



# Kandidatexamensarbeten 2023

## Fysik

Ämnesansvariga:

Jack Lidmar  
[jlidmar@kth.se](mailto:jlidmar@kth.se)

Josefin Larsson  
[josla@kth.se](mailto:josla@kth.se)



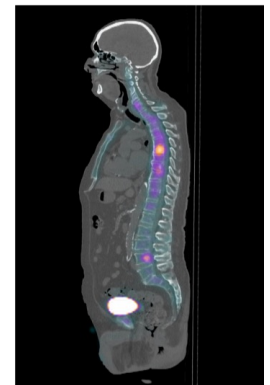
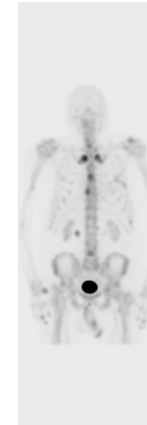
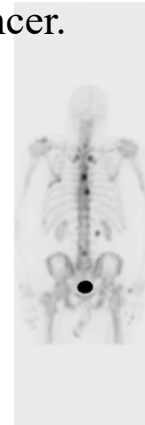
## Ny teknik för medicinsk avbildning av cancer

*Handledare: Mats Danielsson (mats.danielsson@mi.physics.kth.se)*

Institutionen för Fysik på KTH har en stark historia vad gäller att uppfinna och utveckla framtidens system för medicinsk avbildning. Systemen har installerats i över 30 länder och hjälpt ett stort antal patienter.

Detta projekt handlar om så kallad nuklearmedicin, där biologiska molekyler märks med en radioaktiv nuklid som vid sönderfall kan spåras till koordinater som kan användas för rekonstruktion av bilden. Nu används en som standard en mekanisk lösning som inte kan ge bättre upplösning än ett par mm. Dessutom har denna lösning väldigt låg effektivitet, bara en på tiotusen av infallande strålar detekteras. Vi ser en möjlighet att ersätta dagens teknik med en högupplösande detektor som mäter energi och position för varje foton med hög noggrannhet och att dagens mekaniska lösning då kan ersättas med algoritmer som istället beräknar den infallande strålens riktning. Detta skulle vara en potentiellt enorm vinst för patienter för förbättrad diagnos och uppföljning av behandling av cancer.

Arbetet kommer att genomföras med datorsimuleringar där data genereras som input till algoritmer så att dessa kan utvärderas och optimeras. Målet är att visa att man med denna teknik kan få en bild som är storleksordningar högre kvalitet än dagens bilder.

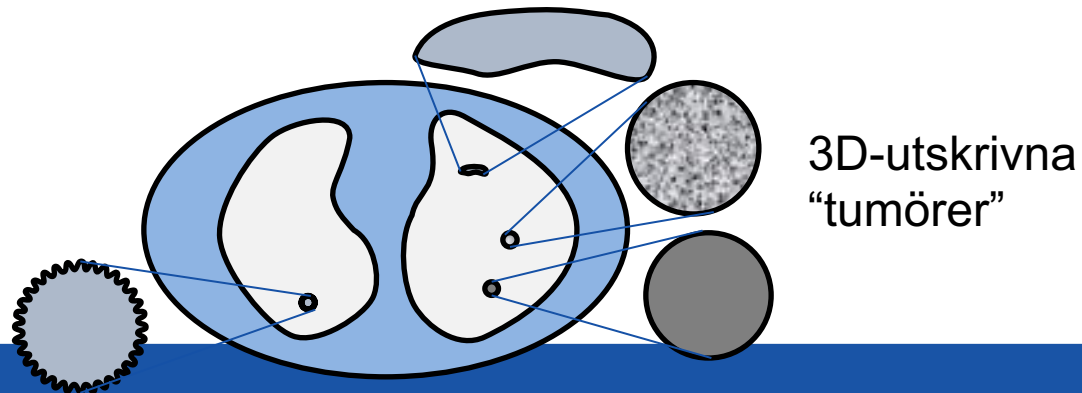


# Utvärdering av datortomografibaserad cancerdiagnostik med 3D-utskrivna tumörer

*Handledare: Mats Persson, mats.persson@mi.physics.kth.se*

Så kallad precisionsmedicin, där man skräddarsyr vårdinsatserna för varje enskild patient, förutspås bli en viktig trend inom framtidens sjukvård. Vi utvecklar röntgenavbildningstekniker som kan användas för att ta mer pålitliga bilder av patienter med cancer, så att man kan mäta så kallade radiomiska parametrar för att få en mer precis diagnos och behandlingsplan. Till exempel kan storlek, form, täthet och grad av inhomogenitet ge viktiga ledtrådar vilken behandling som har störst chans att fungera.

I det här projektet kommer vi att utvärdera hur noggrant man kan mäta dessa radiomiska parametrar med hjälp av datortomografi (skiktröntgen). Vi kommer att använda en 3D-skrivare för att skapa "tumörer" av plast med olika form, storlek och sammansättning. Vi skannar därefter dessa plasttumörer med en datortomograf, mäter olika radiomiska parametrar och jämför dem med de teoretiska värdena. På så sätt kan vi undersöka hur olika bildtagningsparametrar påverkar noggrannheten i mätningen. Det här projektet ligger vid forskningsfronten inom medicinsk fysik och kan i förlängningen leda till utvecklingen av mer exakta diagnosmetoder för cancer!





# Experimentella test av den allmänna relativitetsteorin

*Handledare: Tommy Ohlsson ([tohlsson@kth.se](mailto:tohlsson@kth.se))*

År 1915 publicerade Albert Einstein sina banbrytande arbeten om den s.k. Relativistiska teorin för gravitation numera känd under namnet "den allmänna relativitetsteorin" (GR). Medan Einsteins teori har en matematisk skönhet och naturlighet, har den också kunnat förklara fakta om naturen som till viss del redan var kända på den tiden och delvis har bekräftats av experiment senare. Uppgift är att studera experimentella fakta och teoretiska argument som övertygade fysiker om att GR är korrekt.

Frågor som bör besvaras är: När kan GR approximeras väl med Newtons klassiska teori för gravitation? Ge exempel där avvikelser är väntade. Teoretiska förutsägelser av sådana avvikelser och bekräftelser av sådana förutsägelser med hjälp av experiment. Klassiska test av GR, som bör diskuteras, inkluderar: Merkurius perihelium-precession, deflektion av ljuset p.g.a. solen, och gravitationell rödförskjutning av ljuset. Teoretiska frågor som bör studeras är: Principer för GR, det relativistiska Kepler-problemet och dess lösning, newtonska gränsen för GR och korrektioner till den.

Referenser: T.-P. Cheng, *Relativity, Gravitation, and Cosmology. A Basic Introduction*, 2nd ed., Oxford (2010), M. Guidry, *Modern General Relativity*, Cambridge (2019), R.M. Wald, *General Relativity*, Chicago (1984).



# Mathematical physics

*Handledare: Edwin Langmann (langmann@kth.se)*

Edwin Langmann offers to advise KEX several projects in mathematical physics. Possible topics include:

- Soliton equations (non-linear equations which can be solved exactly by analytical methods)
- Calogero-Moser-Sutherland systems, both classical and quantum mechanical (systems that describe interacting particles moving on one-dimensional space which can be solved exactly)

Background to these topics are available on:

- Solitons: For example, the Scholarpedia article <http://www.scholarpedia.org/article/Soliton>
- Calogero-Moser systems: For example, the Scholarpedia article: [http://www.scholarpedia.org/article/Calogero-Moser\\_system](http://www.scholarpedia.org/article/Calogero-Moser_system)

Depending on the interest, I might also supervise other topics: feel free to suggest a topic in mathematical physics and we can discuss if this is feasible.



# Diffraktiva rymdsolparasoll för global temperaturkontroll

Handledare: Christer Fuglesang, [cfug@kth.se](mailto:cfug@kth.se)

Ett möjligt sätt att motverka en för stor global temperaturökning från utsläpp av växthusgaser vore att placera solparasoll el.dyl. i rymden för att minska solinstrålningen en aning. Detta har studerats på KTH på olika sätt under ett flertal examensarbeten de senaste åren (se lista nedan). Ett ledde till en publicerad artikel där tanken är parasoll i form av solsegel som reflekterar och absorberar solljus [1]. Ett alternativ som skulle kunna leda till att totalt sett mindre massa behöver skickas upp från jorden vore att använda diffraktiva skärmar. Det vill säga att solljuset avleds en aning så att det "missar" jorden. Anledningen till att det kan bli mindre massa då är att kraften från solljustrycket blir mindre och det behövs mindre massa för att balansera med gravitationskraften från solen. Ett tidigt koncept på en diffraktiv lösning presenterades av Angel 2006 [2]. Rent teoretiskt kan man dock tänka sig lösningar där solljustrycket blir ännu mindre, se t.ex. [3]. Till skillnad mot lösningen som presenterades i [1] så är det dock tveksamt om solsegling kan användas för att manövrera i rymden och alternativa transport-och kontrollmetoder torde leda till att uppskjutningsmassan ökar men kanske inte så mycket att det ändå totalt blir en lättare lösning. I det här KEX-jobbet efterfrågas studier av en eller flera utmaningar med rymdsolparasoll baserade på diffraktion, som bland annat:

- Hur designa det diffraktiva membranet som bör vara så lätt som möjligt?
- Hur transportera det till optimal punkt mellan jorden och solen?
- Hur kontrollera solparasollen när de är på plats?

Referenser:

[1] Fuglesang, C. and Garcia Herreros de Miciano M., "Realistic sunshade system at L1 for global temperature control", Acta Astronautica 186 (2021) 269-279

[2] Angel, R., "Feasibility of cooling the Earth with a cloud of small spacecraft near the inner Lagrange Point (L1)", In: Proceedings of The National Academy of Sciences of the USA 103.46 (2006), pp. 17184–17189.

[3] Borgue, O. and Hein, A.M., "A Zero-Radiation Pressure Sunshade for Supporting Climate Change Mitigation", arXiv:2112.13652v3 [physics.space-ph] (visited 25-9-2022)

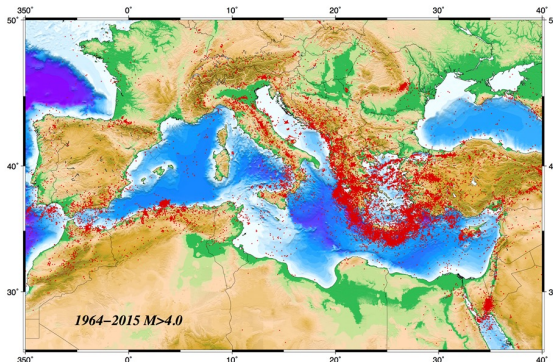


# Development of a detector system which can register the enhancement of radon gas prior to an earthquake

*Supervisor: Ayşe Ataç Nyberg*

Prediction of earthquakes is an unresolved scientific problem which requires cross-disciplinary research. The ultimate goal is to develop a reliable, effective warning system with respect to location and magnitude with a time window of at least 2-3 days. One of the precursor signals which has a potential of giving early warning signals, is also very interesting from the nuclear physics point of view. It has been repeatedly reported that there is an enhancement of radon gas in groundwater and soil prior to an earthquake. Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) is a naturally occurring radioactive gas which is part of the uranium decay series. Together with its carrier gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  etc.) it can migrate upwards from the deep layers of the crust and their concentration is enhanced during large scale seismic movements. In this work, you will be able to join a multidisciplinary collaboration of scientists working on different aspects of the project called artEmis. Among the different tasks, there is:

1. Design and simulation of a gamma-ray detectors that will measure radioactivity from radon and its daughter products in the ground water. The detectors are intended to be built and located in the areas with high seismicity in Europe, like the Swiss Alps, the Abruzzi Region in Italy and the Ionian Islands in Greece. The simulation will be performed by using the toolkit Geant4.
2. Development of AI tools for analysis of data collected by the gamma-ray detectors.



*Seismic activity in Europe. Each red point corresponds to one earthquake with magnitude larger than 4.0.*



# Bosonization

*Supervisors: Christoph Fleckenstein ([cfl@kth.se](mailto:cfle@kth.se)), Jens Bardarson ([bardarson@kth.se](mailto:bardarson@kth.se))*

Almost all interacting many-particle quantum systems are very difficult to be solved exactly (typically because the Hamiltonian matrix grows exponentially with the number of particles). However, there is an intriguing exception for interacting electrons (or fermions) in one-dimension:

In these systems a mathematical mapping (called Bosonization) allows to rewrite the interacting fermionic Hamiltonian as a Hamiltonian of non-interacting bosons . The Bachelor project consists of conceiving the necessary steps involved in this mapping.

Basic requirements: Knowledge of quantum physics (second quantization is a plus)

Difficulty: 3/5

Literature: <https://arxiv.org/abs/cond-mat/9805275> (up to page 23 with possible extensions)





# Open quantum systems, density matrix theory, and quantum Markov processes

Supervisors: Claudia Artiago ([artiac@kth.se](mailto:artiac@kth.se)), Jens Bardarson ([bardarson@kth.se](mailto:bardarson@kth.se))

## General framework

An open quantum system is a quantum system that interacts with an external quantum environment. Such an interaction changes the dynamics of the system and introduces quantum dissipation. Since isolated quantum systems are just an idealization of reality, and in practice no quantum system is completely isolated from its surrounding, the theory of open quantum systems is of crucial importance for many studies in quantum mechanics. Indeed, interest in this subject is constantly growing, and the theory of open quantum systems has found applications in various and different fields such as quantum optics, quantum measurement theory, quantum information, quantum thermodynamics, and many others.

The goal of this theory is to find the equations of motion of the system given the equations of motion of the system plus the environment. The presence of interactions between system and environment results in the fact that the system can ever be in a pure state, and its quantum state can only be represented by a density matrix which can describe both pure and mixed states. This reflects the fact that in general the quantum dynamics of a system interacting with an environment cannot be represented by unitary time evolution. However, in many cases one can formulate the dynamics of the system in terms of an equation of motion for the system density matrix. Such an equation is called quantum master equation.

Among the quantum master equations, the quantum Markovian master equation has a special role. It represents the simplest case of the dynamics of an open quantum system and is given by a first-order linear differential equation for the system density matrix. The quantum Markovian master equation is commonly known as the Lindblad master equation.

*Continues on next page.*



# Open quantum systems, density matrix theory, and quantum Markov processes

Supervisors: Claudia Artiaco ([artiaco@kth.se](mailto:artiaco@kth.se)), Jens Bardarson ([bardarson@kth.se](mailto:bardarson@kth.se))

## Objectives

The main objective of this thesis is to guide the student through the fundamental concepts of open quantum systems and make them acquainted with density matrix theory, and quantum Markovian master equations.

The first part of the thesis will be focused on the study of these concepts, mainly through the reading of one of the fundamental textbooks on the subject (see Ref. [1] and Methods).

The second part of the thesis will involve the resolution of the quantum Markovian master equation in some simple cases. This implies solving simple first-order linear differential equations; depending on the problem, this might be achieved by means of analytical or numerical techniques.

In this way, the student will gain a more deep understanding of the subject, and consolidate the knowledge acquired in the first part. A suitable example of a simple toy model to be investigated is given by a single spin subject to dissipation and/or dephasing. The student would be required to investigate the time evolution of the spin on the Bloch sphere, starting from different initial conditions.

The specific examples to be investigated will be chosen during the project in collaboration between the student and the supervisor.

## Methods

The student will approach the study of open quantum systems, density matrix theory, and quantum Markov processes by reading the book “The theory of open quantum systems” by H.-P. Breuer and F. Petruccione [1]. In particular, the student will be asked to read Secs. 2.1, 2.2, (2.3 optional), 3.1, 3.2, (3.3 optional). As a supportive text, the student can also refer to the article “A short introduction to the Lindblad master equation” by D. Manzano [2].

For a first comparison of the analytical and/or numerical results of the thesis, the student can refer to Ref. [2]. In the case of a single spin subject to dissipation and/or dephasing, the student can also refer to the article “Protection of qubit-coherence on a Bloch sphere” by X.-L. Zong, et al. [3]. Similar references will be found for different toy examples.

## References

- [1] Heinz-Peter Breuer, Francesco Petruccione, et al. The theory of open quantum systems. Oxford University Press, 2002.
- [2] Daniel Manzano. A short introduction to the lindblad master equation. Aip Advances, 10(2): 025106, 2020.
- [3] Xiao-Lan Zong, Wen-Jing Chu, Ming Yang, Qing Yang, and Zhuo-Liang Cao. Protection of qubit-coherence on a bloch sphere. Laser Physics Letters, 14(7):075201, 2017.



# Entanglement growth in quantum spin chains

Supervisors: David Aceituno ([aceituno@kth.se](mailto:aceituno@kth.se)), Jens Bardarson ([bardarson@kth.se](mailto:bardarson@kth.se))

**Abstract:** When isolated quantum many-body systems evolve in time, its sub-systems become entangled with each other. In fact, one dimensional quantum systems in the thermal phase exhibit growth of entanglement entropy which grows linearly in time, and which quickly makes accurate simulations impossible on classical computers for more than 20 or so particles. In single-particle systems, it has been known since the '50s that disorder (e.g. random impurities) can localize the wave function, an effect called Anderson Localization. More recent developments in computer technology have made it possible to get a clear picture of how this disorder effect translates into systems of many particles, with the main takeaway being that sufficiently strong disorder serves to suppress entanglement. It is now widely believed a new Many-body Localized phase of matter (MBL) emerges at some critical disorder-strength, whose entanglement entropy grows logarithmically in time. This offers a remarkable opportunity to study a certain class of quantum many-body systems using classical computers.

**Description:** The main goal of this project is to observe and compare entanglement growth in simulated quantum spin chains. To achieve this, students will learn techniques for setting up a Hamiltonian matrix to model a one-dimensional lattice of quantum spins and use it to time-evolve a quantum state. A secondary goal is to observe the computational complexity as the system size grows. Depending on time and interest, one can explore time-evolving block decimation (TEBD) which is a more modern and performant technique using Matrix Product States to express a quantum state in compressed form.

Computational physics plays a central role in this project and is therefore suited for students interested in developing this aspect. Programming will preferentially be done in Python, but C++ is also acceptable if the students have adequate experience. Students are expected to have their own computers, but will also have access to the local computing cluster for more demanding simulations.

Preliminary plan:

Main part:

- 1) Construct the Hamiltonian for the transverse-field quantum Ising model for  $L$  spins.
- 2) Starting from some random initial state  $|\psi(0)\rangle$ , time evolve a random wave function using  $\exp(-itH)$ .
- 3) Calculate and plot the bipartite entanglement entropy e.g. using Schmidt decomposition on  $|\psi(t)\rangle$  for various  $L$ .
- 4) Introduce disorder into the Hamiltonian and repeat step 2-3) for different disorder strengths.

If there is time and interest:

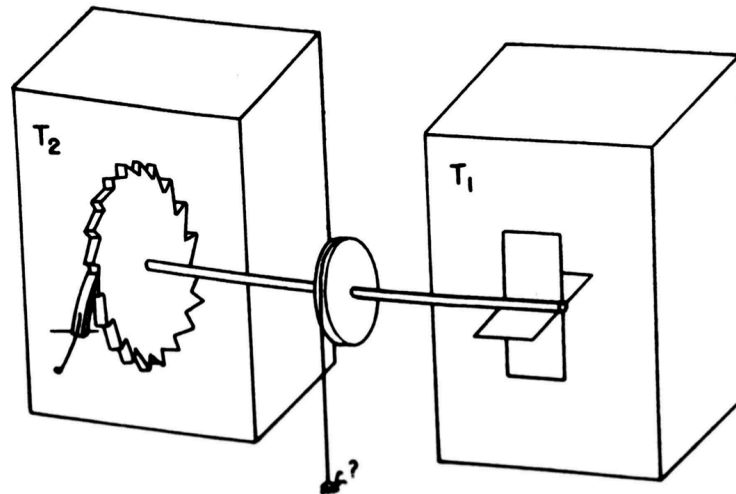
- 5) Implement (or try an existing) code for TEBD. Compare speed and accuracy with the "brute-force" method in steps 1-4) for various  $L$ , disorder strengths and bond dimensions.

# Ratchet and pawl

Handledare Mats Wallin ([wallin@kth.se](mailto:wallin@kth.se))

Feynman introducerade en modell som kallas Ratchet and pawl för att diskutera en paradox om att utvinna arbete från värme med en speciell maskin. Maskinen bryter mot termodynamikens andra lag och kan därför inte fungera men det ute inte uppenbart varför. Projektet går ut på att beskriva maskinen och teorin bakom modellen samt att utveckla en datormodell och simulera maskinen. Modellen är en inspirationskälla inom olika modelleringsområden av icke jämviktsprocesser.

Referens: Feynman lectures on Physics vol 1 kap 46.



# Kan man bryta mot termodynamikens andra lag? Simulering av Szilard maskinen

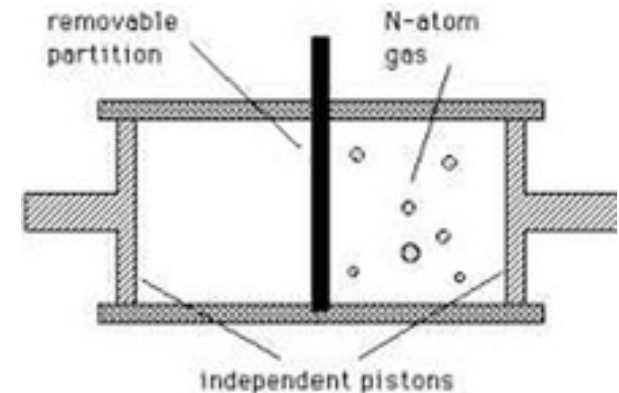
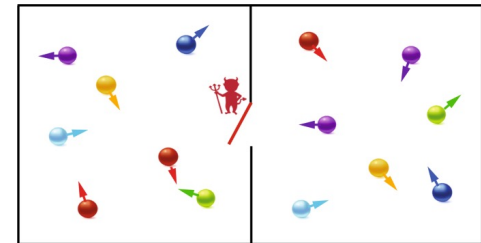
Handledare: Jack Lidmar ([jlidmar@kth.se](mailto:jlidmar@kth.se))

Termodynamikens andra lag säger att entropin för ett slutet system inte kan minska med tiden. En ekvivalent formulering går ut på att energin i termiska fluktuationer inte kan användas för att utföra arbete. Tittar man noggrannare på detta så gäller dessa dels bara i medel och dels om man bortser från eventuella informations flöden. I detta projekt ska du använda Monte Carlo simuleringar för att studera hur man kan utvinna arbete ur jämviktsfluktuationer med hjälp av den sk Szilard maskinen.

Referens:

Colloquium: The physics of Maxwell's demon and information

Koji Maruyama, Franco Nori, and Vlatko Vedral  
Rev. Mod. Phys. 81, 1 (2009).





# Reinforcement Learning for Generating Models to Explain Complex nuclear masses

Supervisor: Chong Qi, ([chongqi@kth.se](mailto:chongqi@kth.se))

In this project we are interested in exploring the possibility to use reinforcement learning to model the complex nuclear mass data that are important for nucleosynthesis. Machine learning algorithms have been successfully applied recently to solve complex quantum many body problems including the nuclear mass. But the hidden of complex modelling and lack of transparency may limit the precision of those predictions. Therefore, we want to develop a reinforcement learning based agent approach to express model behaviour and generate short polynomials based on known mass models that can explain the model of the process.

