

Der Galatea Teststand

Florian Faulstich

LMU München
für die Gedet-Gruppe
am MPI für Physik in München

23. März 2011



Inhaltsverzeichnis

- 1 Motivation
- 2 HPGe Detektoren
 - Grundlegende Eigenschaften
 - Geometrie des verwendeten Detektors
 - Charakterisierung der HPGe-Detektoren
- 3 Technische Anforderungen
- 4 Der Galatea Teststand
- 5 Kalibrationsspektrum
- 6 Aussichten



Motivation

- Germanium Halbleiter-Detektoren werden in der Kernphysik und Elementarteilchenphysik eingesetzt
- Hochreines Germanium (HPGe) seit 1970 kommerziell verfügbar



Motivation

- Germanium Halbleiter-Detektoren werden in der Kernphysik und Elementarteilchenphysik eingesetzt
- Hochreines Germanium (HPGe) seit 1970 kommerziell verfügbar
- Angereichertes ^{76}Ge kann gleichzeitig als Quelle für den $0\nu\beta\beta$ -Zerfall dienen



Motivation

- Germanium Halbleiter-Detektoren werden in der Kernphysik und Elementarteilchenphysik eingesetzt
- Hochreines Germanium (HPGe) seit 1970 kommerziell verfügbar
- Angereichertes ^{76}Ge kann gleichzeitig als Quelle für den $0\nu\beta\beta$ -Zerfall dienen
- Das Studium von Oberflächeneffekten um Untergrundereignisse in Low Background Experimenten wie GERDA (GermaniumDetectorArray) zu verstehen und zu reduzieren



Motivation

- Germanium Halbleiter-Detektoren werden in der Kernphysik und Elementarteilchenphysik eingesetzt
- Hochreines Germanium (HPGe) seit 1970 kommerziell verfügbar
- Angereichertes ^{76}Ge kann gleichzeitig als Quelle für den $0\nu\beta\beta$ -Zerfall dienen
- Das Studium von Oberflächeneffekten um Untergrundereignisse in Low Background Experimenten wie GERDA (GermaniumDetectorArray) zu verstehen und zu reduzieren



Der Einkristall als Halbleiterdetektor

Verunreinigungsdichte ρ_{imp}

- HPGe als reinstes von Menschen hergestelltes Material mit elektrisch aktiver Verunreinigungsdichte $\rho_{imp(Ge)} \leq 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ (ppt)
- Kommerziell gefertigtes Silizium hat $\rho_{imp(Si)} \approx 10^{13} \text{ cm}^{-3}$



Der Einkristall als Halbleiterdetektor

Verunreinigungsichte ρ_{imp}

- HPGe als reinstes von Menschen hergestelltes Material mit elektrisch aktiver Verunreinigungsichte $\rho_{imp(Ge)} \leq 10^{10} \text{cm}^{-3}$ (ppt)
- Kommerziell gefertigtes Silizium hat $\rho_{imp(Si)} \approx 10^{13} \text{cm}^{-3}$
- Vollständige Depletierung über 5 cm bei 3 kV bedeutet großes Detektionsvolumen für die Suche nach $0\nu\beta\beta$



Der Einkristall als Halbleiterdetektor

Verunreinigungsichte ρ_{imp}

- HPGe als reinstes von Menschen hergestelltes Material mit elektrisch aktiver Verunreinigungsichte $\rho_{imp(Ge)} \leq 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ (ppt)
- Kommerziell gefertigtes Silizium hat $\rho_{imp(Si)} \approx 10^{13} \text{ cm}^{-3}$
- Vollständige Depletierung über 5 cm bei 3 kV bedeutet großes Detektionsvolumen für die Suche nach $0\nu\beta\beta$

Bandlücke

- $E_{gap} = 0,67 \text{ eV}$ bei Zimmertemperatur



Der Einkristall als Halbleiterdetektor

Verunreinigungsichte ρ_{imp}

- HPGe als reinstes von Menschen hergestelltes Material mit elektrisch aktiver Verunreinigungsichte $\rho_{imp(Ge)} \leq 10^{10} \text{cm}^{-3}$ (ppt)
- Kommerziell gefertigtes Silizium hat $\rho_{imp(Si)} \approx 10^{13} \text{cm}^{-3}$
- Vollständige Depletierung über 5 cm bei 3 kV bedeutet großes Detektionsvolumen für die Suche nach $0\nu\beta\beta$

Bandlücke

- $E_{gap} = 0,67 \text{ eV}$ bei Zimmertemperatur \Rightarrow Notwendigkeit der Kühlung auf $\approx 100 \text{ K}$



Der Einkristall als Halbleiterdetektor

Verunreinigungsichte ρ_{imp}

- HPGe als reinstes von Menschen hergestelltes Material mit elektrisch aktiver Verunreinigungsichte $\rho_{imp(Ge)} \leq 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ (ppt)
- Kommerziell gefertigtes Silizium hat $\rho_{imp(Si)} \approx 10^{13} \text{ cm}^{-3}$
- Vollständige Depletierung über 5 cm bei 3 kV bedeutet großes Detektionsvolumen für die Suche nach $0\nu\beta\beta$

Bandlücke

- $E_{gap} = 0,67 \text{ eV}$ bei Zimmertemperatur \Rightarrow Notwendigkeit der Kühlung auf $\approx 100 \text{ K}$
- Energie zur Erzeugung eines e-h Paares ist $E_{e-h} = 2,9 \text{ eV}$



Der Einkristall als Halbleiterdetektor

Verunreinigungsichte ρ_{imp}

- HPGe als reinstes von Menschen hergestelltes Material mit elektrisch aktiver Verunreinigungsichte $\rho_{imp(Ge)} \leq 10^{10} \text{cm}^{-3}$ (ppt)
- Kommerziell gefertigtes Silizium hat $\rho_{imp(Si)} \approx 10^{13} \text{cm}^{-3}$
- Vollständige Depletierung über 5 cm bei 3 kV bedeutet großes Detektionsvolumen für die Suche nach $0\nu\beta\beta$

Bandlücke

- $E_{gap} = 0,67 \text{ eV}$ bei Zimmertemperatur \Rightarrow Notwendigkeit der Kühlung auf $\approx 100 \text{ K}$
- Energie zur Erzeugung eines e-h Paares ist $E_{e-h} = 2,9 \text{ eV}$
 \Rightarrow Exzellente Energieauflösung bei großem Volumen



Der Einkristall als Halbleiterdetektor

Verunreinigungsichte ρ_{imp}

- HPGe als reinstes von Menschen hergestelltes Material mit elektrisch aktiver Verunreinigungsichte $\rho_{imp(Ge)} \leq 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ (ppt)
- Kommerziell gefertigtes Silizium hat $\rho_{imp(Si)} \approx 10^{13} \text{ cm}^{-3}$
- Vollständige Depletierung über 5 cm bei 3 kV bedeutet großes Detektionsvolumen für die Suche nach $0\nu\beta\beta$

Bandlücke

- $E_{gap} = 0,67 \text{ eV}$ bei Zimmertemperatur \Rightarrow Notwendigkeit der Kühlung auf $\approx 100 \text{ K}$
- Energie zur Erzeugung eines e-h Paares ist $E_{e-h} = 2,9 \text{ eV}$
 \Rightarrow Exzellente Energieauflösung bei großem Volumen



Geometrie des verwendeten Detektors

Die Geometrie wird durch folgende Punkte festgelegt:

- Echt koaxiale Form liefert das größte Volumen für ein annähernd homogenes $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ -Feld



Geometrie des verwendeten Detektors

Die Geometrie wird durch folgende Punkte festgelegt:

- Echt koaxiale Form liefert das größte Volumen für ein annähernd homogenes $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ -Feld
- Bor-Implantate in der Mantelfläche des n-Typ Materials bilden die p^+ Elektroden
- Um diese p-n Diode in Sperrrichtung zu betreiben, \Rightarrow Anode an den Kern, Kathode an den Mantel



Geometrie des verwendeten Detektors

Die Geometrie wird durch folgende Punkte festgelegt:

- Echt koaxiale Form liefert das größte Volumen für ein annähernd homogenes $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ -Feld
- Bor-Implantate in der Mantelfläche des n-Typ Materials bilden die p^+ Elektroden
- Um diese p-n Diode in Sperrrichtung zu betreiben, \Rightarrow Anode an den Kern, Kathode an den Mantel
- Die Segmentierung (6 in Azimuthalwinkel ϕ , 3+1 in z) erlaubt die:
 - Positionsbestimmung von Ereignissen
 - Klassifizierung von Ereignissen, im Speziellen die Diskriminierung von Compton-Untergrund



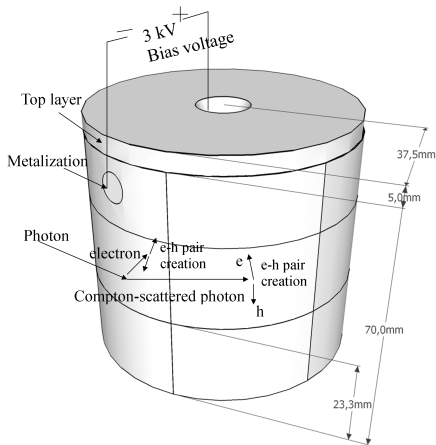
Geometrie des verwendeten Detektors

Die Geometrie wird durch folgende Punkte festgelegt:

- Echt koaxiale Form liefert das größte Volumen für ein annähernd homogenes $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ -Feld
- Bor-Implantate in der Mantelfläche des n-Typ Materials bilden die p^+ Elektroden
- Um diese p-n Diode in Sperrrichtung zu betreiben, \Rightarrow Anode an den Kern, Kathode an den Mantel
- Die Segmentierung (6 in Azimutalwinkel ϕ , 3+1 in z) erlaubt die:
 - Positionsbestimmung von Ereignissen
 - Klassifizierung von Ereignissen, im Speziellen die Diskriminierung von Compton-Untergrund



Der echt coaxial 18+1-fach segmentierte n-Typ Detektor

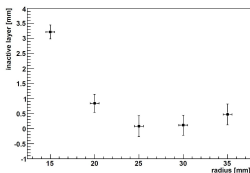


Charakterisierung von Oberflächeneffekten

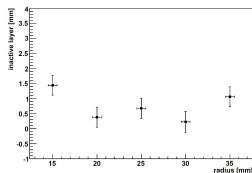
- Übliche Charakterisierung durch γ -Strahlung
- Neu ist die Untersuchung von α - und β -Strahlung induzierten Ereignissen nahe der Oberfläche und deren Pulsformen
- Die Charakterisierung wird durch einen Scan der kompletten Manteloberfläche mittels α - und/oder β -aktiven Quellen vorgenommen
- e^- bei 1 MeV haben eine Eindringtiefe in Germanium in der Größenordnung von mm
- α -Strahlung mit 150 keV hat eine Eindringtiefe von $\approx \mu\text{m}$
- Untersuchung von Totschichten an passivierten Endflächen



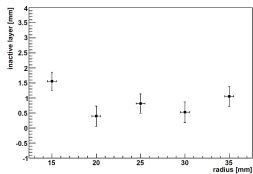
Untersuchung der oberflächennahen Totschicht



(a)



(b)



(c)

Abbildung: γ -Scans bei (a) $\Phi = 215^\circ$, (b) $\Phi = 237,5^\circ$ und (c) $\Phi = 260^\circ$
[Quelle: Lenz D., PhD-thesis, MPI 2010]

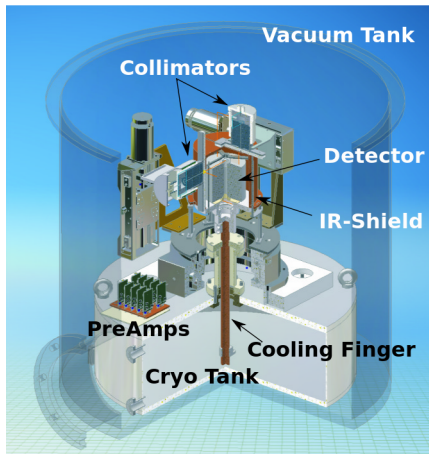


Technische Anforderungen

- Vakuum für Quelle und Detektor damit die α 's und β 's den Kristall ungestreut erreichen und um thermisch zu isolieren
- Kühlung durch LN_2 -Kryostaten um den thermisch generierten Leckstrom einzudämmen
- Der Kristall muss vor Infrarot-Strahlung geschützt werden
- Verfahrbare Quelle für die systematische Oberflächenanalyse
- Platzierung der vor äußerer Strahlung weitgehend abgeschirmten Elektronik im Vakuumtank, ohne dabei zu überhitzen
- Angestrebte Auflösung ≈ 3 keV bei 2 MeV

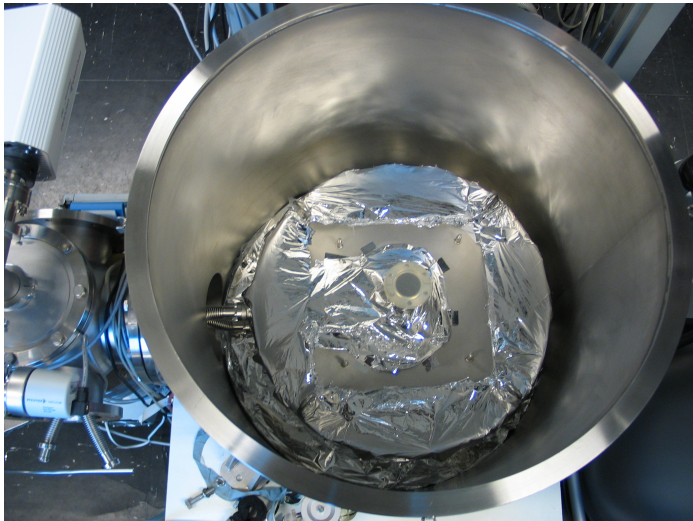


Der Galatea Teststand

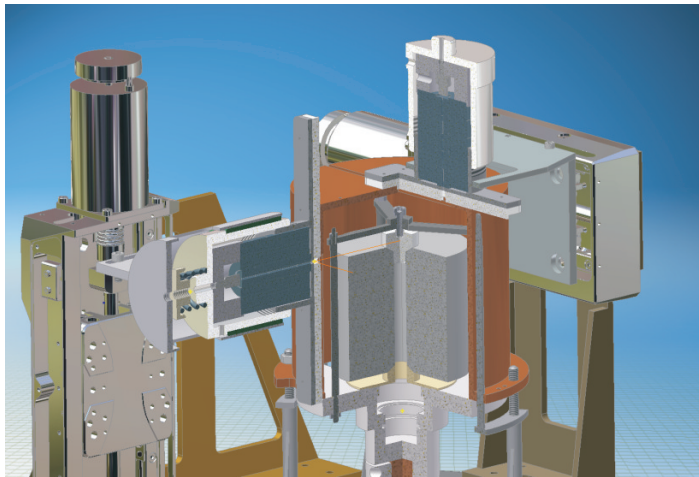


- Ein 130 l Vakuumentank beherbergt einen kleineren Kryo-Tank
- Langlöcher im IR-Schild ermöglichen eine direkte Bestrahlung ohne Material zwischen Quelle und Detektor
- Die 3 Schrittmotoren (Stages) erlauben eine Schrittweite von μm in alle Raumrichtungen
- Die Preamps werden durch die darunter befindliche unisolierte Kryotankoberfläche gekühlt

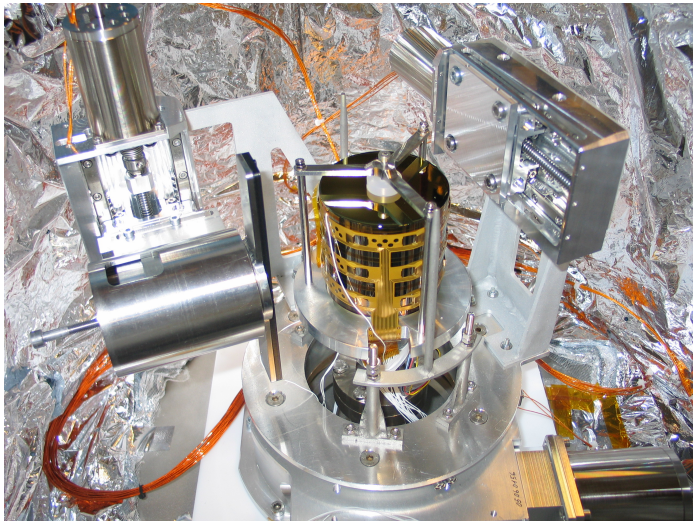
Die Komponenten



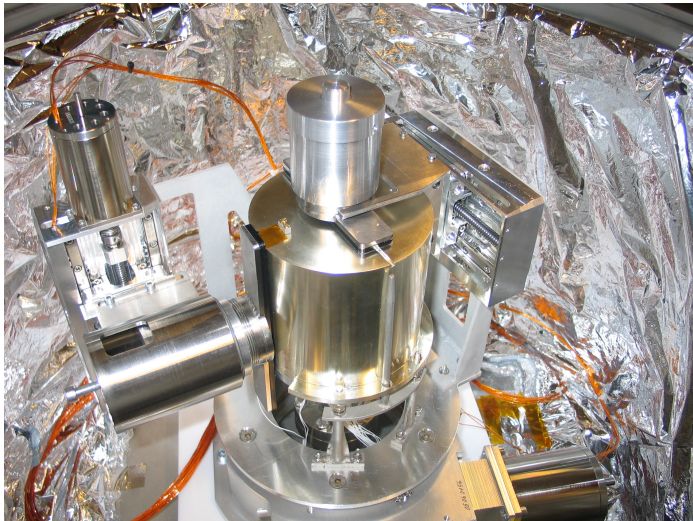
Die Komponenten



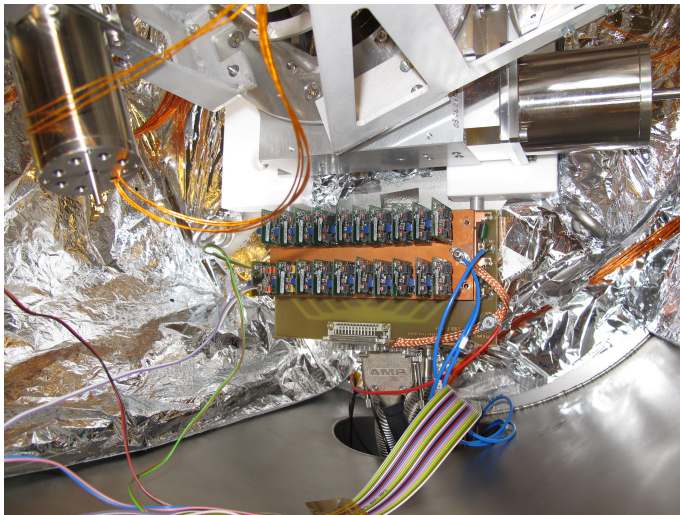
Die Komponenten



Die Komponenten



Die Komponenten



Thorium-Spektrum in einem repräsentativen Segment

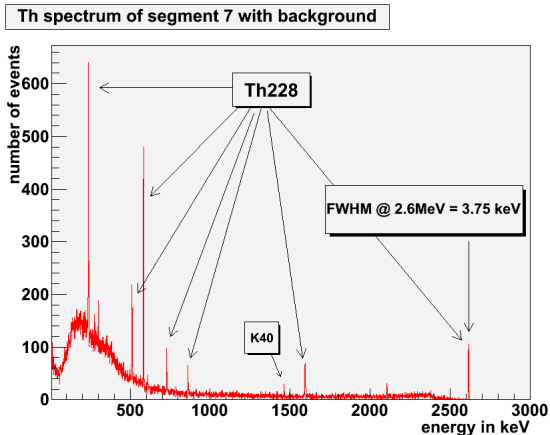


Abbildung: Aufnahme eines Kalibrationsspektrums mit repräsentativer Energieauflösung. Die Quelle wurde zentral über dem Tank angebracht.



Zusammenfassung und Aussichten

- Neuartiger Teststand, denn
- Kein Material zwischen Quelle und Detektor, normalerweise befindet sich der Detektor in einer Aluminiumkapsel



Zusammenfassung und Aussichten

- Neuartiger Teststand, denn
- Kein Material zwischen Quelle und Detektor, normalerweise befindet sich der Detektor in einer Aluminiumkapsel
- Galatea ist derzeit noch in der Testphase



Zusammenfassung und Aussichten

- Neuartiger Teststand, denn
- Kein Material zwischen Quelle und Detektor, normalerweise befindet sich der Detektor in einer Aluminiumkapsel
- Galatea ist derzeit noch in der Testphase
- Ein systematischer Scan mit α - und β -Quellen steht noch aus



Zusammenfassung und Aussichten

- Neuartiger Teststand, denn
- Kein Material zwischen Quelle und Detektor, normalerweise befindet sich der Detektor in einer Aluminiumkapsel
- Galatea ist derzeit noch in der Testphase
- Ein systematischer Scan mit α - und β -Quellen steht noch aus
- Zudem besteht die Möglichkeit mit einem durchstimmbaren Laser zu scannen



Zusammenfassung und Aussichten

- Neuartiger Teststand, denn
- Kein Material zwischen Quelle und Detektor, normalerweise befindet sich der Detektor in einer Aluminiumkapsel
- Galatea ist derzeit noch in der Testphase
- Ein systematischer Scan mit α - und β -Quellen steht noch aus
- Zudem besteht die Möglichkeit mit einem durchstimmbaren Laser zu scannen

