Flows on the circle. Vector field on the circle. Uniform and nonuniform oscillators.</i>		4			
3. Valdančiųjų parametrų įtaka. Lokaliosios bifurkacijos ir bifurkacijos taškai, bifurkacinė diagrama. Neidealios bifurkacijos. <i>Influence of the parameters. Bifurcations. Imperfect bifurcations.</i>		4			
4. Antros eilės tiesinių sistemų rimties taškų klasifikacija. <i>Classification of fixed points for the second order linear systems.</i>		2			
5. Netiesinių antros eilės sistemų tyrimas ir fazinių portretų sudarymas. Įvairių matematinių modelių (populiacijos dinamikos, elektros grandinių, osciliatorių ir kt.) kokybinis tyrimas. <i>Nonlinear second-order systems and their phase portraits. Various mathematical models (population dynamics, electric circuits, oscillators and e.c.) and their qualitative analysis.</i>		4			
6. Ribinių ciklų klasifikacija. Periodinių sprendinių buvimo/nebuvimo kriterijai antros eilės sistemose. <i>Limit cycles and their classification. The existence of closed orbits.</i>		2			
7. Lokaliosios bifurkacijos antros eilės sistemose. Hopfo bifurkacija. Nelokaliosios bifurkacijos. Liapunovo funkcijos taikymas stabilumo analizėje. Puankare atvaizdai. <i>Local bifurcations in second-order systems. Hopf bifurcation. Nonlocal bifurcations. Lyapunov function and its application in stability analysis. Poincare maps.</i>		4			

Paskaitų temų sąrašas
List of the Course lecture topics

Temos pavadinimas <i>Topic title</i>	Vandens skaičius <i>Number of hours</i>				
	NL(T)	NL(S)	NL(Sav.)	I(S)	I(T)
8. Deterministinio chaoso teorijos pagrindinės sąvokos, Lorenco sistema. Chaotinės sistemos požymiai, Liapunovo eksponentė. <i>The main concepts of chaos theory. Lorenz systems. Indications of chaotic system, Lyapunov exponent.</i>		4			
9. Diskrečiosios dinaminės sistemos. Vienmačių atvaizdų tyrimas: stabilumas, periodo dvigubėjimo ciklai, bifurkacijos. Chaotinis elgesys diskrečiosiose sistemose. <i>Discrete dynamical systems. The analysis of one-dimensional maps: stability, period doubling cycles, bifurcations. Chaos in discrete systems.</i>		4			
Iš viso: <i>Total:</i>		30			

*) Papildomas laukas pildomas tik tada, kada taikomas SD(M) kortelėje nenurodytas studijų būdas: M - moduliais; C - ciklais; T - nuotoliniu

*) *Must be used in case study way does not fall into standard category: M - modules; C - periods; T - distance*

Fundamentinių mokslų fakulteto *Modernių technologijų matematikos (612G12001) 2016-07-01* programos studijų rezultatų sąsajos su SDM rezultatais bei studijų ir studentų pasiekimų vertinimo metodais

Links of the Mathematics of Modern Technologies (612G12001) of the Faculty of Fundamental Sciences with the course unit and evaluation methods of students achievements

Programos studijų rezultatai <i>Study programme outcomes</i>	SD(M) rezultatai <i>Course results</i>	Studijų metodai <i>Methods of studies</i>	Studento pasiekimų vertinimo metodai <i>Evaluation methods of student achievements</i>	Studentų pasiekimų vertinimo kriterijai pagal lygmenis <i>Assessments criteria of students achievements by Assessment levels</i>
Z2. Galės transformuoti įgytas matematikos ir modernių informacinių technologijų žinias, jas taikys analizuodami ir modeliuodami įvairius procesus, gebės nustatyti naujus ryšius. Z2. Will be able to transform the acquired knowledge of mathematics and modern information technologies, apply it by analyzing and modeling various processes, and will be able to identify new relationships.	Studentai transformuos įgytas žinias nagrinėdami ir analizuodami dinaminę sistemą ir chaoso uždavinius. Students will transform the acquired knowledge by examining and analyzing dynamical systems and chaos problems.	Teorinės paskaitos, pratimai, laboratoriniai užsiėmimai, literatūros studijos, svarankiškas darbas. Theoretical lectures, exercises, laboratory works, study of literature, independent work.	Namų darbai, laboratoriniai darbai, tarpinis egzaminas, egzaminas. Home works, laboratory works, intermediate exam, final exam.	Slenkstinis (5-6): studentas žino pagrindines dalyko sąvokas ir moka jomis naudotis sprendžiamas paprasčiausias užduotis. Tipinis (7-8): studentas žino pagrindines sąvokas, gali jas paaiškinti ir teorinius faktus geba tinkamai taikyti atlikdamas praktinių ir teorinių užduočių analizę, skaičiavimus taiko kompiuterines programas. Puikūs (9-10): studentas yra ne tik pasiekęs tipinį lygmenį, bet įgytas žinias geba taikyti naujose situacijose. Threshold (5-6): The student knows the basic concepts of the subject and is able to apply them solving simple problems. Typical (7-8): The student knows the basic concepts, is able to explain them and to apply theoretical facts correctly analyzing practical and theoretical problems, applies computer programs for calculations. Excellent (9-10):

				The student not only reached the typical level, but is able to apply the acquired knowledge in new situations.
GT1. Gebės įžvelgti tarpdalykinius ryšius ir į problemą pažvelgti kaip į visumą, savarankiškai analizuos problemas, nagrinės ir vertins matematinių modelių tinkamumą, savybes, supras matematinių įrodymų būtinumą, griežtumą. GT1. Will be able to spot interdisciplinary relationships and look at the problem as a whole, analyze the problems independently, analyze and assess the properties of mathematical models, as well as the overall suitability of those models, and will understand the necessity and rigor of mathematical proof.	Gebės savarankiškai analizuoti dinamines sistemas ir jų savybes. Will be able to analyze dynamical systems and their properties independently.	Teorinės paskaitos, pratybos, laboratoriniai užsiėmimai, literatūros studijos, svarankiškas darbas. Theoretical lectures, exercises, laboratory works, study of literature, independent work.	Namų darbai, laboratoriniai darbai, tarpinis egzaminas, egzaminas. Home works, laboratory works, intermediate exam, final exam.	Slenkstinis (5-6): studentas žino pagrindines dalyko sąvokas ir moka jomis naudotis sprendamas paprasčiausias užduotis. Tipinis (7-8): studentas žino pagrindines sąvokas, gali jas paaiškinti ir teorinius faktus geba tinkamai taikyti atlikdamas praktinių ir teorinių užduočių analizę, skaičiavimams taiko kompiuterines programas. Puikūs (9-10): studentas yra ne tik pasiekęs tipinį lygmenį, bet įgytas žinias geba taikyti naujose situacijose. Threshold (5-6): The student knows the basic concepts of the subject and is able to apply them solving simple problems. Typical (7-8): The student knows the basic concepts, is able to explain them and to apply theoretical facts correctly analyzing practical and theoretical problems, applies computer programs for calculations. Excellent (9-10): The student not only reached the typical level, but is able to apply the acquired knowledge in new situations.
SG1. Gebės operuoti abstrakčiomis sąvokomis, matematiškai mąstyti, patikėtus užduotis aprašyti matematine kalba (matematinėmis formulėmis), taikyti arba (ir) kurti analizei skirtas kompiuterines programas.	Studentai gebės savarankiškai sudaryti realių uždavinių matematinius modelius, dinaminėms sistemoms tirti taikys kompiuterines programas. Students will be able to create mathematical models for real problems independently, apply will and and apply computer	Teorinės paskaitos, pratybos, laboratoriniai užsiėmimai, literatūros studijos, svarankiškas darbas. Theoretical lectures, exercises, laboratory works, study of literature, independent work.	Namų darbai, laboratoriniai darbai, tarpinis egzaminas, egzaminas. Home works, laboratory works, intermediate exam, final exam.	Slenkstinis (5-6): studentas žino pagrindines dalyko sąvokas ir moka jomis naudotis sprendamas paprasčiausias užduotis. Tipinis (7-8): studentas žino pagrindines sąvokas, gali jas paaiškinti ir

SG1. Will be able to operate abstract concepts, think mathematically, describe tasks in a mathematical way (using mathematical formulas), and will be able to create computer programs designed for analysis.	programs for investigation of dynamical systems.			teorinius faktus geba tinkamai taikyti atlikdamas praktinių ir teorinių užduočių analizę, skaičiavimams taiko kompiuterines programas. Puikūs (9-10): studentas yra ne tik pasiekęs tipinį lygmenį, bet įgytas žinias geba taikyti naujose situacijose. Threshold (5-6): The student knows the basic concepts of the subject and is able to apply them solving simple problems. Typical (7-8): The student knows the basic concepts, is able to explain them and to apply theoretical facts correctly analyzing practical and theoretical problems, applies computer programs for calculations. Excellent (9-10): The student not only reached the typical level, but is able to apply the acquired knowledge in new situations.
---	--	--	--	---

SD(M) sudarytojas (-ai) (parašas, vardas ir pavardė)

Course compiled by (full name, signature)

Natalija Tumanova

Katedros vedėjas (parašas, vardas ir pavardė)

Head of Department (full name, signature)

Raimondas Čiegis

SD(M) atestuojamas <i>The Course is certified</i>		
SD(M), skirtas studijų programai: <i>The Course for the programme of studies:</i>	Moderniųjų technologijų matematika Mathematics of Modern Technologies	
SD(M) atestacija galioja: <i>Course certification is valid:</i>	nuo <i>from</i>	iki <i>till</i>

SD(M) atestavo <i>the Course certified by</i>	Fundamentinių mokslų fakulteto studijų komitetas Faculty of Fundamental Sciences Study Committee		
Fakulteto studijų komiteto pirmininkas (vardas ir pavardė, parašas) <i>Chairman of the Studies committee (full name, signature)</i>		Data <i>Date</i>	