

Kurzbericht

- öffentlich -

Zuwendungsempfänger: Technische Universität München, Physik Department E62, Prof. Fabbietti

Projektleitung: Technische Universität München, Physik Department E62, Prof. Fabbietti

Verbund: 05P2021 - ISOLDE

Thema: Reaktionsspektroskopie exotischer Kerne bei niedrigem Energie- und Impulsübertrag

1. Ziel und Inhalt des Projektes

Das vorliegende Projekt der TUM ist wesentlicher Bestandteil der Aktivitäten zum Studium exotischer Kerne an ISOLDE mit HIE-ISOLDE / MINIBALL und hat besonders methodische Entwicklungen für zukünftige Experimente zum Gegenstand.

Die Eigenschaften exotischer, sehr neutronenreicher Kerne sind elementar wichtig für das Verständnis des r-Prozesses. Die zurzeit neben FAIR in Darmstadt vielleicht einzige Alternative zur Erzeugung solcher nachbeschleunigten, schweren Kerne ist die HIE-ISOLDE-Anlage am CERN. HIE-ISOLDE arbeitet bei niedrigen Energien und erlaubt daher bevorzugt Experimente mit kleinen Impulsüberträgen. Dies favorisiert direkte Reaktionen, wie z.B. den Ein- und Zwei-Neutronen-Transfer. Diese Reaktionen sind eine der wenigen Alternativen, den astrophysikalisch relevanten Neutronen-Einfangsprozess, wie er in der Nukleosynthese abläuft, an exotischen Kernen experimentell zu untersuchen. Damit ist ISOLDE die zurzeit wesentliche Anlage, die hochgradig komplementäre Messungen zu dem geplanten Forschungsprogramm bei FAIR ermöglicht.

Zukünftige Messungen werden in direkter Art und Weise die Ein-Teilchen-Eigenschaften von r-Prozess relevanten Kernen vermessen. Hierfür ist allerdings ein signifikantes Upgrade des T-REX Silizium-Detektor Arrays nötig. Ein neuartiges Silizium-Design zusammen mit einer innovativen, vakuumtauglichen Elektronik soll erstmals bei HIE-ISOLDE für Transferreaktionen, z.B. bei der Spektroskopie von ^{135}Sn , eingesetzt werden.

Der Schwerpunkt des Arbeitspaketes der TUM lag auf der Fertigstellung der technologischen Entwicklung für HI-TREX und deren Implementierung für das Miniball Experiment. Damit wird eine substantielle Verbesserung der Ergebnisqualität und auch eine effizientere Nutzung der Experimentierzeit erreicht. Dieses Silizium-Detektorsystem erlaubt es gestreute, leichte Teilchen mit deutlich verbesserter Auflösung zu spektroskopieren. Darüber hinaus kann durch die deutliche Erhöhung der Segmentierung der unvermeidbare Untergrund durch sekundäre Elektronen, der bisher Experimente mit schweren Strahlen limitiert hat, drastisch reduziert werden. Damit werden endlich Transferreaktionen mit schweren neutronenreichen Strahlen bei den Energien von HIE-ISOLDE möglich.

2. Ablauf und Ergebnisse des Vorhabens

Im Rahmen des vorliegenden Projektes lag der Fokus der Arbeitsgruppe der Technischen Universität München (TUM) auf der Vorbereitung zukünftiger Experimente bei HIE-ISOLDE. Dafür wurden technologische Entwicklungen für einen verbesserten Detektoraufbau und zur entsprechenden Elektronik sowie Datenanalyse durchgeführt. Im Zentrum der Arbeiten

standen die Entwicklung und der Aufbau eines hochsegmentierten Siliziumarrays mit einer hochauflösenden, integrierten und vakuumtauglichen Elektronik zur Signalverarbeitung und Digitalisierung. Für die Energieverlustmessung und eine hochauflösende Ortsmessung der geladenen Teilchen wurden $d = 150 \mu\text{m}$ dünne, trapezförmige und hochsegmentierte Wafer entwickelt und auf die Hybrid-PCBs integriert. Diese werden jeweils durch zwei $d = 700 \mu\text{m}$ dicke unsegmentierte Detektoren zur Energiemessung komplementiert. Diese PCBs vereinen als „Very-Frontend“-Modul sowohl die Detektoren als auch die Elektronik mit speziellen „SKIROC“ ASIC Chips auf einer Leiterplatte. Für deren Ansteuerung und Auslese wurde ein komplexes Auslesesystem, das auf dem TRB System der GSI basiert, weiterentwickelt, erprobt und ein umfangreiches Programmpaket zur Ansteuerung und Auslese erstellt. Um ein extrem kompaktes Detektorsystem im Zentrum des Miniball Germanium Detektorarrays zu realisieren wurde das mechanische Konzept von HI-TREX für eine maximale Akzeptanz umgearbeitet und alle Komponenten neu gefertigt. In mehreren Experimenten an unterschiedlichen Strahlungsquellen wurden alle Spezifikationen des Systems erfolgreich erprobt, so dass nun ein komplettes Detektorsystem mit hoher Raumabdeckung und hoher Effizienz für zukünftige Experimente bei HIE-ISOLDE zur Verfügung steht.

3. Darstellung der wesentlichen Ergebnisse und deren konkreter Nutzen sowie ggf. die Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

In diesem Projekt wurden umfangreiche Entwicklungsarbeiten für ein hochsegmentiertes Silizium-Detektorarray mit einer hochauflösenden, integrierten und vakuumtauglichen Signalelektronik erfolgreich durchgeführt und darauf aufbauend der HI-TREX Detektor gebaut.

Große Meilensteine im technologischen Bereich sind: I) Entwicklung dünner, trapezförmiger, hochsegmentierter, doppelseitiger Siliziumstreifendetektoren II) Entwicklung von $d = 700 \mu\text{m}$ dicken Paddetektoren zur mehrfachen Energiemessung III) Entwicklung und Fertigung von Detektormodulen, die sowohl die Silizium Detektoren als auch die ASIC-Elektronik auf Basis des SKIROC Chips auf einer Leiterplatte vereinen IV) Integration der Detektormodule zu einem Array mit nahezu vollständiger Abdeckung des gesamten Raumwinkels in den Target Bereich des Miniball-Spektrometers und V) Fertigstellung der Ausleseelektronik und Analysesoftware für HI-TREX.

Zur Erprobung der energieabhängigen Nachweiseffizienz des Detektorsystems für Protonen hat die Arbeitsgruppe ein umfangreiches Experimentprogramm am Cyclotron Center Bronowice in Krakau durchgeführt. Bei Strahlenergien bis $E_{\text{kin}} = 200 \text{MeV}$ wurde ein System aus vier der neuen Detektoren in einer Zwei-Arm-Geometrie aufgebaut und mittels elastischer Proton-Proton Streuung erprobt. Damit konnten Trigger-Effizienz, Datenaufnahme Elektronik und Analysesoftware bei sehr kleiner Energiedeposition erfolgreich erprobt werden. In einem weiteren Testexperiment am Reactor Institute Delft (RID) konnte die hervorragende Energieauflösung der neuen Detektoren im Zusammenspiel mit der SKIROC Elektronik verifiziert werden.

Im experimentellen Bereich wurden die Arbeiten zur Coulombanregung von ^{72}Zn an einem ^{109}Ag Target abgeschlossen und entsprechende Ergebnisse veröffentlicht.

Die Arbeiten wurden in enger Zusammenarbeit mit den Partnern der TU Darmstadt, der GSI Darmstadt und dem Forschungsinstitut für Mikrosensorik (CiS) durchgeführt.

Die Ergebnisse der experimentellen Arbeiten wurden und werden in referierten Publikationen veröffentlicht und auf nationalen und internationalen Konferenzen vorgestellt. Die technologischen Entwicklungen stellen einen nennenswerten Beitrag für das zukünftige Experimentprogramm an HIE-ISOLDE dar.