

BACHELORARBEITEN SS 2017 – THEMENLISTE

Univ.-Prof. Dr. Hans J. Briegel

- Adaptive quantum computing in dynamic environments

Univ.-Prof. Dr. Thomas Franosch

- Active Brownian particle in a gravitational field

Univ.-Prof. Dr. Andreas Läuchli

- Nichtgleichgewichtsdynamik von Quantenvielteilchensystemen
- Machine learning & restricted Boltzmann machines

Univ.-Prof. Mag. Dr. Helmut Ritsch

- Spontane Emission und Dunkelzustände
- Quantenoptik Simulationen mit der Julia Quantum Optics Toolbox
- Number factoring by finding ground states of spin systems

Univ.-Prof. Dr. Oriol Romero-Isart

- Wavepacket dynamics in quantum micromechanical interferometry
- Continuous Quantum Position Measurement

Assoz. Prof. Mag. Dr. Wolfgang Dür

- Verschränkungsreinigung und deren Anwendung
- Quantenmetrologie

Ao. Univ.-Prof. Dr. Gebhard Grübl

- Koordinatenfreie Elektrodynamik (vergeben an Joshua Graf)

Assoz. Prof. Mag. Dr. Barbara Kraus

- Verschränkungstheorie (2 Parteien)
- One pure qubit quantum computation

Assoz. Prof. Dipl.-Phys. Dr. Anita Reimer

- Synchrotron radiation and the method of virtual quanta

Univ.-Prof. Dr. Hans J. Briegel

Adaptive quantum computing in dynamic environments

Repeated measurements of the state of a single qubit can be used to reveal the presence of unknown, and possibly time dependent, stray magnetic fields. In quantum information applications, such information is crucial for stable processing, e.g. by adapting the measurement bases accordingly. Here we explore how reinforcement learning, in the form of projective simulation, can be employed to solve this task, and how it can be integrated into measurement-based quantum computation.

The topic will be co-supervised by Dr. Katja Ried.

References:

- [1] D. E. Browne, One-way quantum computation (Slide Show)
<http://vanilla47.com/PDFs/Quantum/1/One-way%20Quantum%20Computation%20SlidShow.pdf>
- [2] M. Tiersch, E. J. Ganahl, H. J. Briegel, Adaptive quantum computation in changing environments using projective simulation, Scientific Reports 5, 12874 (2015)
<http://www.nature.com/articles/srep12874>

Univ.-Prof. Dr. Thomas Franosch

Active Brownian particle in a gravitational field

There has been an increasing interest in the study of self-propelled particles, that move by converting energy of the surroundings into directed motion. These active particles are abundant in nature such as bacteria and sperms, which propell themselves by a single or an array of flagella pushed by molecular motors. Recently, also artificial microswimmers have been synthesized experimentally and are expected to play a crucial role in nanotechnology.

These active agents move in an aqueous solution at low Reynolds number and are therefore subject to strong stochastic fluctuations, which compete with their directed swimming motion. A useful method to describe the motion of these active particles are Langevin equations, where the particle moves along its instantaneous orientation, which is subject to Brownian noise.

In this project we consider a particle subject to a gravitational force and work out its influence on the particle's dynamics. The goal of the bachelor thesis is to discuss the dynamical behavior of the active Brownian particle in terms of computer simulations and analytical computations.

References:

- [1] C. Kurzthaler, S. Leitmann, and T. Franosch, Intermediate scattering function of an anisotropic active Brownian particle, *Scientific Reports* 6, 36702 (2016).
- [2] B. ten Hagen, S. van Teeffelen, and H. Löwen, Brownian motion of a self-propelled particle, *J. Phys. Condens. Matter* 23, 194119 (2011).
- [3] B. ten Hagen, F. Kümmel, R. Wittkowski, D. Takagi, H. Löwen, and C. Bechinger, Gravitaxis of asymmetric self-propelled colloidal particles, *Nat. Commun.* 5, 4829 (2014).

Univ.-Prof. Dr. Andreas Läuchli

Nichtgleichgewichtsdynamik von Quantenvielteilchensystemen

Die theoretische und numerische Beschreibung von zeitabhängigen Phänomenen von Quantenvielteilchensystemen ist ein Thema von großem aktuellem Interesse, stimuliert durch fundamentale theoretische Fragestellungen, sowie experimentellen Fortschritten. In dieser Bachelorarbeit soll die Expansionsdynamik von Quantenvielteilchensystemen numerisch untersucht werden. Es geht dabei insbesondere um wechselwirkende ein- und zweidimensionale Systeme, wobei auch der Einfluss von Unordnung eine Rolle spielen soll.

Machine learning & restricted Boltzmann machines

Machine learning is emerging as a powerful framework to analyze and predict the physics of classical and quantum many body systems. Among the many methods the application of neural networks, in the form of restricted Boltzmann machines, allow to greatly enhance (quantum) Monte Carlo simulations. In particular, the affinity of restricted Boltzmann machines to the renormalization procedure allows for efficient simulation of critical systems. This constitutes a promising approach to tackle some of the toughest problems in statistical physics: the Ising spin glass and random 3-graphs.

Phys. Rev. B 95, 035105 (2017)

Phys. Rev. E 92, 022128 (2015)



Univ.-Prof. Mag. Dr. Helmut Ritsch

Spontane Emission und Dunkelzustände

Quantenoptik Simulationen mit der Julia Quantum Optics Toolbox

Number factoring by finding ground states of spin systems

Univ.-Prof. Dr. Oriol Romero-Isart

Wavepacket dynamics in quantum micromechanical interferometry

Creating large quantum superpositions of a massive object comparable to its size is an exciting possibility allowed by quantum mechanics, and it is a fundamentally interesting challenge to test such large superpositions for as massive an object as possible with the means of a double-slit interferometer.

In recent literature, levitated micromechanical oscillators [1] have emerged as ideal candidate setups to enter the regimes of large mass M along with large delocalization distances d , combining techniques from quantum micromechanics and matter-wave interferometry [2, 3].

In this project the student will learn about wavepacket dynamics and some general basic principles in matter-wave interferometry with levitated micromechanical oscillators (or quantum micromechanical interferometry), aiming at identifying the necessary limiting conditions for such systems as analysed in the recent letter [4].

[1] O. Romero-Isart, M. L. Juan, R. Quidant, and J. I. Cirac, *New J. Phys.* 12, 033015 (2010).

[2] O. Romero-Isart, A. C. Pflanzer, F. Blaser, R. Kaltenbaek, N. Kiesel, M. Aspelmeyer, and J. I. Cirac, *Phys. Rev. Lett.* 107, 020405 (2011).

[3] O. Romero-Isart, *Phys. Rev. A* 84, 052121 (2011).

[4] O. Romero-Isart, arXiv:1612.04290v2 (2016).

Continuous Quantum Position Measurement

In this project, the student will first undertake a pedagogical study of continuous quantum measurement based on the paper [1], which is an approach generalizing the idea of ideal projective Quantum measurements where a quantum system collapses to an eigenstate corresponding to the eigenvalue of the measured observable. Such generalization is not just a mathematical exercise but serves to describe most known measurements in quantum mechanics especially in quantum optics since one invariably never directly measures a quantum system.

Following this as a practical demonstration of the formalism, the student can study and reproduce the results of [2] where the authors study the continuous measurement of the position of a quantum particle that is hopping between the two arms of a double well. Interestingly, when the measurement strength is large enough the particle is localized to one of the wells by the very act of measuring which is known as the quantum Zeno effect. This part will involve also some simple numerical computation giving familiarity with the solving of stochastic differential equations.

Finally as an extension the student can apply the lessons learnt from the first two parts to study the continuous measurement of the squared position of a particle in a double well. If the center of the well is located at the origin such a measurement will only give us information as to how far the particle is from the center and hence can be used to make a virtual double slit for the particles wave-function purely by measurement [3,4].

[1] K. Jacobs and D. Steck, Contemporary Physics 47, 279 (2006) <https://arxiv.org/abs/quant-ph/0611067>.

[2] M. J. Gagen, H. M. Wiseman, and G. J. Milburn, Phys. Rev. A 48, 132 (1993)
http://www.millitangent.org/pubs/q_meas/08_double_well_zeno.pdf

[3] O. Romero-Isart, Phys. Rev. A 84, 052121 (2012) <https://arxiv.org/abs/1110.4495>

[4] H. Pino et.al. (2016) <https://arxiv.org/abs/1603.01553>

Assoz. Prof. Mag. Dr. Wolfgang Dür

Verschränkungsreinigung und deren Anwendung

Quantenmechanische Verschränkung ist eine zentrale Ressource für viele Anwendungen im Bereich der Quanteninformationsverarbeitung. Die Herstellung von verschränkten Zuständen mit hoher Güte, insbesondere über große Entfernungen, ist aber schwierig. Verschränkungsreinigung stellt eine Möglichkeit dar, aus mehreren verrauschten Kopien von verschränkten Zuständen wenige Kopien mit einer höheren Güte zu erzeugen. Dazu wurden mehrere Verfahren entwickelt die in der Lage sind sowohl Zweiparteien- als auch Vielparteien- verschränkte Zustände zu reinigen. Dazu gehören sogenannte Recurrence Protokolle, die iterativ auf jeweils zwei verschränkten Zuständen operieren, aber auch Hashing- und Breedingverfahren, welche ein Ensemble von verschränkten Quantenzuständen reinigen. In dieser Arbeit sollen diese Verfahren verstanden, und deren Stabilität unter Rauschen und Imperfektionen untersucht werden. Darüber hinaus sollen verschiedene Anwendungen von Verschränkungsreinigung, insbesondere für Quantenkommunikation und Quantenrechnen, diskutiert werden.

Literatur:

C.H. Bennett, G. Brassard, S. Popescu, B. Schumacher, J.A. Smolin, and W.K. Wootters, Phys. Rev. Lett. **76**, 722 (1996); (E-print: <https://arxiv.org/abs/quant-ph/9511027>)

W. Dür and H.-J. Briegel, Rep. Prog. Phys. **70**, 1381 (2007); (E-print: <https://arxiv.org/abs/0705.4165>)

Quantenmetrologie

Die Bestimmung von physikalischen Größen mit möglichst großer Genauigkeit gehört zu den zentralen Problemen der Physik. Dabei geht es nicht nur um die Messung von Naturkonstanten, sondern auch die möglichst exakte Bestimmung von Frequenzen, Zeiten, Kräften oder Stärke von Magnetfeldern. Die Quantenmetrologie beschäftigt sich mit der erzielbaren Genauigkeit von Messungen unter Berücksichtigung der Quantenmechanik. Dabei konnte gezeigt werden, dass quantenmechanische Verschränkung (bzw. allgemein die Ausnutzung von Quanteneffekten) eine quadratische Verbesserung der erreichbaren Präzession erlaubt. Ziel der Arbeit ist es, die Grundlagen der Quantenmetrologie zu verstehen und einfache Quantenmetrologie-protokolle (z.B. zur Frequenz- oder Phasenbestimmung) nachzuvollziehen. Darüber hinaus sollen Limitierungen auf Grund von Rauschen und Dekohärenz untersucht werden.

Literatur:

V. Giovannetti, S. Lloyd, and L. Maccone, Science 306, 1330 (2004)
(E-print: <https://arxiv.org/abs/quant-ph/0412078>)

Vittorio Giovannetti, Seth Lloyd, Lorenzo Maccone, Nature Photonics 5, 222 (2011)
(E-print: [arXiv:1102.2318](https://arxiv.org/abs/1102.2318))

P. Sekatski, M. Skotiniotis, J. Kolodynski and W. Dür, E-print: <https://arxiv.org/abs/1603.08944>

Ao. Univ.-Prof. Dr. Gebhard Grübl

Koordinatenfreie Elektrodynamik

Thema wurde bereits vergeben.

Assoz. Prof. Mag. Dr. Barbara Kraus

Verschränkungstheorie (2 Parteien)

Eine Funktion von einem Zustand ist ein Verschränkungsmonoton, wenn sie gewisse Eigenschaften erfüllt. Zum Beispiel kann Verschränkung unter lokalen Operationen im Mittel nicht erhöht werden. Für zwei Teilchen sind diese monotone Funktionen gut verstanden und es gibt viele verschiedene Beispiele dafür.

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es die Bedingungen an Verschränkungsmonotone (bzw. Verschränkungsmaße) zu verstehen und die Eigenschaften einiger Verschränkungsmonotone auszuarbeiten.

Literatur:

[1] G. Vidal, *Entanglement monotonies*, J.Mod.Opt. 47 (2000) 355

[2] R. Horodecki, P. Horodecki, M. Horodecki, K. Horodecki, *Quantum entanglement*, Rev.Mod.Phys.81:865-942,2009

One pure qubit quantum computation

In den meisten Quantenberechnungen werden reine Anfangszustände verwendet. In [1] hingegen wurde ein Quantenalgorithmus vorgeschlagen, der nur ein einzelnes Qubit in einem reinen Zustand benötigt. Alle anderen Qubits sind anfangs in einem vollständig gemischten Zustand. Es wurde gezeigt, dass diese Art von Quantenberechnung ein Problem effizienter lösen kann als jeder bekannte klassische Algorithmus. Weiters wurde gezeigt, dass dieses Model weniger effizient ist als andere Quantenberechnungen.

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es diese Art von Quantenberechnungen zu verstehen und mit der gewöhnlichen zu vergleichen.

[1] E. Knill, R. Laflamme, Power of One Bit of Quantum Information, Phys. Rev. Lett. 81 (25), pp 5672 (1998).

Assoz. Prof. Dipl.-Phys. Dr. Anita Reimer

Synchrotron radiation and the method of virtual quanta

Charged relativistic particles accelerated in a magnetic field emit synchrotron radiation. In this bachelor thesis work classical synchrotron radiation from charged spin-1/2 particles in an environment of static magnetic fields shall be quantitatively explained in the framework of Compton scattering using Weizsäcker-William's method of virtual quanta.

The student will need to have good knowledge about radiation theory (classical electrodynamics) and basics in special relativity.