

Aufgabenstellung

Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik (ITTK)

Leiterin: Prof. Dr. habil. rer. nat. Sabine Enders

Engler-Bunte-Ring 21
76131 Karlsruhe

Telefon: 0721-608-4-2332

Fax: 0721-608-4-2335

E-Mail: steffen.grohmann@kit.edu

Web: www.ttk.kit.edu

Bearbeiter/in: Prof. Dr.-Ing. Steffen Grohmann

Unser Zeichen:

Datum: 20.07.2015

Modellierung des instationären Wärme- und Stofftransports eines Neutronenmoderators aus festem Deuterium zur Erzeugung ultrakalter Neutronen

Modeling of transient heat and mass transfer of a solid deuterium neutron moderator for the generation of ultra-cold neutrons

Typ: Masterarbeit

Art: Literaturstudie theoretisch konstruktiv experimentell

Betreuer: M.Sc. David Gomse (KIT-ITEP), 0721 – 608.26248, david.gomse@kit.edu
Dr. Bertrand Blau (PSI), bertrand.blau@psi.ch

Aufgabensteller: Prof. Dr.-Ing. Steffen Grohmann

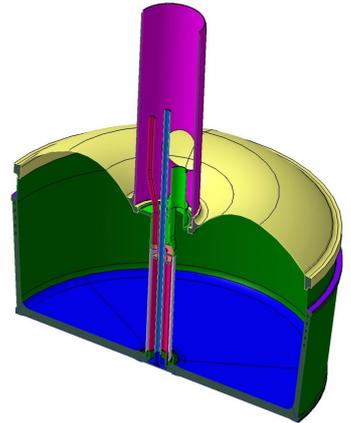
Gegenstand der Arbeit

Das Paul Scherrer Institut (PSI) in Villigen/Schweiz betreibt seit 2010 eine Spallationsneutronenquelle zur Erzeugung ultrakalter Neutronen. Die sich äusserst langsam bewegenden freien Neutronen, auch kurz UCN genannt, besitzen kinetische Energien von weniger als 300 neV. Das macht sie für grundlagenphysikalische Experimente sehr interessant, da sich die UCN in geeigneten Behältern über mehrere hundert Sekunden lang speichern lassen. An einer Strahllinie der UCN Quelle am PSI ist ein grosses Experiment installiert, mit dem eine internationale Kollaboration, der mehr als 80 Wissenschaftler aus aller Welt angehören, das elektrische Dipolmoment des Neutrons untersucht.

Die ultrakalten Neutronen werden mit Hilfe eines leistungsstarken Protonen-Beschleunigers erzeugt. Dazu wird ein sehr intensiver Protonenstrahl für einige Sekunden auf ein Bleitarget gelenkt. Durch Wechselwirkung der Protonen mit den Bleiatomkernen werden ca. 10^{18} Neutronen pro Puls freigesetzt. Dieser Prozess wird als Spallation bezeichnet. Die so entstandenen schnellen Neutronen treten in einen 4000 l großen Behälter mit hochreinem Schwerwasser (D_2O) ein, der das Target von allen Seiten umgibt. Durch Stöße mit den Deuteriumatomen geben die Neutronen einen Großteil ihrer kinetischen Energie ab und werden so auf ca. 25 meV oder 2200 m/s abgebremst. Ein Teil dieser sogenannten thermischen Neutronen tritt dann in einen zweiten Moderatorbehälter ein, der mit 5 kg festem Deuterium (D_2) gefüllt ist. Die Temperatur des 30 l großen D_2 Eisblocks beträgt ca. 5 K. Durch Stöße mit den Gitteratomen geben viele Neutronen einen Großteil ihrer verbliebenen kinetischen Energie ab und werden somit zu ultrakalten Neutronen. Diese UCN müssen den Moderatorbehälter vertikal nach oben verlassen und werden dann in einem 2 m^3 großen Speichervolumen gesammelt. Auf ihrem Weg nach oben verlieren die Neutronen aufgrund der Gravitation noch weiter an Energie.



Eine Schlüsselkomponente der UCN Quelle ist der weltweit einzigartige Moderatorbehälter, in dem 30 Nm^3 hochreines D_2 Gas ausgefroren werden. Dieser Behälter aus Aluminium mit einem Durchmesser von 50 cm und einer Höhe von 28 cm besitzt einen doppelwandigen Boden und Seitenwände, durch die überkritisches Helium bei einer Temperatur von 4,5 K und einem Druck von 4 bar zirkuliert. Der relativ komplexe Verlauf der Kühlkanäle in den Behälterwänden und der große Durchmesser führen dazu, dass sich signifikante Temperaturgradienten im Kristall ausbilden können. Durch die Neutronenpulse kommt es zudem zu einer instationären und inhomogenen nuklearen Erwärmung, die die Bildung von Temperaturgradienten weiter begünstigt. Aufgrund dieser Gradienten im Kristall wird angenommen, dass es durch Sublimations- und Desublimationsprozesse an der Kristalloberfläche zu einer Verlagerung makroskopischer Mengen an D_2 von wärmeren in kältere Zonen kommt. Diese Diffusionsprozesse haben durch die Veränderung der Kristalloberfläche einen grossen Einfluss auf die Neutronenausbeute. Da die Experimente mit UCN auf eine möglichst grosse Anzahl von Teilchen angewiesen sind, ist das Verständnis der Temperaturverteilung und der damit verbundenen Wärme- und Stofftransportprozesse besonders wichtig. Dadurch ließen sich wichtige Informationen über das Wachstum und die Form des Kristalls gewinnen, was einen entscheidenden Einfluss auf den zukünftigen Herstellungsprozess und die Regenerationszyklen des Kristalls hätte.



Im Rahmen der Masterarbeit soll ein numerisches Computermodell entwickelt werden, mit dessen Hilfe die instationäre Temperaturverteilung im D_2 Kristall simuliert werden kann. Dabei müssen die Behältergeometrie, der konvektive Transport im Kühlmedium, Wärmeleitung im Kristall und Wärmestrahlung von oben sowie die instationäre nukleare Aufheizung berücksichtigt werden. In einem weiteren Schritt soll der daraus resultierende Stofftransport zwischen verschiedenen Bereichen der Kristalloberfläche simuliert und quantifiziert werden.

Zur Einarbeitung in die Thematik und zur Recherche der Randbedingungen ist ein 3-monatiger vorbereitender Aufenthalt am PSI in Villingen/Schweiz geplant. Die 6-monatige Masterarbeit wird danach am Institut für Technische Physik am KIT Campus Nord durchgeführt. Die schriftliche Fassung der Masterarbeit soll in Englischer Sprache erfolgen, einschließlich einer zweiseitigen Deutschen Zusammenfassung.

Bilder:

- Foto vom Einbau des Moderatorbehälters in den UCN Tank. Der eigentliche Moderatorbehälter befindet sich am unteren Ende eines ca. 5 m langen Einschubes, der auch die Helium Kühlkanäle und am oberen Ende eine Kryopumpe umfasst.
- Schnitt durch das 3D Modell des UCN Moderatorbehälters. Durch den Boden und die Seitenwände zirkuliert Helium bei einer Temperatur von ca. 5 K. In dem Behälter mit 50 cm Durchmesser befinden sich 5 kg gefrorenes Deuterium.

Bearbeiter: Name

Beginn der Arbeit: frühestmöglich

20.07.2015, Prof. Dr.-Ing. S. Grohmann