

Kandidatexamensarbete i fysik

Valbara projekt VT2014

Samordnare: Pär Olsson (polsson@kth.se)

Version: 2013-11-05

RF1: Rymdreaktorer

Handledare: Janne Wallenius (janwal@kth.se)

ESA undersöker möjligheterna att använda kärnkraftsdrivna rymdraketer för att åka till Mars. Dessa reaktorer behöver vara så små och lätta som möjligt. Dessutom måste bränslekapslingens temperatur vara ungefär 1000°C, för att värmeproduktionen skall kunna föras bort genom strålning. Detta innebär att nya typer av kylmedel (litium), bränslen (urannitrid) och kapslingsmaterial (niob) är av intresse. I detta examensarbete skall ni studera hur man kan utforma en rymdraketreaktor för säker drift, genom att använda simuleringskoden Serpent.

RF2: Development of a kinetic Monte-Carlo model to simulate radiation induced segregation in ferritic alloys

Supervisor: Pär Olsson (polsson@kth.se)

The Reactor Physics division of KTH aims at the development of novel reactors using innovative fuels, while researching the structural materials needed to withstand extreme operation conditions. Part of this research is directed towards steels that are used in reactor pressure vessels. More precisely, we perform modeling of the evolution of their nanostructures under neutron irradiation, for instance to predict the segregation behavior of solute elements at crystal discontinuities. Solute segregation at grain boundaries is in some instances the major life-limiting factor for a material in a nuclear reactor.

In order to study this phenomenon, the diffusion coefficients of the system have to be determined. A flexible approach is to perform atomistic kinetic Monte Carlo simulations. Such a code allows us to simulate the evolution of the crystal composition under irradiation- or thermal conditions. The models that are used in the present code implementation are limited and can now be much improved taking advantage of the more abundant computational power.

This project aims at improving the existing routines to implement a new and more accurate diffusion model. The students will study the principles of materials aging and the related issues occurring in a nuclear reactor. They will develop their programming skills in C or C++ by implementing reliable physical models, which are of vital importance in materials research. At last, they will apply the implemented code to specific alloys in order to compute radiation induced segregation profiles.

RF3: Modelling of irradiation induced swelling in nuclear materials

Supervisor: Pär Olsson (polsson@kth.se)

Generation IV reactors are designed in order to increase the burnup and decrease the radiotoxicity with respect to that of current nuclear reactors. Within this concept, the liquid metal cooled reactors are of interest because of their safety advantages and higher power density than traditional coolant reactors. Meanwhile, excellent performing materials for components are needed in order to maintain safety parameters under extreme conditions. These requirements include but are not limited to the dimensional stability and acceptable mechanical properties under irradiation conditions.

Ferritic stainless steels are attractive materials for application in fast reactor core components due to the excellent swelling resistance; however, the mechanical properties are not satisfactory. On the contrast, Austenitic steels, another kind of candidate materials in nuclear applications, are well known for void swelling under irradiation although the mechanic properties are reasonable. Therefore, understanding the different swelling behavior of the two materials would help to gain insight into the mechanisms responsible for the void swelling.

Microstructural observation of those steels under irradiation suggests that the interactions between dislocations and point defects play significant roles in void swelling. Some calculations in fcc model lattices that represent the austenitic steels have been done recently. This project aims at the calculating the interactions in a bcc model lattice, which represents the ferritic steels. A better understanding of swelling is expected by comparing the interaction profiles in different structures. Moreover, the interaction energies are to be used to explicitly obtain the dislocation bias parameter, which characterizes the void swelling in the standard rate theory model.

RF4: Inlösning av syre i urannitrid

Handledare: Mikael Jolkkonen (jolkkonen@neutron.kth.se)

Det ojämförligt vanligaste kärnbränslet i kraftreaktorer är urandioxid, vars främsta fördelar är en mycket hög smältpunkt, utmärkt kemisk stabilitet, enkla tillverkningsmetoder och enkel upparbetning efter utbränning. Alternativ som förr och nu övervägts är urankarbid och urannitrid, som också utmärker sig för hög smältpunkt och dessutom överlägsen värmeledningsförmåga. Upparbetning av nitridbränslen betraktas som möjlig med samma metoder som idag används för oxidbränslen, men noggrannare undersökningar av detta kommer att behövas. I nitridbränslen kan varierande halter av syre och kol förekomma som föroreningar. I synnerhet är syre vanligt förekommande, eftersom urannitridpulver spontant reagerar med luftsyre och luftfuktighet. Det är angeläget att utröna hur sådana föroreningar kan inverka på upparbetningen av använt nitridbränsle.

I Avdelningen för Reaktorfysiks kärnbränslelaboratorium har vi i flera år arbetat med tillverkningsmetoder för urannitrid, och ska tillverka ett antal prover för upparbetningsförsök. Dessa ska framställas i serier som dels har högsta möjliga renhet, dels känd halt av syre och kol. Olika metoder för att kontrollerat införa små mängder föroreningar ska prövas.

I detta examensarbete kommer studenten/studenterna att pröva och jämföra metoder för att introducera små mängder syre i urannitridpulver. En möjlig metod är att helt enkelt blanda in finfördelad urandioxid i utgångsmaterialet. Detta har fördelen att mängden syre är känd med exakthet, men det kan vara svårt att få syret jämnt fördelat i den färdiga kutsen. En annan metod är att på kontrollerat sätt exponera urannitridpulver för luft. Kvantifieringen är då svårare, och sannolikt får ett empiriskt baserat protokoll utarbetas på grundval av en serie exponeringar av olika längd följt av elementaranalys. En viktig del av projektet blir därmed att utveckla ett praktiskt tillvägagångssätt som ger tillfredsställande reproducerbarhet, och att utföra korrekta analyser av produkten (med användande av en för ändamålet avsedd elementaranalysator, som är ett nytillskott till laboratoriet).Handledning och projektstyrning tillhandahålls av forskare och doktorander med erfarenhet av kärnbränsletillverkning.

Arbetet innefattar hantering av svagt radioaktiva, kemiskt reaktiva material och kan komma att inkludera högtemperaturprocesser. Detta medför att studenten måste ha grundläggande laborativvana och en seriös och disciplinerad inställning till arbetet. Då slutrapporten kan väntas omfatta enklare kemiska resonemang är det en uppenbar fördel med viss kunskap om sådana. Erfarenhet av materialanalys är meriterande men inte ett krav.

RF5: Tillverkning av urankarbid

Handledare: Mikael Jolkkonen (jolkkonen@neutron.kth.se)

Urankarbid är en mycket reaktiv "färskvare" och den kommersiella tillgången på urankarbid av hög kvalitet är begränsad. Vi har däremot fått tillgång till den tillverkningsmetod som användes för det brittiska högtemperaturreaktorprogrammet på sextioalet. Detta är i viss mening "död" kunskap som få nu verksamma personer har egen erfarenhet av, och den behöver därmed återupplivas som praktisk metod.

I detta examensarbete kommer studenten/studenterna att medverka vid tillverkning och analys av små kvantiteter urankarbid (ca 10 gram/sats). Handledning och projektstyrning tillhandahålls av forskare och doktorander med erfarenhet av kärnbränsletillverkning. Om tillverkningsmetoden kan göras framgångsrik på kort tid kan projektet utökas till att omfatta kutstillverkning med användande av de producerade materialen.

RF6: Metoder för kontaminationsmätning i laboratoriemiljö

Handledare: Mikael Jolkkonen (jolkkonen@neutron.kth.se)

Hantering av radioaktivt material i laboratoriemiljö medför risk för kontaminering av arbetsytor och utrustning. Det är angeläget med goda rutiner för att detektera sådan kontamination och i förekommande fall åtgärda denna. Emellertid är det svårt att finna en universell kontrollprocedur som fungerar både för svag till obetydlig kontamination av stora ytor (arbetsbänkar, golv) och mera intensiv punktkontamination exempelvis inuti apparater och utrustning. En ytterligare komplikation är att de mest kontaminerade ytorna, inuti handskboxar, bara kan nås via en luftsluss med tillfälligt vacuum. Konventionella geigerrör tål inte att utsättas för vacuum, förseglade LCD-displayer och andra känsliga komponenter kan ta skada, de vanligaste lösningsmedlen kokar, och dessutom kan fukt

eller vattenånga alls inte tolereras i skyddsgasen i handskboxarna. I Avdelningen för Reaktorfysiks kärnbränslelaboratorium arbetar vi med tillverkning av pulver och kärnbränslekutsar av urannitrid, utgående från utarmat och naturligt uran, som är svagt alfastrålande tungmetaller. Hälsoriskerna förknippade med dessa material är främst den kemiska giftigheten vid inandning av stoft, inte den radioaktiva strålningen i sig, men detektionen av mycket små mängder uran underlättas starkt av materialets radioaktivitet.

I och med att verksamheten vid laboratoriet ständigt utökas vill vi förbättra rutinerna för att upprätthålla en god arbetsmiljö. Det här föreslagna examensarbetet är, på gott och ont, tämligen okomplicerat jämfört med de övriga som vi denna termin erbjuder. Studenten/studenterna ska pröva och utvärdera ett antal möjliga kombinationer av tekniker för konstaminationsmätning, inkluderande men inte nödvändigtvis begränsat till:

- strykprover med olika absorbenter och lösningsmedel
- handhållen integrerande geigerräknare
- germaniumdetektor
- vätskescintillationsmätning

och utvärdera vilka som är lämpligast med avseende på praktisk genomförbarhet (inklusive tidsåtgång) och detektionsnoggrannhet. Målsättningen är att arbetet ska utmynna i ett förbättrat och standardiserat protokoll för regelbunden, enkel och pålitlig kontaminationskontroll i laboratorielokalerna. Efter en introduktion och säkerhetsgenomgång kommer studenten/studenterna att förväntas bedriva projektet tämligen självständigt, men alltid under sådana tider då laboratoriet är bemannat av ordinarie personal. Om intresse finns kommer det att finnas rikligt med tillfällen att observera och få förklarat för sig de olika tillverkningsprocesserna.

Arbetet utförs delvis i lokaler där klyvbart material och reaktiva kemikalier hanteras. Detta medför att studenten måste ha en seriös och disciplinerad inställning till arbetet. Grundläggande laboratorievana är meriterande men inte ett krav.

KF1: Finding trace amounts of radioactive material in Aluminium

Supervisor: Torbjörn Bäck (back@nuclear.kth.se)

In this project, you will develop a method to measure extremely low concentrations of alpha-radioactivity (far below the natural background) from trace amounts of uranium and thorium in aluminium. The work will involve measurements with e.g. high-resolution germanium detectors as well as computer simulations.

The motivation for the project is that aluminium is often a preferred material for construction of detector elements and other equipment in several new research facilities, such as the European Spallation Source (ESS). In some detector applications, e.g. in very sensitive neutron detectors, the low alpha activity of aluminium might cause a serious problem. We therefore need a reliable method for measuring this activity.

KF2: R-process simulation and heavy-Element Nucleosynthesis

Supervisor: Chong Qi (chongqi@kth.se)

The so-called rapid neutron capture process (or the r-process) in nuclear astrophysics is believed to be the mechanism for the nucleosynthesis of many stable heavy and superheavy nuclei heavier than Iron. This process is not fully understood from a theoretical point of view and the observed abundance of r-process elements still cannot be properly reproduced. In this project a systematic calculation will be done to simulate the abundance of heavy nuclei under different conditions based on theoretical estimations of nuclear masses and decay half-lives. In particular, we would like to explore the influence of the uncertainties in nuclear masses in our abundance predictions.

The r-process code 'r-Java', which is rather easy to use and has a graphical user interface, will be used for the simulation. The project will thus not involve heavy programming. It is hoped that, after the project, the student will have an overall understanding of the structures and decays of atomic nuclei as well as the various nuclear astrophysical processes and be able to perform basic calculations.

KF3: Isotopanalys av material med gammaspektroskopi efter neutronbestrålning

Handledare: Bo Cederwall (cederwall@nuclear.kth.se)

Neutronaktivering är en icke-förstörande provningsmetod för materialanalys och används bland annat för att identifiera mycket låga förekomster av grundämnen, s.k. spårämnesanalys. Provet bestrålas med neutroner från en radioaktiv källa eller kärnreaktor och man detekterar den karakteristiska gammastrålningen från de radioaktiva nuklider som bildas.

Bestrålningen av de prover/föremål som man vill undersöka sker med hjälp av ett ^{252}Cf -preparat (neutroner emitteras vid spontan fission) nedsänkt i en vattentank. Efter bestrålning förs de till en mätstation. Avsikten är att undersöka vilka radioaktiva isotoper som producerats i ett material/föremål som man vill undersöka. Det kan röra sig om allt från metallföremål som tex smycken/ringar till en del av en meteorit. Handledare och studenter definierar från början projekthinneåll och mål tillsammans.

Om exempelvis avsikten är att gör en kvantitativ analys av guldhalten i ett föremål behöver intensiteten för den karakteristiska gammastrålningen jämföras med en beräkning (oftast Monte-Carlo-simulering) där hänsyn tas till bestrålnings- och mätgeometri, neutronflöde, neutroninfångningstvårsnitt, sönderfallsschema mm. Undersökningen görs med gammaspektroskopi d.v.s med en halvledardetektor för gammastrålning gjord av germanium. De olika radioaktiva isotoperna identifieras med hjälp av specifika gammaövergångar. För att få reda på vilka kärnor som producerats initialt kan man t.ex. ta upp ett antal spektra under en vecka. Ur denna serie spektra kan man urskilja olika sönderfallstider och se om inväxningsförlopp finns. För att få antalet kärnor vid produktionstillfället får man gör effektivitetskalibrering av detektorn och extrapolera tillbaka till nolltidpunkten.

Genomförande:

- Litteraturstudier över neutronaktivering och gammaspektroskopi med germaniumdetektorer.

- Kartläggning av sönderfallskedjor (och däri ingående radioaktiva sönderfall och utsänd strålning) för ett antal intressanta isotoper som man vill studera.
- Genomgång av mätmetoder och detektorer för radioaktiv strålning
- Genomförande av mätningar
- Monte-Carlo-simulering av bestrålning och mätresultat (vid kvantitativ analys).
- Tolkning av mätresultat och i förekommande fall jämförelse med MC-simulering.
- Rapportskrivning över genomfört projekt
- Redovisning av projektet

KF4: Gamma-ray tracking with state-of-the-art AGATA detectors

Supervisor: Ayşe Ataç Nyberg (aanyber@kth.se)

AGATA is the name of a European research project, which aims at building a powerful detector array for gamma-ray spectroscopic studies. The high-purity Germanium crystals used by AGATA are electronically segmented in 36 divisions, making it possible to track the path of the gamma ray in the detector. Gamma-ray tracking is a new technique developed within the AGATA project. With this technique, the experimental sensitivity for detection of gamma rays is in some cases expected to increase by as much as 1000 times, compared to what is possible today.

The complete AGATA 4pi detector array, with 180 Germanium crystals, is expected to be ready towards the end of this decade. However, 32 detectors have already been manufactured and they are being used in experiments at GSI Darmstadt in Germany. At the same time, the tracking technique is being tested and optimized. The aim of this work will be to learn and contribute to the improvement of the new gamma-ray tracking technique.

The project will be carried out first by simulating the interaction of gamma rays with the AGATA detectors, by using the Geant4 Monte Carlo simulation toolkit developed at CERN. The simulated data sets will be used for testing and optimizing the gamma-ray tracking code. The simulation results will be compared to real data taken by AGATA detectors.

RT1,2: Monte Carlo Performance Benchmark for Detailed Power Density Calculations in a Full Size Reactor Core

Supervisor: Jan Dufek (jandufek@kth.se)

The aim of this work is to contribute the OECD-NEA performance benchmark with new data. The proposed benchmark task is to monitor over the coming years the (increase in) performance of Monte Carlo calculations of a full size reactor core. The ultimate goal is to demonstrate that over time it will become increasingly more practical to calculate a full size reactor core through the Monte Carlo method in a reasonably short time and with sufficient statistical accuracy.

Details of the benchmark are available at:

<http://www.oecd-nea.org/dbprog/MonteCarloPerformanceBenchmark.htm>

Codes to be used: SERPENT, OpenMC (suitable for two groups of students)

AP1: Jet formation in Active Galactic Nuclei

Supervisor: Josefin Larsson (jlarsson@particle.kth.se)

Active Galactic Nuclei (AGN) are accreting supermassive black holes located in the centres of galaxies. As matter is accreted by these black holes (which have masses higher than a million times that of the sun) bright emission is produced over the entire electromagnetic spectrum. In some cases narrow beams of plasma travelling close to the speed of light, so called jets, are also seen. The conditions required for such jets to form are not well understood. In this project students will address this question by analysing X-ray data of AGN obtained with current space telescopes. The X-ray emission from AGN originates in the innermost regions close to the black holes, which allows us to constrain the physical properties of matter located in this extreme environment. The students will fit observed spectra with different theoretical models using existing X-ray spectral fitting software and interpret the meaning of the results. In addition to becoming acquainted with current research on AGN, students will learn about statistical methods used in data analysis.

AP2: A small satellite for hard X-ray polarisation studies of gamma-ray bursts

Supervisor: Maxime Chauvin (maxime@particle.kth.se) [English only]

Gamma-ray bursts (GRBs) arise from extremely energetic events, such as the collapse of a massive star's core, or a merging of two massive neutron stars. They are momentarily the brightest objects in our galaxy. GRBs have been studied extensively during recent years, but many fundamental questions remain unanswered. The energy and time structure of the emitted high energy radiation is routinely studied, but the polarization is neglected. Polarization measurements are of great interest since they will provide entirely new information about GRBs, and allow competing emission models to be tested. A small satellite ('SPHiNX') has been proposed to measure the X-ray polarization of transient events such as GRBs. The X-ray polarimeter is designed to have a low mass (<15 kg) and consume little power (<15 W), as required for the small satellite programme. The scientific performance of the polarimeter design is studied using computer simulations so that a final design can be realized. During this project, you will learn how to use the object oriented (C+++) Geant4 toolkit, developed at CERN and contribute to the final design of the SPHiNX satellite.

AP3: Discovery of the positron

Supervisor: Per Carlson (carlson@particle.kth.se)

Carl Anderson received the 1936 Nobel Prize in physics for the discovery of the positron, the antiparticle of the electron. He observed in a cloud chamber a track of a positive particle with a mass about equal to that of the electron and he concluded that it must be the "mirror" of the electron. However, strangely enough the positive track went upwards. How can a 90 MeV positron going upwards be produced? For this work it is suggested that the different possibilities for producing a 90 MeV positron going upwards is examined: pair production in material surrounding the cloud chamber from a photon, decay of some elementary particle and finally production in material below the cloud chamber by in-falling cosmic rays. The study should include learning basic properties of elementary particles like the photon, the pion, the muon and the proton. Learning about Anderson's 1932 setup.

Estimating by simulations and calculations the probability of producing a 90 MeV positron going upwards in Anderson's experiment.

AP4: JEM-EUSO-experimentet

Handledare: Christer Fuglesang (cfug@kth.se)

JEM-EUSO är ett experiment som planeras på ISS från år 2018 för att studera de absolut mest högenergetiska kosmiska partiklar som finns. Det är troligen protoner som har energier i storleksordningen 10^{20} eV, att jämföra med protonmassans energi på runt 10^9 eV. Markbaserade detektorer har observerat några av dessa partiklar, men JEM-EUSO förväntas 10-faldiga statistiken på bara ett par år. Själva jordens atmosfär används som partikelmål. När en av dessa protoner träffar atmosfären bildas kedjereaktioner som leder till en ofantlig skur av partiklar vilka i slutänden sänder ut flourecerande och Cherenkovljus. Det är det ljuset (i UV-området) som JEM-EUSO ska fånga upp från ISS.

Det finns många vetenskapliga frågor runt dessa ultra-energetiska kosmiska partiklar. Bl.a. så bromsas protoner och joner med så hög energi i universum av den kosmiska bakgrundsstrålningen, p.g.a. av den s.k. GKZ-effekten (efter de som först insåg detta: Greisen, Zatsepin och Kuzmin). Därför förväntas ett drastiskt minskning av flödet vid högre energier, vilket existerande data ger en antydning till, men ännu osäkert. Olika partiklar kommer att ge olika form på denna "cut-off".

KEX-jobb erbjuds att antingen göra en litteraturstudie - möjligen också med enklare simuleringar - utav GKZ-effekten och hur olika partiklar påverkar det förväntade spektrat, eller en effektivitetsstudie av själva detektorn. Många faktorer spelar in för hur stor sannolikheten blir att en partikelskur verkligen kommer att registreras i detektorn.

Läs mer om experimentet på <http://jemeuso.riken.jp/en/>

AP5: Strålning på Internationella rymdstationen ISS

Handledare: Bengt Lund-Jensen (lund@particle.kth.se) och
Christer Fuglesang (cfug@kth.se)

Kosmiska partiklar från solen och galaxen penetrerar rymdstationens väggar och material, vilket ger en strålningsmiljö för astronauter i ISS som är ungefär femtio gånger högre än på jordytan. I gruppen för partikel- och astropartikelfysik så har vi jobbat med datasimuleringar av hur flödet av kosmiska partiklarna förändras när de kommer in i ISS och vilka doser det resulterar i. Tidigare simuleringsprogram hade svårt att hantera tunga joner i den kosmiska strålningen med hög energi. Nu finns bättre program och vi erbjuder KEX-jobb att utföra nya simuleringar och jämföra med färsk data från ISS.

AM1: Fossilfri energi- hur kommer vi dit?

Handledare: Elisabeth Rachlew (erk@kth.se)

En studie av energiförsörjning och energikonsumtion i Sverige. Arbetet skall göras som en genomsökning av energisituationen i Sverige. Var använder vi fossil energi? Hur kan vi ersätta det med något annat? Arbetet kan göras genom att söka i litteratur, genom att intervjua energikunniga experter, genom att ta fram exempel (är Tyskland ett bra exempel?). Arbetet skall utmynna i förslag om hur vi får en fossilfri energiförsörjning.

AM2: Fusionsenergin- en del av kärnkraften i Sverige 2050?

Handledare: Elisabeth Rachlew (erk@kth.se)

Denna studie skall redogöra för fusionsforskningens målsättning och vad som skall göras innan el från fusion kommer på våra nät. Arbetet skall beskriva kärnkraftens betydelse för energiproduktion och kärnkraftens utveckling mot nya slags kraftverk. Fusionsforskningens framsteg och vad som måste göras innan ett fusionskraftverk finns byggt skall behandlas. Arbetet kan göras genom intervjuer av fusionsforskare, genom studiebesök till Alfvénlaboratoriet, genom sökning av forskningsresultat i den öppna litteraturen.

NS1: Single- and two-phase flow in porous media

Supervisor: Weimin Ma (weimin@kth.se)

Study on single- and two-phase flow in porous media packed with stationary particles is of great importance to many engineering applications. A special interest from nuclear power safety assessment is to identify the permeability and possibility of porous media of various characteristics. The project can be i) perform a test on the POMEKO-FL facility to see physical phenomena of two-phase flow in porous media and measure the parameters accordingly; and/or ii) given the experimental data, how to reveal the physical laws (friction laws).

NS2: Visualization of droplet and bubble dynamics

Supervisor: Weimin Ma (weimin@kth.se)

The interaction of high-temperature molten material with water is encountered in nature (e.g., volcano) and in engineering systems (e.g., during a severe accident of nuclear power plants). To understand the phenomenon, the behavior of a molten droplet and the bubble surrounding it in a water pool is a fundamental research topic. The project is i) to perform a test on the MISTEE facility to record the droplet and bubble dynamics in a water pool by the means of high-speed photography and radiography; and ii) to process the experimental data for governing physical mechanism.