



Kandidatexamensarbeten 2024 Fysik

Ämnesansvariga:

Jack Lidmar
jlidmar@kth.se

Josefin Larsson
josla@kth.se



Projektlista

Q1) Solving the Schrödinger equation with neural quantum states

Q2) Simulering av Landau-Zener problemet

M1) 10^6 gånger effektivare medicinsk avbildning genom en ny metod att bestämma riktningen för enskilda fotoner

A1) Experimentella test av den allmänna relativitetsteorin

S1) Mathematical physics

N1) Radon measurements for earthquake forecasting

S2) Kan man bryta mot termodynamikens andra lag? Simulering av Szilard maskinen?

A2) Cosmic Lighthouse: Exploring X-ray Pulsars in Python

Ytterligare projekt kan tillkomma!

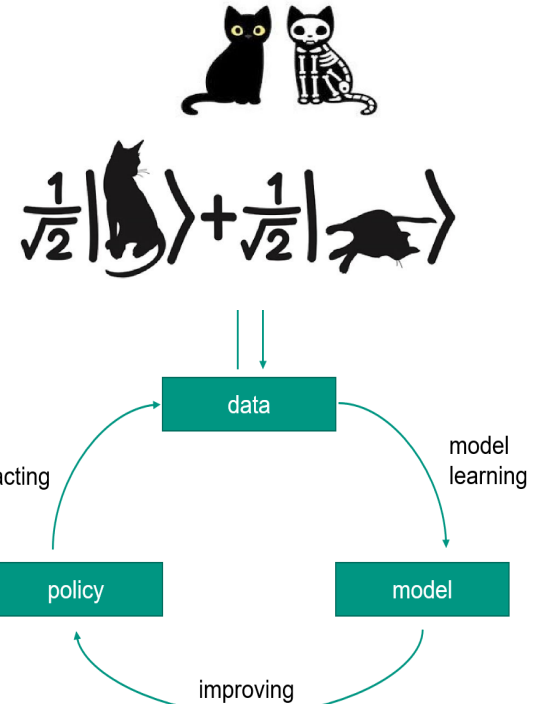


Solving the Schrödinger equation with neural quantum states

- Supervisor: Chong Qi, (chongqi@kth.se)
- Various machine learning algorithms have been applied recently to solve complex quantum systems which otherwise can be difficult to do even by supercomputers. In this project we are interested in applying the Neural Network (or the so-called neural quantum states, (NQS) as introduced recently) to solve quantum many-body problems for atomic and nuclear systems. The study can choose to study one of the following two directions or explore other possibilities:
- Apply NQS to find the energy minimum of the quantum system. In that case we can start by reformulating the Schrödinger equation in variational Monte Carlo or similar approaches.
- Apply neural network to solve nonlinear equations. Certain quantum systems can be transformed into a large set of nonlinear equations which we still find it difficult to solve with existing packages in Python and Mathematica.

*The physics models will be provided as Python (or Mathematica) codes.

**The projects can be possibly done in collaboration with University of Oslo.



Simulering av Landau-Zener problemet

Handledare Mats Wallin

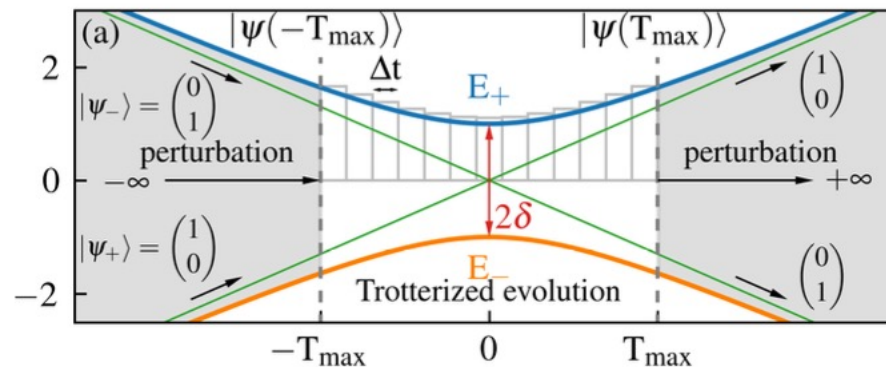
Landau-Zener problemet är ett exakt lösbart problem i kvantmekanik. Problemet beskriver hur en partikel tunnlar mellan två tillstånd som funktionen av hastigheten som den passerar en undviken nivåkorsning. Problemet kan tillämpas på inelastiska kollisioner för atomer och molekyler, qubittillstånd i vakanser i diamant, dubbelkvantprickar, qubitar baserade på Josephsonövergångar, Diracpunkterna i grafen, ultrakalla molekyler i laserfällor mm. Projektet syftar på att studera problemet med tidsberoende störningsteori och numerisk beräkning av tidsutvecklingen.

Referens:

Computational projects with the Landau-Zener problem in the quantum mechanics classroom

Livia A. J. Guttieres, Marko D. Petrovic, James K. Freericks

<https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.11633>





10⁶ gånger effektivare medicinsk utbildning genom en ny metod att bestämma riktningen för enskilda fotoner

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

En viktig metod inom sjukvården idag, både för behandling och diagnos, är att man märker biologiska molekyler med en nuklid som emitterar strålning i form av en foton som man mäter i ett sensorsystem. Detta system bygger idag på en mekanisk lösning med djupa hål i metall som ger begränsad upplösning och mycket dålig effektivitet. Vi avser att ersätta denna mekaniska lösning med precisionsmätningar av gammastrålarnas växelverkan i en ny typ av integrerad monolitisk krets i kisel. Varje foton kommer att interagera flera gånger i kislet innan den absorberas eller lämnar detektorn. För att den nya tekniken ska fungera måste ordningen bestämmas mellan dessa interaktioner vilket är en stor utmaning. Dessutom får inte interaktioner från olika fotoner blandas ihop och man måste skilja mellan primära fotoner och sådana som redan spridits i objektet, som blir brus i bilden. Planen med detta projekt är att datorsimulera interaktioner i sensorvolymen och att använda dessa data för att utveckla och optimera nya algoritmer. Algoritmerna kommer att bygga på att vi känner till fysiken för fotonernas växelverkan med materia via fotoeffekt eller Comptonspridning och utnyttja randvillkor som att energi och rörelsemängd bevaras. Man kan även vilja jämföra med hur bra AI klarar att lösa motsvarande problem, om man tränar på ground truth från simulerade data. Arbetet kommer att ge viktig input till hur man bäst designar den nya monolitiska integrerade kretsen och även innebära diskussioner om möjliga tillämpningar med läkare som kan vara framtidens användare av den nya tekniken. Förhoppningen är att bättre förstå begränsningar och möjligheter med den nya tekniken.



Experimentella test av den allmänna relativitetsteorin

Handledare: Tommy Ohlsson (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

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.



Radon measurements for earthquake forecasting

Supervisors: Ayşe Ataç Nyberg, Torbjörn Bäck

Prediction or forecasting 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 2-3 days. One of the precursor signals which has a potential of giving early warning signals before earthquakes involves radioactivity and is also interesting from the nuclear physics point of view. In a number of studies it has previously been reported that there is an enhancement of radon gas in groundwater and soil prior to an earthquake. Radon (specifically the isotope ^{222}Rn) is a naturally occurring radioactive gas which is part of the uranium decay series. Together with its carrier gases (CO_2 , 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 European scientists in a new project called artEmis, coordinated from KTH. In the artEmis project, a large detector network will be built and installed in regions of interest and AI method will be used to correlate and forecast seismic events to radon data.

We offer bachelor (KEX) projects for two student groups this year, focusing on two of the following tasks (the precise project tasks will be decided after discussion, and will depend on both students interest and of the status of the artEmis project in the Spring of 2024). Possible project task/focus:

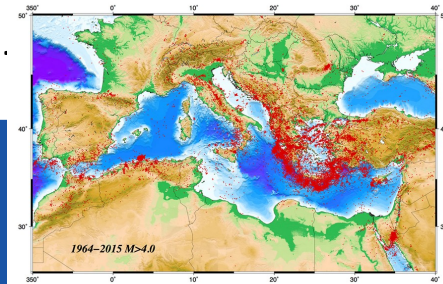
Under-water measurements with the newly developed artEmis gamma detector prototype, including lab tests in Albanova and field studies around Stockholm. The aim is to measure the radon content and its variation under various conditions.

Building and testing a small (2-5 units) network of underwater radon detectors (2-5), including data communication and data analysis, in collaboration with KTH/Kista.

Monte-Carlo simulations of gamma interaction and radon detection in the lab setup and under water in wells, including the effect of potential background sources, such as K-40 in surrounding rocks.

Field measurements within the artEmis project, possibly including a trip to sites in southern Europe (Switzerland, Italy, or Greece), and/or analysis of data from such field measurements.

Development of machine-learning models and tools for analysis of data.



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

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

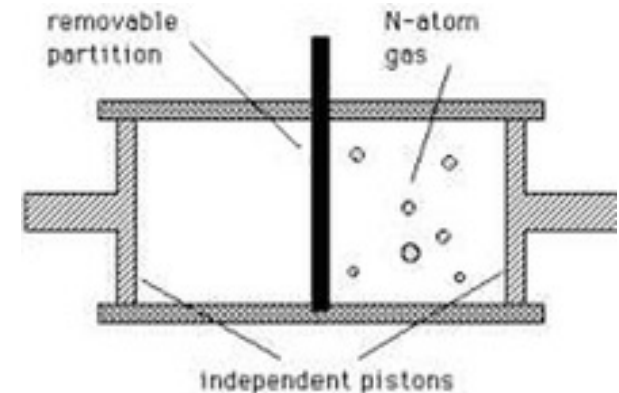
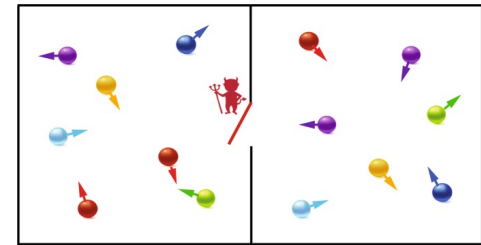
Handledare: Jack Lidmar (jlidmar@kth.se)

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).



Cosmic Lighthouse: Exploring X-ray Pulsars in Python

Supervisors: Inga Saathoff (saathoff@kth.se), Sophie Rosu

Massive stars (i.e. stars more massive than about 8 solar masses) end their lives in a cataclysmic event known as a supernova. But the death of the star is not necessarily the end of the story: What is sometimes left after the explosion is a neutron star - a compact object of extraordinary density. Because of the conservation of angular momentum during the supernova explosion, neutron stars are usually fast-spinning, small objects with very strong magnetic fields. They are of great interest because they provide some of the most extreme laboratories in the Universe for extreme physics. Even more interesting is when a neutron star is part of a binary system, orbiting another normal star. In this situation, the neutron star can accrete material from the normal star (for example, if its stellar wind is very strong).

As the material approaches the neutron star, it cannot fall directly onto its surface, but is stopped by the intense magnetic dipole field and redirected towards the magnetic poles of the neutron star. The material therefore reaches the surface at the two magnetic poles, where it releases its gravitational potential energy mainly in the form of X-rays. Since the magnetic axis is generally not aligned with the rotational axis, the X-rays are observed as pulsations from a great distance, similar to the pulses of light seen from a lighthouse. This is called an X-ray pulsar.

In this project, you will learn more about these extreme objects that are X-ray pulsars. You will create a simple toy model of such a cosmic lighthouse in the Python programming language. You will create an intuitive user interface to explore the influence of different parameters (such as the geometry of the neutron star) on the observable pulsations and their properties, and compare your results with real observational data.

