

Complexiteit en criticaliteit (C004106)

Cursusomvang (nominale waarden; effectieve waarden kunnen verschillen per opleiding)

Studiepunten 6.0

Studietijd 180 u

Aanbodsessies en werkvormen in academiejaar 2026-2027

A (semester 2)	Engels	Gent	werkcollege zelfstandig werk hoorcollege
B (semester 2)	Nederlands	Gent	hoorcollege zelfstandig werk werkcollege

Lesgevers in academiejaar 2026-2027

Ryckebusch, Jan	WE05	Verantwoordelijk lesgever
-----------------	------	---------------------------

Aangeboden in onderstaande opleidingen in 2026-2027

	stptn	aanbodsessie
Master of Science in de ingenieurswetenschappen: toegepaste natuurkunde	6	B
Master of Science in Engineering Physics	6	A
Master of Science in Physics and Astronomy	6	A
Uitwisselingsprogramma fysica en sterrenkunde (niveau master)	6	A

Onderwijstalen

Engels, Nederlands

Trefwoorden

Complexiteit, criticaliteit, emergentie, universaliteit, algoritmen

Situering

In deze cursus zal de student een diep inzicht krijgen in de numerieke en analytische methodes die gebruikt kunnen worden om de relevante macro-eigenschappen te bepalen van complexe systemen die bestaan uit vele interagerende componenten. De cursus is gebaseerd op concepten zoals complexiteit, emergentie, "coarse graining", criticaliteit, metastabiliteit and fases. Er wordt aangetoond dat dergelijke universele principes toelaten om de werking van geselecteerde materialen, van biologische systemen en socio-economische systemen te begrijpen. De methodes die geïntroduceerd worden om complexe systemen te beschrijven zijn ondermeer numerieke algoritmen, perturbatietheorie, gemiddeld-veld theorie, schaalaaannames, en de "real-space renormalization group".

Inhoud

De cursus is opgebouwd uit de volgende vijf onderdelen:

1) **Ising model** (fases, overzicht van evenwichts statistische fysica, magnetizatie, response functies, spin-spin correlatie functies, kritische temperatuur, gemiddeld-veld en storingstheorie van het Ising model, Landau theorie van continue fase transitities, Widom scaling ansatz, universele kritische exponenten, ordeparameters, Ginzburg criterium, "real-space renormalization" theorie, orde-wanorde transitities in legeringen, fluctuatie-dissipatie theorema, Wang-Landau sampling, Markov keten Monte-Carlo simulaties, het verband tussen magneten en vloeistoffen, nucleatie fenomenen)

II) **Percolatiemodel** (definitie, cluster dichtheden, gemiddelde clustergrootte, zelfsimilariteit, fractale dimensie, correlatielengte, ordeparameter, real-space renormalization, "fixed points", "coarse graining", algoritmen om clusters in netwerken te vinden, statistische technieken voor fenomenen die zich over vele schalen uitstrekken)

III) **Zelfgeorganiseerde criticaliteit and niet-evenwichtssystemen**

(dynamisch

evenwicht, zandhoop metafoor, Bak-Tang-Wiesenfeld (BTW) model, gemiddeld-veld

theorie van het BTW Model, voorbeelden van natuurfenomenen met schaal-vrij gedrag,

dynamica van fenomenen met schaal-vrij gedrag)

IV) **Dichte gassen en vloeistoffen** (Van-der Waals veldentheorie, storingstheorie,

effectieve interacties, cumulant expansies, viriaal expansies,

distributie- en correlatiefuncties, cluster diagrammen,

fluctuatie-dissipatie theorema, snelheids-autocorrelatiefuncties)

V) **Econofysica** (crashes als kritische fenomenen, random walks in finance and physics, fysica-geïnspireerde modellen voor de analyse van tijdsreeksen, multi-schaal analyse van tijdsreeksen, early-warning indicators, discrete schaalinvariantie en log-periodische machtwetten)

Begincompetenties

De instromende student heeft voldoende kennis opgedaan van Statistische Fysica en van Computervaardigheden. Dit kan bijvoorbeeld door het volgen van een vak in Statistische Fysica en een vak Programmeren (Python of vergelijkbare programmeertaal) op bachelorniveau.

Eindcompetenties

- 1 De fundamentele statistische theorieën voor de dynamica van complexe systemen met veel interagerende entiteiten begrijpen.
- 2 Inzicht hebben in geavanceerde simulatietechnieken die gebaseerd zijn op fysisch inzicht.
- 3 Deze simulatietechnieken kunnen toepassen.
- 4 Inzicht hebben op hoe complexe systemen reageren op wijzigingen in externe omstandigheden.
- 5 Een diep inzicht hebben in de concepten van fases en fasetransities in complexe systemen.

Creditcontractvoorwaarde

Toelating tot dit opleidingsonderdeel via creditcontract is mogelijk na gunstige beoordeling van de competenties

Examencontractvoorwaarde

Dit opleidingsonderdeel kan niet via examencontract gevolgd worden

Didactische werkvormen

Werkcollege, Hoorcollege, Zelfstandig werk

Studiemateriaal

Type: Handboek

Naam: Hoofdstukken uit verscheidene boeken

Richtprijs: Gratis of betaald door opleiding

Optioneel: nee

Taal : Engels

Online beschikbaar : Ja

Beschikbaar in de bibliotheek : Ja

Type: Slides

Naam: Presentaties die de theorielessen begeleiden.

Richtprijs: Gratis of betaald door opleiding

Optioneel: nee

Taal : Engels

Beschikbaar op Ufora : Ja

Type: Handouts

Naam: Nota's met opdrachten en modeloplossingen die de oefeningensessies begeleiden

Richtprijs: Gratis of betaald door opleiding

Optioneel: nee

Taal : Engels

Beschikbaar op Ufora : Ja

Type: Software

Naam: Python Jupyter notebooks: illustratie van de algoritmen/methodes die aan bod komen

Richtprijs: Gratis of betaald door opleiding

Optioneel: ja

Beschikbaar op Athena : Nee

Online beschikbaar : Ja

Beschikbaar in de bibliotheek : Nee

Beschikbaar via studentenvereniging : Nee

Gebruik en levensduur binnen het opleidingsonderdeel : eenmalig

Gebruik en levensduur binnen de opleiding : eenmalig

Gebruik en levensduur na de opleiding : niet

Referenties

- 1 Kim Christensen and Nicholas R. Moloney: "Complexity and Criticality" (Imperial College Press, 2005)
- 2 Harvey Gould and Jan Tobochnik: "Statistical and Thermal Physics (Second Edition)" (Princeton University Press, 2021)
- 3 James P. Sethna, "Statistical Physics: Entropy, Order Parameters and Complexity (Second Edition)" (Oxford University Physics, 2021)
- 4 Ricard V. Solé, "Phase Transitions" (Princeton University Press, 2011)
- 5 Stefan Thurner, Rudolf Hanel, Peter Klimek, "The Theory of Complex Systems" (Oxford University Physics, 2018)
- 6 Hendrik Jeldtoft Jensen, "Complexity Science: The Study of Emergence" (Cambridge University Press, 2023)

Vakinhoudelijke studiebegeleiding

The instructor(s) can be contacted after the lectures, or by appointment. Interactive support via Ufora. The lecturer offers the possibility to discuss the course material with individual or small groups of students. The university's electronic learning environment is employed to discuss the course material with the students and to draw their attention to current research advances in complexity science.

Evaluatiemomenten

periodegebonden evaluatie

Evaluatievormen bij periodegebonden evaluatie in de eerste examenperiode

Mondelinge evaluatie, Schriftelijke evaluatie open boek

Evaluatievormen bij periodegebonden evaluatie in de tweede examenperiode

Mondelinge evaluatie, Schriftelijke evaluatie open boek

Evaluatievormen bij niet-periodegebonden evaluatie

Tweede examenkans in geval van niet-periodegebonden evaluatie

Niet van toepassing

Toelichtingen bij de evaluatievormen

Mondeling examen met schriftelijke voorbereiding voor theorie. Een schriftelijk openboekexamen voor oefeningen.

Eindscoreberekening

- Mondeling examen met schriftelijke voorbereiding voor theorie: 60%
- Een schriftelijk openboekexamen voor oefeningen: 40%

