Kandidatexamensarbeten

2027

Fysik

Ämnesansvariga:

Jack Lidmar & Josefin Larsson
jlidmar@kth.se & josla@kth.se

Experimentella test av den allmänna relativitetsteorin

Handledare: Tommy Ohlsson (tohlsson@kth.se)

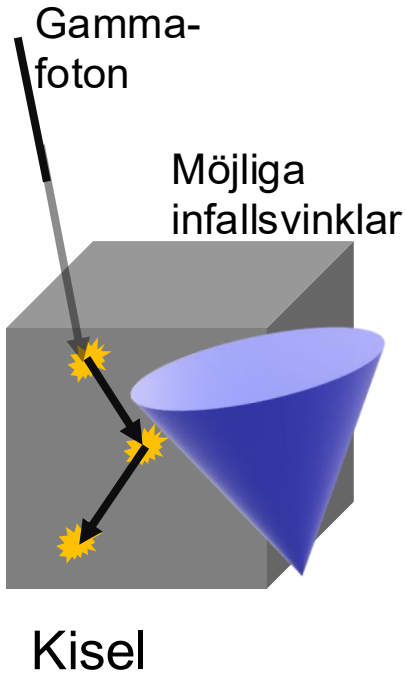
År 1915 publicerade Albert Einstein sina banbrytande arbeten om den s.k. Relativistiska teorin för gravitation numera känd under namnet "den allmänna relativitetsteorin" (GR). Medan Einsteins teori har en matematisk skönhet och naturlighet, har den också kunnat förklara fakta om naturen som till viss 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).

10^6 gånger effektivare medicinsk avbildning med en riktningskänslig kiseldetektor

Handledare: Mats Danielsson, md@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 arbetar på en ny typ av detektor som kan ersätta denna teknik genom att uppmäta riktningen på fotonen. Varje foton kommer att interagera flera gånger i kislet innan den absorberas eller lämnar detektorn och med hjälp av de uppmätta energierna och interaktionspositionerna kan man mäta varifrån fotonen kommer. En sådan detektor kan i teorin förbättra doseffektiviteten i en gammakamera med en faktor 10^5-10^6, men det är utmanande att analysera data från sådana detektorer, eftersom man måste räkna ut vilka interaktioner som hör till vilken infallande foton, och vilken ordning interaktionerna har skett.

Det här projektet går ut på att analysera data från en simulering av en sådan detektor och ta fram praktiskt användbara algoritmer för att gruppera interaktioner som hör till samma foton, identifiera spridd strålning och uppmäta den infallande strålens riktning. Arbetet kommer att ge viktig information om hur man bäst skall designa den nya detektorn och använda den för att få bättre tekniker för medicinsk diagnos och behandling.



Simulering av medicinsk röntgenavbildning med faskontrast

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

Medicinsk avbildning med röntgenstrålar används idag för att diagnostisera en lång rad olika sjukdomstillstånd, men den teknik som används idag använder bara en del av den information som finns i röntgenstrålningen. Om man inte bara mäter intensiteten på röntgenstrålningen utan också hur vågornas fas förskjuts, så kallad faskontrastavbildning, kan man få en mycket bättre visualisering av strukturerna kroppen. Vid KTH utvecklar vi en ny teknik för faskontrastavbildning som bygger en detektor med extremt hög upplösning, ca 1 µm. En viktig fråga när vi utvecklar detektorn hur olika designparametrar, såsom pixelstorlek och brusnivå, påverkar den resulterande bilden. Er uppgift blir att simulera realistiska röntgenbilder av en cancertumör och utvärdera hur bildkvalitén ändras när man varierar detektorns egenskaper.

Det här projektet, ligger vid forskningsfronten inom medicinsk fysik och ger er en chans att bidra till att en helt ny teknik för medicinsk avbildning tas fram!

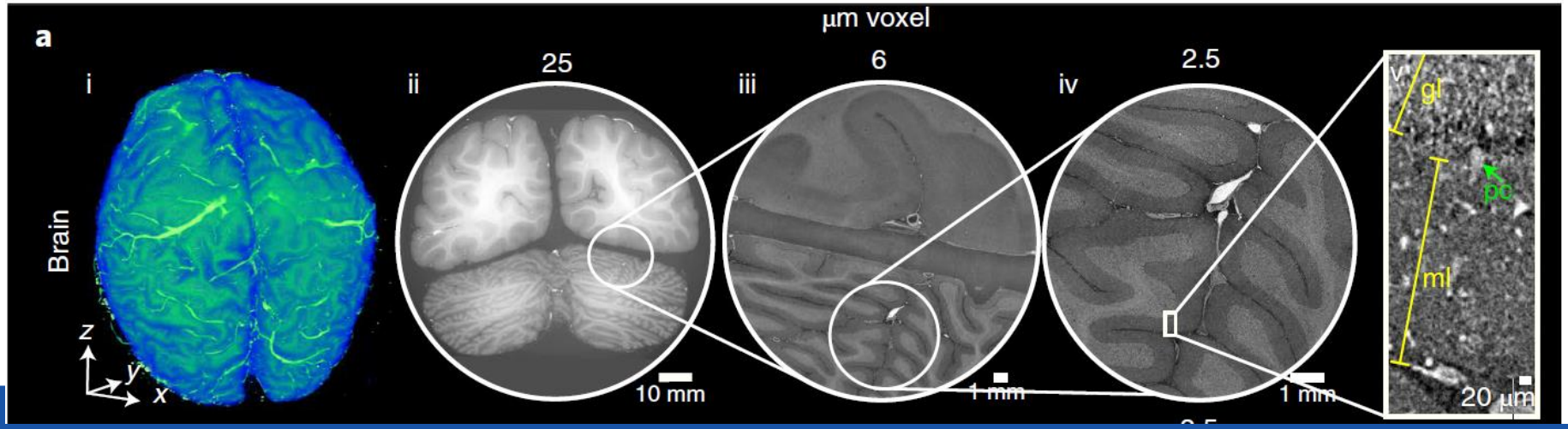


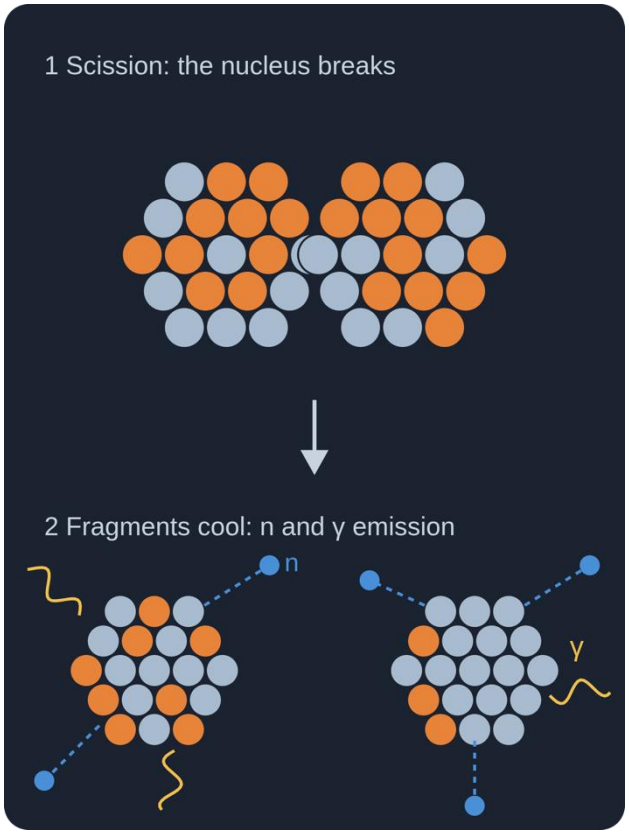
Bild från C. L. Walsh et al. Nature Methods 18, 1532-1541 (2021)

A machine-learning emulator for nuclear fission

Lise Meitner and Otto Frisch explained nuclear fission in 1939: the nucleus behaves like a charged liquid drop that stretches and breaks in two. More than 85 years later, there is still no complete theory of fission. Simulations rely on statistical codes that follow how each hot fragment cools by emitting neutrons and γ rays.

Your task. Build a fast emulator for this complex process. Generate fission events with a provided statistical code and experimental data. Train a neural network that predicts, from the mass, charge, excitation energy and spin of a fragment, the probability of emitting 0, 1, 2, … neutrons. Test it on ^{252}Cf and on reactions it has never seen. Measure the speed-up.

You will learn statistical nuclear decay, Monte Carlo simulation and probabilistic neural networks in Python. **Prerequisites:** quantum physics and basic Python.



Supervisor: Chong Qi chongq@kth.se

Radon measurements prior to an earthquake: data analysis and methodology

Supervisors: Ayşe Ataç Nyberg and Torbjorn Bäck

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, 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 (Rn-222) is a naturally occurring radioactive gas which is part of the uranium decay series. The radon gas can migrate upwards from the deep layers of the crust and its concentration could be affected by large scale seismic movements. In this work, you will be able to join a multidisciplinary collaboration of scientists working on different aspects of a project called artEmis, coordinated from KTH.

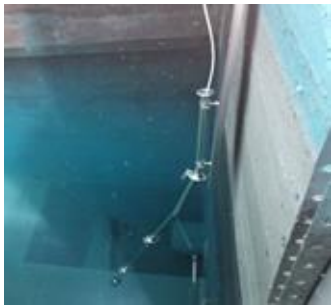
Within the artEmis project, a large number of gamma-ray detectors are being produced and used in order to measure radioactivity from radon and its daughter products, in the groundwater. Between 2022 and 2026 we have developed, built, and tested detector prototypes installed in the field (underwater). Sensor units have been installed in wells, springs and tunnels in Italy, Greece and in Switzerland. A dedicated data network and database has been implemented to acquire the data. We have recently redesigned the sensor units and the new systems are now being installed (2025+2026). The sensor units contain gamma-ray detectors as well as PHT sensors (pressure, humidity, temperature, humidity), accelerometers and microphones.

We offer bachelor (KEX) projects for up to two student groups this year, focusing on some of the following data-related 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 2027). Possible project task/focus:

- Monitoring and analysis of the data measured by the artEmis sensor units. Correlation of the data measured by different sensors in each unit. Data organisation and correlation with available seismic data and other data such as weather information.
- Code development for automatic and dynamic data handling in the database and visualisation of data.
- Development of machine-learning models and tools for data analysis.

For this project, it is a requirement to have experience (e.g. from a KTH course in programming) in Python programming.





Sensor installations in Gran Sasso Region in Italy, Feb 2024.

A Nordic nuclear power plant with thorium fuel cycle

Supervisor: Jan Dufek (jandufek@kth.se)

The Radkowsky thorium fuel concept keeps the existing PWR reactor design and replaces only the fuel assembly internals: a central seed of highly enriched uranium, heavily moderated and replaced on a short cycle, surrounded by a blanket of thorium that stays in the core for many years, breeds ^{233}U and burns most of it in place. The concept was developed for the VVER-1000 in the 1990s, but it has not been well simulated on a Nordic plant. The question for the thesis is whether that geometry can be fitted into a Nordic plant, such as Ringhals 3 or 4 — without changing the vessel, the assembly envelope, the control rod locations or the thermal-hydraulic limits, and what the retrofit would cost in cycle length. You will build the Monte Carlo model of the reactor with the thorium fuel cycle, and simulate it using the Serpent or OpenMC code on an HPC cluster.

Supersymmetric Quantum Mechanics for Open Systems

Supervisor: Yunxiang Liao (liao2@kth.se)

Supersymmetric quantum mechanics connects two partner Hamiltonians

$$H_1 = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2} + W^2(x) - \frac{\hbar}{\sqrt{2m}}W'(x),$$

$$H_2 = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2} + W^2(x) + \frac{\hbar}{\sqrt{2m}}W'(x)$$

H_1 and H_2 have different potentials but share the same positive-energy spectrum

This framework extends to **open quantum systems** described by Lindblad equation

$$\frac{d}{dt}\rho = -\frac{i}{\hbar}[H,\rho] + \sum_i \left(L_i \rho L_i^\dagger - \frac{1}{2}L_i^\dagger L_i \rho - \frac{1}{2}\rho L_i^\dagger L_i\right)$$

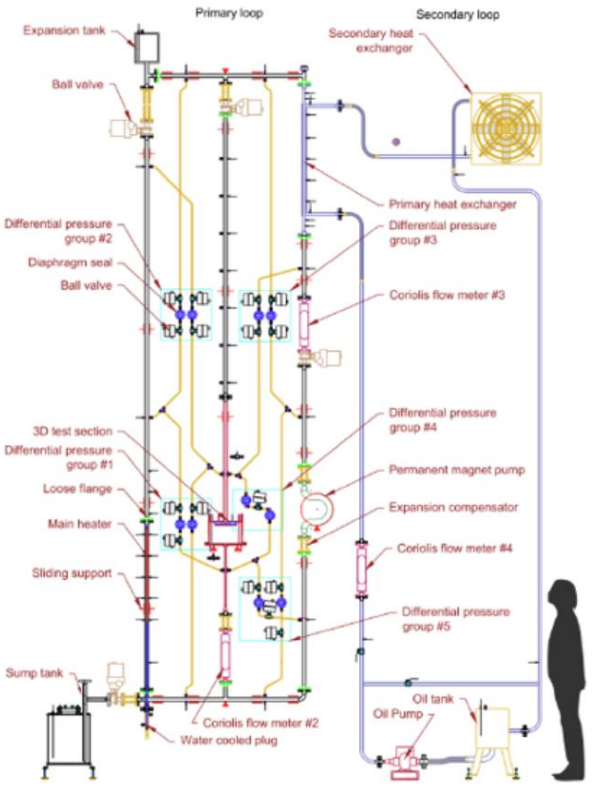
This project:
Construct supersymmetric partener Lindblad systems and study their relaxation and steady state.
Explore open quantum systems with dissipation and continuously monitoring.

Reference:

A A Andrianov et al, 2019 J. Phys. A: Math. Theor. 52 425301
A Khare, AIP Conf. Proc. 744, 133–165 (2004)

Numerical and experimental study of liquid metal natural circulation

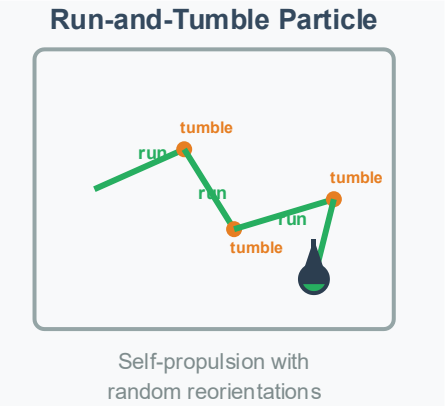
- Supervisor: Giuseppe Francesco Nallo, nallo@kth.se
- Natural circulation of primary coolant is an important physical phenomenon for the safety of nuclear reactors, including advanced liquid metal-cooled concepts. This project investigates natural circulation in the TALL experimental facility located at KTH, where liquid lead-bismuth eutectic is used, through a combination of analytical models and established 1D system codes.
- Objectives:
  - To develop a physical understanding of single-phase natural circulation through simplified momentum and energy balance equations. This allows a formal derivation of influential physical parameters (heating power, system geometry, …) affecting natural circulation behaviour
  - To use an existing model implemented in the established 1D system thermal-hydraulic code APROS to reproduce selected natural circulation cases (possibly including the transition from forced to natural circulation), comparing predictions with experimental measurements
  - To investigate the impact of the identified influential parameters on the natural circulation behaviour
  - To explain observed trends and to discuss assumptions and limitations of the numerical model
- The project is suitable for students interested in thermodynamics, fluid mechanics and computational physics. Basic programming experience is useful; previous experience with nuclear reactor analysis or the simulation software APROS is not required.
- Reference: [W. Ma, E. Bubelis, A. Karbojian, B.R Sehgal and P Coddington, Transient experiments from the thermal-hydraulic ADS lead-bismuth loop (TALL) and comparative TRAC/AAA analysis, *Nuclear Engineering and Design* 236: 1422-1444, 2006].



Aktiv Brownsk rörelse: Run-and-tumble-dynamik

Handledare: Jack Lidmar <jlidmar@kth.se>

Levande system verkar långt ifrån termisk jämvikt, och deras beståndsdelar – från simmande bakterier till krypande celler – uppvisar ett statistiskt beteende som skiljer sig fundamentalt från passiva Brownska partiklar. Run-and-tumble-rörelse, där partiklar växlar mellan ballistisk rörelse och slumpmässig omorientering, är en av de enklaste och viktigaste modellerna för aktiv materia, direkt inspirerad av bakteriell kemotaxi. Detta projekt undersöker hur aktiv rörelse fundamentalt förändrar diffusionsbeteende, rumslig fördelning och kollektiva fenomen. Genom numeriska simuleringar och analytisk modellering kommer du att utforska hur aktivitet modifierar partikelfördelningar i begränsade geometrier, hur interaktioner mellan aktiva partiklar kan leda till spontan mönsterbildning och hur riktad rörelse uppstår i externa fält. Denna forskning kopplar samman icke-jämviktsstatistisk mekanik med biologisk fysik och har implikationer för förståelsen av allt från bakteriellt beteende till design av syntetiska mikrosimmare.



Referenser:

https://doi.org/10.1119/1.4870398
https://doi.org/10.1119/5.0125111
https://doi.org/10.1103/RevModPhys.88.045006

Övervakad maskininlärning för fysikproblem

Handledare Mats Wallin (wallin@kth.se)

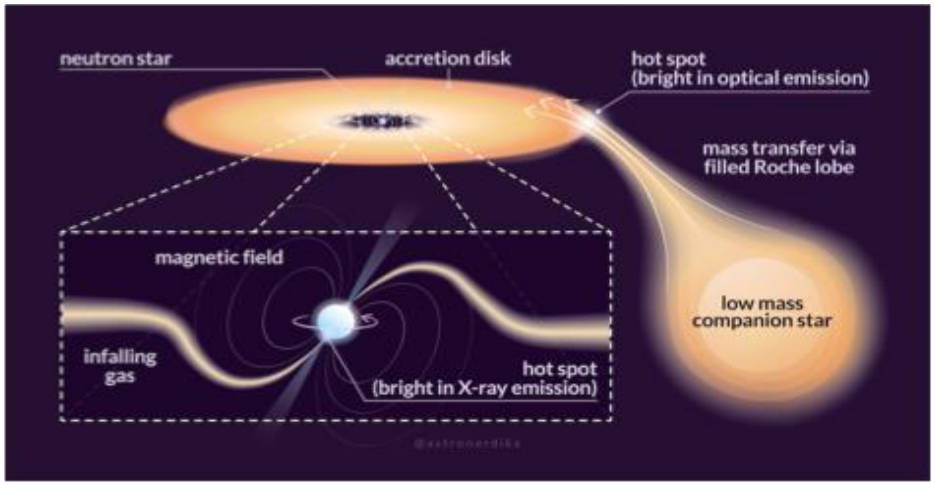
Studera en enkel övervakad maskininlärningsalgoritm som använder logistisk regression för att lösa fysikproblem. Problem som analyseras är klassificering av faser i Ising-modellen för magnetisering och en partikels banor i ett kraftfält.

Referens:

Introduction to supervised machine learning for physics students
Jan Tobochnik and Harvey Gould
Am. J. Phys. 94, 224–229 (2026)
https://doi.org/10.1119/5.0285290

Modeling high energy radiation in Neutron Star binary

A neutron star (NS) is one of three exotic products at the end stellar evolution along with white dwarfs and black holes. It has some of the densest forms of matter in the universe and has an extremely strong magnetic field. Many NS are found in binary systems, gravitationally bound to a stellar companion. In many of these binaries, NS eventually starts accreting material from its companion. As this material spirals into the gravitation of the NS, its gravitational potential energy is converted into kinetic energy and then into radiation. By analyzing and interpreting their high energy radiation, we can study several fundamental topics in physics, including matter under extreme conditions, accretion physics, and radiation mechanisms.



In this project, the student will investigate the properties of a NS binary using timing and spectral analysis. The work involves modelling of source and interpreting the observations terms of theoretical models. The student will analyze data from space telescope such as NuSTAR, working with FITS flies and the HEASOFT software package. The project is best suited to students with an interest in astronomy and modelling of scientific data. Good programming skills and an affinity towards open-source software is required.

Lösning av fysikproblem med fixpunktsiteration

Handledare: Mats Wallin (wallin@kth.se)

Studera problemet att hitta djupet på en ravin utifrån den tid det tar innan ljudet hörs av en nedsläppt sten som träffar botten. Standardlösningen bygger på ett system med två ekvationer och två obekanta. I detta projekt undersöks en alternativ rekursiv metod baserad på itererade avbildningar.

Villkor för konvergens undersöks.

Referenser:

Solving introductory physics problems recursively using iterated maps

L. Q. English; D. P. Jackson; D. Richeson; W. A. Morgan; K. Sigmon; G. Vollmer; E. Dunkel; J. Zavrel; J. Wiseman

Am. J. Phys. 93, 336–343 (2025)

https://doi.org/10.1119/5.0220986

Fixed-point iteration for numerical solutions to equations in physics: Comment on “Solving introductory physics problems recursively using iterated maps”

J. J. Bissell

Am. J. Phys. 94, 253–254 (2026)

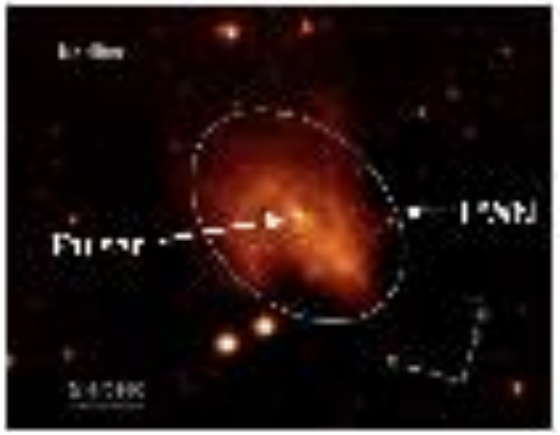
https://doi.org/10.1119/5.0274265

Synchrotron radiation from a pulsar wind nebula

Supervisor: Christos Tsolakidis (ctsg@kth.se)

A pulsar is a rapidly rotating and strongly magnetized neutron star left behind when a massive star explodes. It gradually loses rotational energy as a result of a magnetized particle wind produced by the rotating magnetic star. This expanding particle wind interacts with the surroundings and forms a pulsar wind nebula (PWN). The relativistic particles in the PWN emit synchrotron radiation that we observe from radio to X-rays. The shape of this spectrum shows how the particles were accelerated, how strong the magnetic field is, and how fast the particles lose their energy.

In this project, the students will study the synchrotron emission of a young PWN. The work will involve observational data analysis in Python.



Migrani R. R. et al. 2017

Tunnling genom dubbelbarriär

Handledare: Mats Wallin (walling@kth.se)

Studera tunnling genom en dubbelbarriär analytiskt och numeriskt. Jämför resultat från exakt lösning med approximationer och simulering.
Referens:
Griffiths,
Introduction to quantum mechanics

Kvant-kommunikation

Supervisor: Katia Gallo

Mer info kommer

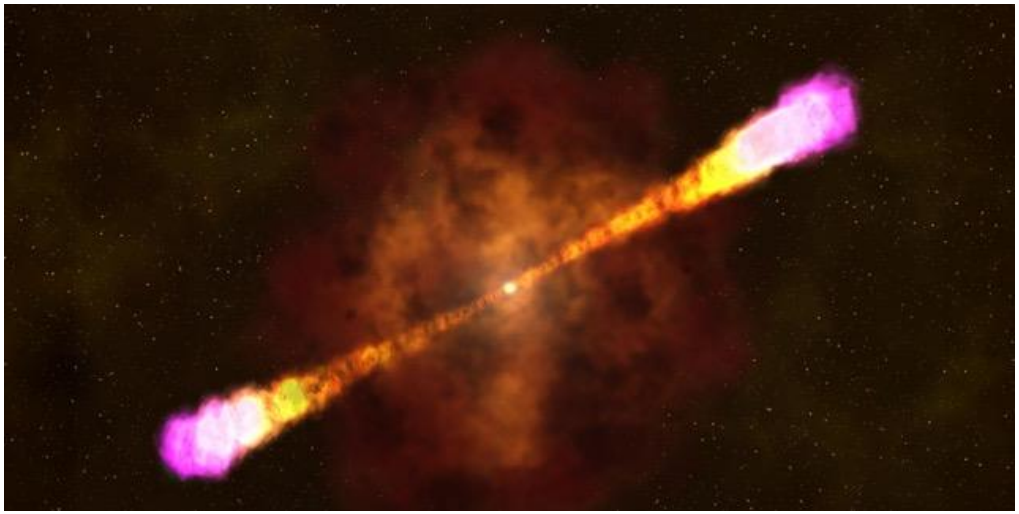
Matematisk fysik

Handledare: Edwin Langmann (langmann@kth.se)

Projekt inom matematisk fysik kommer att finnas här

Testa en modell för strålningen från relativistiska utflöden i kosmologiska gammablixtar (astrofysik)

Handledare: Oscar Wistemar, wistemar@kth.se och Filip Alamaa, filipsam@kth.se



Det första ljuset från en gammablixt skapas någonstans i den ultrarelativistiska jet strålen som skickas ut i samband med en supernova eller en sammanslagning av binära neutron stjärnor. Men vilken process som skapar den observerade gammastrålningen i jetstrålen är inte känt. Ett alternativ är att kollisioner sker i den optiskt tjocka delen av utflödet vilket överför energi till gammafotoner som sen strålar vid fotosfären. Vi har en ny modell för den här processen som vi börjat använda för att anpassa data från gammablixtar. I det här projektet kommer ni använda den här modellen på simulerad data för att testa modellens robusthet och degenerering. Det kommer ingå programmering, data analys, simulering av modellen, och presentation av resultaten.

A novel analysis method for luminosity studies with the ATLAS experiment

Supervisors: Renske Wierda (wierda@kth.se) and Christian Ohm (chohm@kth.se)

Since the discovery of the Higgs boson in 2012, the ATLAS experiment has continued looking for new particles from many different theories. This can be done both through explicit searches for new particles, as well as precision measurements that look for small deviations from the Standard Model. A key input to all these searches is the ***integrated luminosity***, which quantifies how many protons have collided during a data-taking period. To enable precise measurements on Standard Model processes, we need to achieve as low of an uncertainty as possible on the luminosity.

This project will focus on a new way to evaluate the stability of the luminosity measurement through the use of ***emittance scans***. These are short scans performed during most data-taking runs, which can be fitted to extract information about the proton beams in the LHC. However, these fits have to incorporate many complex effects that arise from the extreme environment of data-taking runs. The challenge is thus to extract these parameters at a high enough precision that it improves our luminosity measurements, and so far we have yet to succeed in ATLAS.

You will investigate whether the use of a ***template-bank procedure*** can achieve these goals. Template banks are widely used in the search for gravitational waves, but their basic operating principles can be applied in more diverse settings. The advantage is that complex effects can be modelled a priori, instead of having to fit them directly. First, you will study how template banks are designed and used, and come up a plan for creating a template bank for emittance scans. You will then implement your plan, and finally you will get to test its performance on real 2024 data from the ATLAS detector. However, the techniques you learn in this project are applicable to a much broader variety of settings. The project will be a combination of a literature study on template banks plus your own Python implementation, so basic Python knowledge is required.

Fler projekt kommer