

## Relativistische hydrodynamica – van kwantumveldentheorie tot zwarte gaten (C004421)

**Cursusomvang** *(nominale waarden; effectieve waarden kunnen verschillen per opleiding)*  
**Studiepunten 6.0**      **Studietijd 180 u**      **Contacturen**      52.5u

**Aanbodsessies en werkvormen in academiejaar 2022-2023**

|                |        |      |                                 |        |
|----------------|--------|------|---------------------------------|--------|
| A (semester 1) | Engels | Gent | project                         | 13.75u |
|                |        |      | hoorcollege                     | 13.75u |
|                |        |      | werkcollege: geleide oefeningen | 25.0u  |

**Lesgevers in academiejaar 2022-2023**

Heller, Michal      WE05      Verantwoordelijk lesgever

**Aangeboden in onderstaande opleidingen in 2022-2023**

|                                                                                                                            | <b>stptn</b> | <b>aanbodssessie</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------|
| <a href="#">Educatieve Master of Science in de wetenschappen en technologie (afstudeerrichting fysica en sterrenkunde)</a> | 6            | A                    |
| <a href="#">Master of Science in de fysica en de sterrenkunde</a>                                                          | 6            | A                    |
| <a href="#">Uitwisselingsprogramma fysica en sterrenkunde (niveau master)</a>                                              | 6            | A                    |

**Onderwijstalen**

Engels

**Trefwoorden**

Relativistische hydrodynamica, Schwinger-Keldysh formalisme, kinetische theorie, toegepaste holografie, zwarte gaten, quark-gluon plasma's, zware-ionbotsingen

**Situering**

Het doel van deze cursus is het aanleren van zowel fundamentele concepten, als recente ontwikkelingen in de niet-evenwichtsveldentheorie rond relativistische viskeuze hydrodynamica, de microscopische oorsprong ervan en vragen over de toepasbaarheid ervan. Dit is een actueel onderwerp vanwege experimentele studies van de collectieve toestand van sterke interacties - het quark-gluon plasma - bij de versnellers RHIC en LHC in de afgelopen 20 jaar en de daarmee samenhangende theoretische vooruitgang. De cursus biedt studenten de gelegenheid hun kennis van kwantumveldentheorie te verdiepen door deze te bestuderen in de context van collectieve toestanden van materie. In dezelfde geest biedt het ook de mogelijkheid om algemene relativiteitsvaardigheden te trainen door een nieuw paradigma te bestuderen (holografie) waarin tijdsafhankelijke zwarte-gatenprocessen de niet-evenwichtsfysica van sterk gekoppelde kwantumveldentheorieën. Tenslotte zullen de studenten vertrouwd raken met de notie van asymptotische expansies, gewoonlijk bekend uit de perturbatietheorie in kwantumsystemen, door het bestuderen van hun verschijning ervan in de context van niet-evenwichtsfysica.

**Inhoud**

- Inleiding
- Grondbeginselen van relativistische hydrodynamica
- Relativistische hydrodynamica als een beginwaardeprobleem
- Viscositeit uit de Kubo-formule en het Schwinger-Keldysh formalisme
- Zwarte gaten als een nieuw gereedschap om sterk-gekoppelde kwantumveldentheorie te bestuderen
- Van zwak-gekoppelde kwantumveldentheorie naar relativistische kinetische theorie
- Niet-evenwichtsprocessen voorbij relativistische hydrodynamica

- Relativistische hydrodynamica en asymptotische reeksen
  - Samenvatting en bespreking van enkele open problemen in deze discipline
- De cursus vereist dat studenten in kleine groepen deelnemen aan projecten gebaseerd op literatuuronderzoek (bijvoorbeeld nieuwe formuleringen van bewegingsvergelijkingen voor relativistische hydrodynamica, actieformuleringen van relativistische hydrodynamica, baanbrekende toepassingen van asymptotische reeksen in relativistische hydrodynamica, relativistische hydrodynamica en fluctuaties, hogere afgeleide modificaties van algemene relativiteit en inzichten uit relativistische hydrodynamica, vertraagde correlatoren in vrije quantumveldentheorie, hydrodynamische attractoren) of eenvoudig onderzoek (bijvoorbeeld het numeriek oplossen van vergelijkingen van relativistische hydrodynamica of eenvoudige relativistische kinetische theorie numeriek, studie van asymptotische reeksen voor relativistische hydrodynamica in een nieuwe setting, studie van hydrodynamische attractoren in een nieuwe setting).

### **Begincompetenties**

“Kwantumveldentheorie” en “Relativiteitstheorie” zijn vereist. “Kwantum zwarte gaten en holografie” is nuttig, maar niet vereist om dit vak te volgen.

### **Eindcompetenties**

- 1 Inzicht in de relevantie van relativistische hydrodynamica voor de moderne theoretische fysica.
- 2 Inzicht in de uitdagingen van de niet-evenwichtsfysica van interagerende kwantumveldentheorieën.
- 3 Werkkennis van relativistische hydrodynamica en gerelateerde onderwerpen die het hedendaagse begrip weerspiegelt.
- 4 Verbetering van het begrip van andere belangrijke hedendaagse theoretische fysica-onderwerpen, zoals asymptotische reeksen, effectieve veldentheorie of modificaties van algemene relativiteit, via hun verschijning in de context van relativistische hydrodynamica.
- 5 Het vermogen opbouwen of versterken om a) wetenschappelijke artikelen te lezen waarin actuele ontwikkelingen in de theoretische natuurkunde worden besproken, en b) onderzoek te beginnen op dit gebied, of in de theoretische natuurkunde in het algemeen.
- 6 Opbouwen of versterken van het vermogen om te werken in een groep met een focus op wetenschappelijke samenwerking.
- 7 Opbouwen of versterken van het vermogen om de resultaten van groepsonderzoek te presenteren (met inbegrip van wetenschappelijk schrijven).

### **Creditcontractvoorwaarde**

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

### **Examencontractvoorwaarde**

Dit opleidingsonderdeel kan niet via examencontract gevolgd worden

### **Didactische werkvormen**

Begeleide zelfstudie, Hoorcollege, Project, Werkcollege: geleide oefeningen

### **Toelichtingen bij de didactische werkvormen**

Project: studenten vorm een team om een literatuuroverzicht voor te bereiden of om te participeren in een computationele oefening.

De teams stellen vervolgens hun resultaten voor in de vorm van een rapport en een presentatie.

### **Leermateriaal**

Lesmateriaal komt ter beschikking na elke les.

### **Referenties**

Freely available on the web:

<https://arxiv.org/abs/1205.5040>

<https://arxiv.org/abs/0909.0518>

<https://arxiv.org/abs/1707.02282>

<https://arxiv.org/abs/1712.05815>

#### **Vakinhoudelijke studiebegeleiding**

Outside lecture hours, the teacher will be available for further explanation during consultation hours and upon an appointment.

#### **Evaluatiemomenten**

periodegebonden en niet-periodegebonden evaluatie

#### **Evaluatievormen bij periodegebonden evaluatie in de eerste examenperiode**

Mondeling examen

#### **Evaluatievormen bij periodegebonden evaluatie in de tweede examenperiode**

Mondeling examen

#### **Evaluatievormen bij niet-periodegebonden evaluatie**

Werkstuk

#### **Tweede examenkans in geval van niet-periodegebonden evaluatie**

Examen in de tweede examenperiode is mogelijk

#### **Eindscoreberekening**

- 35% permanente evaluatie (project)
- 65% mondeling examen