

## UČNI NAČRT PREDMETA / COURSE SYLLABUS

**Predmet:** Teorija dinamičnih sistemov

**Course title:** Theory of dynamical systems

Študijski program in stopnja Study programme and level	Študijska smer Study field	Letnik Academic year	Semester Semester
Univerzitetni študijski program 2.stopnje Fizika	Fizika	2	drugi
First cycle academic study program Physics	Physics	2	second

**Vrsta predmeta / Course type**

obvezni predmet/compulsory course

**Univerzitetna koda predmeta / University course code:**

???

Predavanja Lectures	Seminar Seminar	Vaje Tutorial	Klinične vaje work	Druge oblike študija	Samost. delo Individ. work	ECTS
45		15			150	7

**Nosilec predmeta / Lecturer:**

prof. dr. Tomaž Prosen

**Jeziki / Languages:**

**Predavanja / Lectures:** Slovensko/Slovene

**Vaje / Tutorial:** Slovensko/Slovene

**Pogoji za vključitev v delo oz. za opravljanje študijskih obveznosti:**

**Prerequisites:**

Vpis v letnik študija.

Enrollment into the program.

**Vsebina:**

---

**Content (Syllabus outline):**

---

- Dinamični sistemi, matematične definicije, shematična klasifikacija s primeri.
- Prevedba zvezne dinamike na diskretno:
  - stroboskopska preslikava, primer: brean rotator in 'standardna' preslikava,
  - Poincarejeva sečna ploskev in Poincarejeva preslikava.
- Geometrija dinamičnih sistemov: Cantorjeve množice, fraktali, fraktalna dimenzija.
- Invariantne množice in periodične orbite. Kanonične preslikave in simplektične matrike. Lokalna stabilnost in klasifikacija periodičnih orbit:
  - eliptični tip,
  - hiperbolični tip,
  - parabolični tip.
- Kvantitativna definicija kaosa I: eksponentna občutljivost na začetne pogoje. Merjenje kaosa: eksponenti Ljapunova in Ljapunov spekter. Numerične metode.
- Kvantitativna definicija kaosa II: Produkcija informacijske entropije. Dinamične entropije, definicije in primeri (entropija Kolmogorov-Sinai, topološka entropija). Algoritmčna kompleksnost.
- Fazna povprečja, časovna povprečja in korelacijske funkcije. Deterministična difuzija, ergodičnost in mešanje.
- Enodimenzionalne preslikave. Preprosti populacijski modeli v biologiji in Feigenbaumov model - logistična preslikava. Feigenbaumov scenarij, univerzalnost prehoda v kaos v eni dimenziji. Generične bifurkacije v eni dimenziji. Izrek Šarkovskega. Invariantne gostote in Perron-Frobeniusov operator.
- Abstraktni dinamični sistemi, topološki kaos in simbolična dinamika:
  - Bernoullijev premik. Primer: pekovska preslikava,

- Dynamical systems, mathematical definitions, schematic classification with examples.
- Transforming continuous dynamics to discrete dynamics:
  - stroboscopic map, example: kicked rotator and the standard mapping
  - Poincare surface of section and Poincare mapping.
- Geometry of dynamical systems: Cantor sets, fractals, fractal dimension.
- Invariant sets and periodic orbits. Canonical transformations and symplectic matrices. Local stability analysis of periodic orbits:
  - elliptic type,
  - hyperbolic type,
  - parabolic type.
- Quantitative definition of chaos I: exponential sensitivity to initial conditions. Measuring chaos: Lyapunov exponents and Lyapunov spectrum. Numerical methods.
- Quantitative definition of chaos II: Information entropy production, definitions and examples (Kolmogorov-Sinai entropy, topological entropy). Algorithmic complexity.
- Phase space averages, time averages and correlation functions. Deterministic diffusion, ergodicity and dynamical mixing.
- One-dimensional maps. Simple models of population dynamics in biology. Feigenbaum model – logistic map, Feigenbaum scenario, universality of transition to chaos in one dimension. Šarkovskii theorem. Invariant densities and Perron-Frobenius operator.
- Abstract dynamical systems, topological chaos and symbolic dynamics:
  - Bernoulli shift. example: Baker map,
  - Smale horseshoe,
  - Markov processes.
- Hamiltonian dynamical systems. Poincare

### Temeljni literatura in viri / Readings:

- E. Ott, "Chaos in Dynamical Systems", (Cambridge University Press, Cambridge 1993),
- V. I. Arnold, "Mathematical Methods of Classical Mechanics", (Springer-Verlag, New York 1978),
- A. J. Lichtenberg in M. J. Lieberman, "Regular and Stochastic Motion", (Springer-Verlag, New York 1983),
- Spletna knjiga: P. Cvitanović, "Chaos - Classical and Quantum: A Cyclist Treatise", <http://chaosbook.dk> (zadnja verzija, 2007)

### Cilji in kompetence:

Uvod v matematično teorijo dinamičnih sistemov, oz. ergodično teorijo, s poudarkom na primerih, predvsem uporabe v fiziki in mehaniki.

### Objectives and competences:

Introduction to mathematical theory of dynamical systems, or, ergodic theory, with emphasis on examples with applications in physics and mechanics.

### Predvideni študijski rezultati:

### Intended learning outcomes:

**Znanje in razumevanje**

Pregled in razumevanje kvalitativnih dinamičnih lastnosti sistemov v fiziki in njihova kvantitativna dinamična karakterizacija.

**Uporaba**

Pridobljeno znanje naj bi študent znal uporabljati predvsem pri modeliranju in računalniškem simuliranju dinamičnih procesov v fiziki in tudi širše.

**Refleksija**

Uporaba abstraktne matematične teorije za razlago preprosto opazljivih pojavov v naravi in v računalniških simulacijah.

**Prenosljive spretnosti - niso vezane le na en predmet**

Metode in vsebine se neposredno navezujejo na (neravnovesno) statistično fiziko in analitično mehaniko.

**Knowledge and understanding:**

Overview and understanding of qualitative dynamical properties of systems in physics and their quantitative dynamical characterization.

**Application:**

Student should know how to apply the new knowledge in theoretical modelling and computer simulations of complex systems in physics and other quantitative sciences.

**Reflection:**

Application of abstract mathematical theories for explaining simple observable phenomena in nature and in computer simulations.

**Transferable skills:**

The methods and contents of the course have links to: (nonequilibrium) statistical physics and analytical mechanics.

**Metode poučevanja in učenja:**

Predavanja in samostojno reševanje manjših projektnih nalog in njihova predstavitev in diskusija v okviru vaj.

**Learning and teaching methods:**

Lectures, homework projects and their discussion jointly in the class

**Načini ocenjevanja:**

Delež (v  
%) /  
Weight (in  
%)

**Assessment:**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Izdelava manjše projektne domače naloge in njena uspešna predstavitev v okviru vaj,</li> <li>• Izdelava nekoliko obsežnejše zaključne projektne domače naloge in njena uspešna predstavitev v obliki pisnega izdelka z zagovorom (ocene: 1-5 (negativno), 6-10 (pozitivno;)) ob upoštevanju Statuta UL in fakultetnih pravil).</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>20%</b></p> <p style="text-align: center;"><b>80%</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Completing a small homework project and its presentation in the class,</li> <li>• At the end of the course: completion of somewhat more challenging homework project, with a written report, and its defence with professor. <b>grading: 1-5 (fail), 6-10 (pass) (according to the Statute of UL)</b></li> </ul>
--	---	---

### Reference nosilca / Lecturer's references:

Prof. dr. Tomaž Prosen

- 1) GORIN, Thomas, PROSEN, Tomaž, SELIGMAN, Thomas H., ŽNIDARIČ, Marko. Dynamics of Loschmidt echoes and fidelity decay. *Physics reports*, ISSN 0370-1573. [Print ed.], 2006, 435, nos. 2-5, str.3-156. [COBISS.SI-ID [1972068](#)]
- 2) PROSEN, Tomaž, ŽNIDARIČ, Marko. Matrix product simulations of non-equilibrium steady states of quantum spin chains. *Journal of statistical mechanics*, ISSN 1742-5468, 2009, no. 2, str. P02035-1-P02035-19. [COBISS.SI-ID [2150756](#)]
- 3) PROSEN, Tomaž. Open XXZ spin chain : nonequilibrium steady state and strict bound on ballistic transport. *Physical review letters*, ISSN 0031-9007. [Print ed.], 2011, vol. 106, issue 21, str. 217206-1-217206-4. [COBISS.SI-ID [2347108](#)]
- 4) ILIEVSKI, Enej, PROSEN, Tomaž. Thermodynamic bounds on Drude weights in terms of almost-conserved quantities. *Communications in Mathematical Physics*, ISSN 0010-3616, 2013, vol. 318, no. 3, str. 809-830. [COBISS.SI-ID [2535524](#)]
- 5) PROSEN, Tomaž. Exact nonequilibrium steady state of an open Hubbard chain. *Physical review letters*, ISSN 0031-9007. [Print ed.], 2014, vol. 112, iss. 3, str. 030603-1-030603-5. [COBISS.SI-ID [2636644](#)]