

**University of Twente, Enschede
Friday, 17 April 2020**

Focus session ‘Computations and optics’

(An explanation in Dutch follows the abstracts)

Program:

- Daniel Brunner (University of Besançon): General considerations for neural networks implemented in photonic hardware
- Jan Klärs (UT): Coupled photon Bose-Einstein condensates: when condensation becomes a computation
- Allard Mosk (UU): Information and Light in Scattering Media
- Lyuba Amitonova (ARCNL): Computational imaging beyond the Abbe and Nyquist limits

Session leader: Willem Vos (UT)

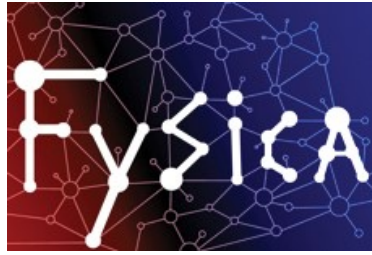
Abstracts:

Daniel Brunner (University of Besançon): General considerations for neural networks implemented in photonic hardware

The implementation of neural networks in analogue substrates is gaining substantial momentum in recent years. Besides encouraging progress, one needs to keep in mind and address the essential challenges: the scalability of such a computing architecture. I will introduce our recent breakthrough based on 3D integrated photonic interconnects for fully size-scalable neural network substrates. Furthermore, I will discuss the impact of noisy analogue, i.e. photonic, neurons and introduce a theoretical framework of noise propagation in analogue neural networks with noisy neurons.

Jan Klärs (UT): Coupled photon Bose-Einstein condensates: when condensation becomes a computation

Finding the energetic ground-state of a magnet with disordered spin-spin couplings is a well-known computationally hard problem. This so-called spin glass problem has no analytic solution and even numerical techniques are known to be inefficient. Many important optimisation problems in machine learning, logistics, computer chip design and DNA sequencing can be mathematically mapped to an equivalent spin glass problem. A method for solving the spin glass problem, thus, can serve as a blueprint for approaching a large class of mathematical optimisations. This motivates the development of analog spin glass simulators as a new class of computational devices specifically designed for simulating spin systems. A prototypical spin glass simulator consists of a lattice of simulated spins, for example represented by superconducting currents, laser light, or Bose-Einstein condensates, which are coupled to each other in a controllable fashion.



Controlling the flow of light inside a microcavity is a fundamental requirement for the implementation of an all-optical spin glass simulator. We have recently introduced a novel reversible microstructuring technique, which allows us to control the index of refraction inside a high finesse microresonator with micrometer spatial resolution [1]. The latter can be employed to create fully tunable trapping potentials for optical quantum gases in microresonators. In particular, it becomes possible to capture photons onto periodic lattices sites and to control their coupling. Using this technique, we have recently demonstrated in-phase and anti-phase coupling of coupled photon Bose-Einstein condensates [2]. Our device realizes an optical analogue of a controllable $0, \pi$ -Josephson junction. Similar to a transistor for electronics, a controllable photonic Josephson junction represents the key component for ultrafast optical spin glass simulation or all-optical oscillatory neural networks.

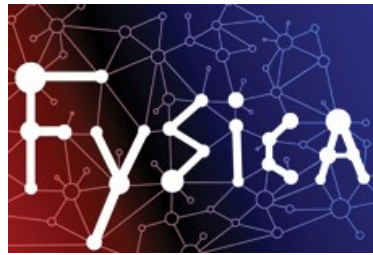
[1] D. Dung, C. Kurtscheid, T. Damm, J. Schmitt, F. Vewinger, M. Weitz, and J. Klaers, Nat. Photon. 11, 565 (2017).
[2] B. Kassenberg, M. Vretnar, S. Bissesar, and J. Klaers, arXiv:2001.09828 [cond-mat.quant-gas]

Allard Mosk (UU):

Random scattering of light, which takes place in paper, paint and biological tissue is a nuisance in applications because it hinders imaging and focusing. It is also a fascinating phenomenon that continues to yield surprising results. A particularly interesting concept is that of open transport channels which are specific wavefronts that are fully transmitted through thick scattering media. To find and study these channels we have characterized the light scattering by a strongly scattering sample for a large number of incident and outgoing waves of different wavelengths and spatial shapes. The resulting multispectral transmission matrix reveals that the open channels show unexpectedly high intensity fluctuations and frequency bandwidth. These results lay at the basis of new methods for imaging and optical measurements in challenging environments.

Lyuba Amitonova (ARCNL): Computational imaging beyond the Abbe and Nyquist limits

Ever since Antoni van Leeuwenhoek built his single-lens microscope in the late 1600s, optical microscopy has remained instrumental in many scientific disciplines. Conventional imaging still has many limitations: the spatial resolution is controlled by the diffraction of light and the imaging speed follows the Nyquist-Shannon sampling theorem. The confluence of advanced computational methods and the exponential growth of computing power helps to revolutionize imaging by rethinking both the optical design and the post-processing. I will show how computational methods push the boundaries of optical microscopy and provide imaging beyond any limits in a very simple and compact optical setup. I will introduce these new far-field imaging techniques based on random light scattering, the sparsity constraint and compressive sensing algorithms.



Optisch informatie verwerken

In moderne optische en fotonische toepassingen wordt licht gebruikt als energievoerder – denk aan het opvangen van zonne-energie of als informatiedrager - bijvoorbeeld bij snelle dataoverdracht per glasvezel naar huis. In de sessie Computations in optics tijdens FYSICA 2020 richten we ons op de rol van licht in informatietransport en informatieverwerking, inclusief mogelijke nieuwe rollen in computers.

In de jaren tachtig van de vorige eeuw was er veel aandacht voor optische computers die analoog zouden zijn aan traditionele elektronische computers. Met optische logica zou licht door logische poorten reizen, waarbij geschakeld zou worden door niet-lineaire optische effecten wanneer twee of meer signalen worden gecombineerd. Uiteindelijk verdween dit onderzoek van het toneel, omdat de vereiste niet-lineaire sterkte niet kon worden bereikt zonder aanzienlijke optische absorptie en er waren nog een paar andere onopgeloste probleempjes.

Heden ten dage is optica nog steeds zéér levendig mede door fotonica op de nanoschaal: nanofotonica. Hierdoor worden volledig nieuwe optische verschijnselen en technieken mogelijk. Het is dus logisch dat er weer wordt gewerkt aan fotonische computers. Hierbij is een belangrijke realisatie dat fotonische computers niet meer worden gezien als concurrent van elektronische computers, maar als complementair, om taken uit te voeren die lastig zijn voor elektronische computers. In onze sessie bespreken we daarom nieuwe ontwikkelingen in de optica, waaronder de geïntegreerde optica die de afgelopen tien jaar een enorme sprong voorwaarts heeft gemaakt inclusief grootschalige parallelisatie. Daniel Brunner van de Universiteit van Besançon in Frankrijk presenteert zijn recente doorbraken met behulp van 3D geïntegreerde fotonische interconnecties. Hiermee demonstreert Brunners team neurale netwerken die volledig schaalbaar zijn. Jan Klärs van de Universiteit Twente onderzoekt gekoppelde fotonische Bose-Einstein-condensaten die tegelijkertijd en parallel in vele kleine trilholtes gevangen zitten. Dit is een intrigerend platform voor parallelle fotonische informatiemaniplatie, vooral voor de belangrijke klasse van zogenaamde NP-harde problemen.

Een ander traditioneel begrip in de optica is dat de beste optische systeem voor informatieverwerking geheel schoon moeten zijn. Met andere woorden, er mogen geen vuiltjes op lenzen zitten anders wordt de optisch informatie aangetast of gaat zelfs volledig verloren. Dankzij baanbrekend werk van Allard Mosk van de Universiteit Utrecht en eerder Twente, realiseert men zich nu dat juist volledig ondoorzichtige verstrooiende systemen zeer interessant zijn, omdat de verstrooiing leidt tot vele verschillende parallelle kanalen die kunnen worden aangestuurd met modern modulatoren. Zo wordt beeldvorming - een bekende optische informatieverwerkingsprobleem – niet meer benaderd met de traditionele lenzenmakersaanpak, maar als een optisch vraag-en-antwoord-spel. Lyuba Amitonova van ARCNL en de Vrije Universiteit in Amsterdam introduceert in de optica met veel succes methoden die zijn geïnspireerd door *compressive sensing* uit de signaalverwerking. Dit werk heeft een sterk groeiende invloed op toepassingen variërend van halfgeleidermetrologie tot biomedische beeldvorming.

De sessie wordt georganiseerd door Willem Vos, een van de oprichters van de cluster Applied Nanophotonics (ANP) in het MESA+ Instituut voor Nanotechnologie aan de Universiteit Twente. Deze levendige gemeenschap is momenteel de grootste Nederlandse academische fonicagroep, die verschijnselen onderzoekt variërend van Anderson-lokalisatie van licht, via miniatuurlasers tot fotonische quantumprocessors op een chip, en die veel actieve contacten onderhoudt met het bedrijfsleven over de hele wereld.