

Gasgefüllter Röntgendetektor mit GridPix-Auslese

DPG-Frühjahrstagung 2012

Göttingen

Christoph Krieger, Yevgen Bilevych, Klaus Desch,
Jochen Kaminski, Thorsten Krautscheid

Universität Bonn

28.02.2012



Überblick

Motivation

Röntgendetektor

Analyse von Röntgenereignissen

Untergrundmessungen

Zusammenfassung & Ausblick

Röntgendetektoren

Micromegas

- Gut geeignet für Experimente mit geringen Ereignisraten
z.B. Microbulk Micromegas @ CAST
- Untergrundrate: $\sim 10^{-6}/(\text{keV} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s})$ (2 bis 7 keV)
- Ortsauflösung begrenzt durch Pad- bzw Streifendimensionen

GridPix = Timepix ASIC + Micromegas

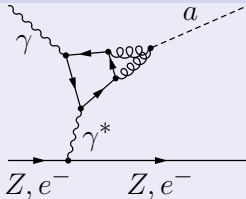
- Gute Energieauflösung
- Hohe Ortsauflösung
- Untergrunddiskriminierung durch verbesserte Analyse der Ereignisform (Ausnutzung der hohen Ortsauflösung)

Das CAST-Experiment

CERN Axion Solar Telescope



Primakoff-Effekt



Nachweis von Axionen

- Axionenproduktion in der Sonne
- Axionen können in starkem \vec{B} -Feld in Photonen konvertieren
- Solare Axionen: 0 bis 12 keV

Anforderungen an Röntgendetektoren mit niedrigen Untergrundraten

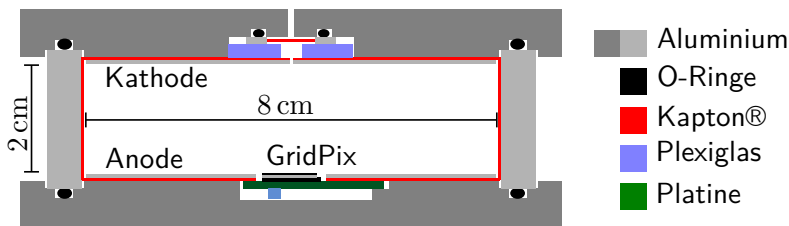
Materialanforderungen

- Materialien ohne radioaktive Verunreinigungen
- Vermeidung von Metallen mit Röntgenfluoreszenzlinien
- Hohe Konversionswahrscheinlichkeit für Röntgenphotonen: Argon (oder Xenon) bei hohem Druck (1,5 bis 2 bar)

Mechanische Anforderungen

- Gasdichtigkeit, kleines Volumen
- Eintrittsfenster für Röntgenstrahlung

Röntgendetektor

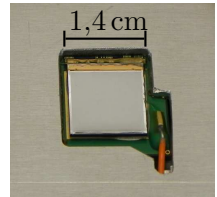
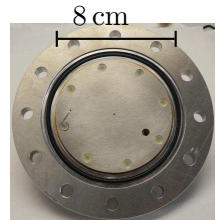
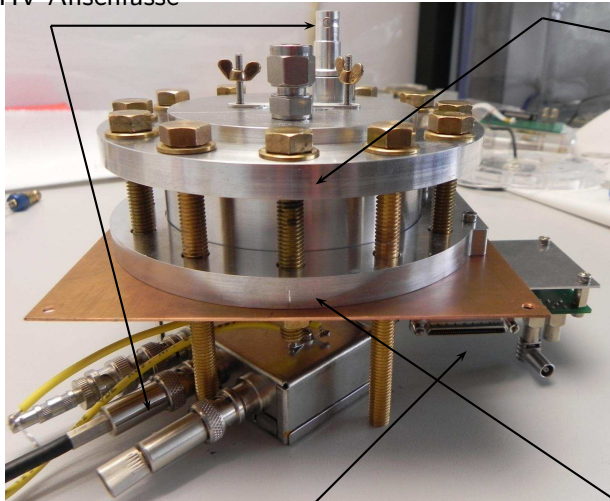


- Detektor aus Aluminium, HV-Isolation mit Kapton®-Folie
- Auslese und Gasverstärkung: GridPix (Timepix + InGrid)
- Eintrittsfenster aus 50 μm Kapton®-Folie, Durchmesser 1 mm
- Betrieb mit Ar/ $i\text{C}_4\text{H}_{10}$ 95/5 (Fluss $\sim 2\text{ l/h}$) und geringem Überdruck (keine Druckregelung)

Röntgendetektor

HV-Anschlüsse

Kathode

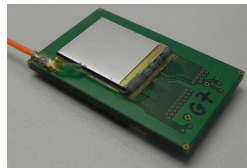
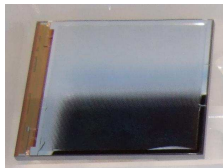
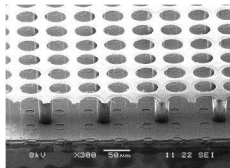


Ausleseelektronik

Anode mit GridPix

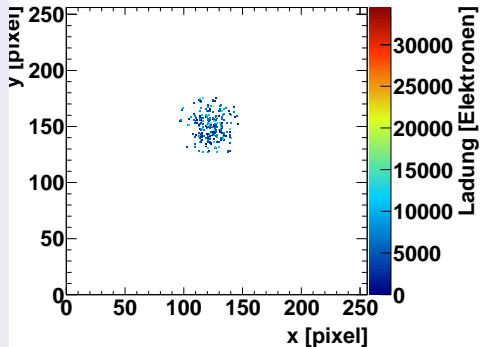
Integrierte Micromegas - InGrid

- Aufbringen einer Micromegas auf den Timepix mit photolithographischer Nachbearbeitung
- Sehr gute Ausrichtung des Gitters an den Pixeln
- Jede Ladungslawine wird von einem Pixel gesammelt
- Nachweis von einzelnen Elektronen ist möglich (für Gasverstärkungen $\gtrsim 5000$)
- Resistive Schicht (2-8 μm Siliziumnitrid) auf Timepix schützt Chip vor Überschlügen (Verteilen der Ladung)
- Produktion von InGrids: Vortrag von T.Krautscheid (T58.8)

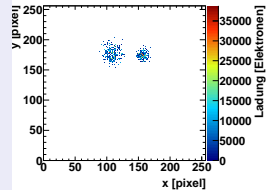


Typische Röntgenereignisse

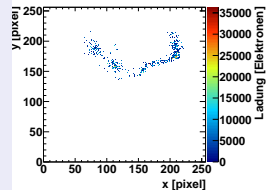
Röntgenereignis



Doppelereignis



Untergrundereignis

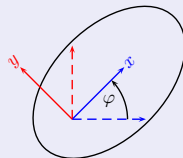
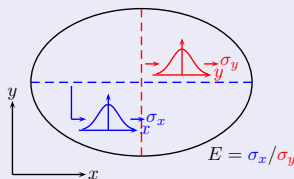


Analyse von Röntgenereignissen

Analyse mit MarlinTPC

- **M**odular **A**nalysis and **R**econstruction for the **L**INear Collider
- Einsammeln aller Pixel eines Röntgenereignisses:
Suche nach benachbarten Pixeln innerhalb eines einstellbaren Quadrats um jeden Pixel (hier: 21×21 Pixel)
- Bestimmung geometrischer Eigenschaften:
Schiefe, Kurtosis, Breite σ_y , Exzentrizität E

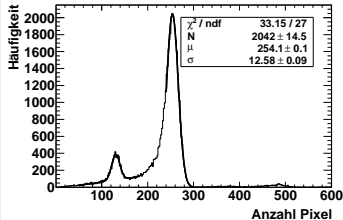
Exzentrizität



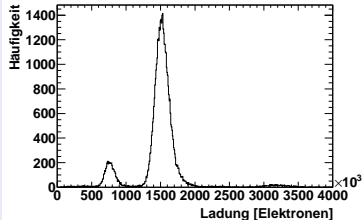
Maximierung von E durch Rotation des Koordinatensystems

Ergebnisse mit ^{55}Fe -Quelle

Spektrum - Pixel



Spektrum - Ladung



Energieauflösung

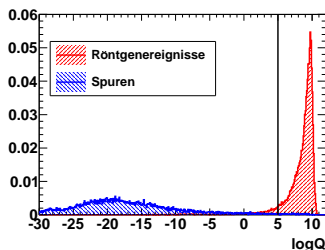
- Energieauflösung: $\frac{\sigma_N}{N} \approx 5\%$ bei 5,9 keV
Chromfolie zur Unterdrückung der 6,5 keV Linie von ^{55}Fe
- Ladungsspektrum: $\sim 6,6\%$ Energieauflösung
- Gasverstärkung ~ 6500 bei 350 V

Diskriminierung von Untergrundereignissen

Diskriminierung

- Spurrekonstruktion und Röntgen-Algorithmus für jedes Ereignis
- Entscheidung über Likelihood-Ratio $\log Q$

Likelihood-Ratio



Zusammensetzung von $\log Q$

- $\log Q = \sum_i \log \mathcal{L}(x_i = \chi_i | \text{Photon}) - \sum_i \log \mathcal{L}(x_i = \chi_i | \text{Spur})$
- Wahrscheinlichkeiten aus Referenzdatensätzen
- Spurlänge, Pixel pro Länge, Kurtosis entlang Spur, Spurexzentrität, Exzentrität, Kurtosis, RMS

Untergrundmessungen

Kupferabschirmung



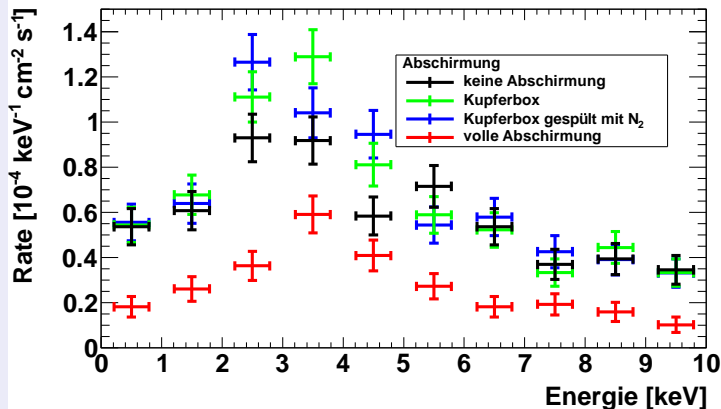
Bleiabschirmung



- Kupferabschirmung um Detektor (1 mm), kann mit Stickstoff gespült werden
- Bleiabschirmung: 5 cm seitlich und unten, 10 cm oben
- ungefähr $500\,000 \times 1\text{ s}$ für verschiedene Abschirmungen
- Energie-Kalibration mit ^{55}Fe -Quelle

Untergrundraten

nach Diskriminierung



- Durch Diskriminierung: $\sim 70 \text{ mHz} \rightarrow \sim 0,6 \text{ mHz}$

Zusammenfassung & Ausblick

Zusammenfassung

- GridPix basierter Röntgendetektor wurde erfolgreich in Betrieb genommen
- Gute Energieauflösung wurde erreicht (5% bei 5,9 keV)
- Erreichte Untergrundraten sind vielversprechend ($\sim 2,6 \cdot 10^{-5} / (\text{keV} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s})$ zwischen 0 und 10 keV)

Ausblick

- Auskoppeln und Aufnehmen des Gitter-Signals
- Austauschen der Aluminium-Bauteile durch Plexiglas
- Verbesserung der Untergrunddiskriminierung
- Untersuchung des Untergrundspektrums
- Mitgliedsantrag für CAST läuft

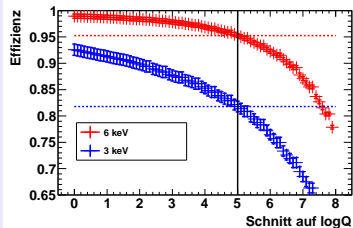
Danke für die Aufmerksamkeit!

Fragen?

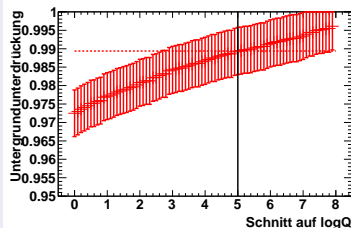
Unterstützung

Effizienz & Untergrundunterdrückung

Effizienz

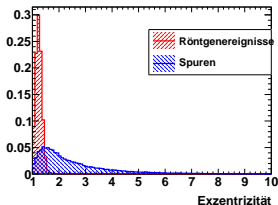


Untergrundunterdrückung

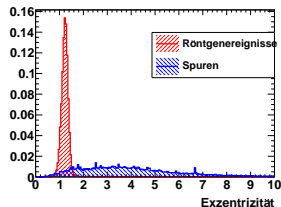


Variablen für Likelihood-Ratio

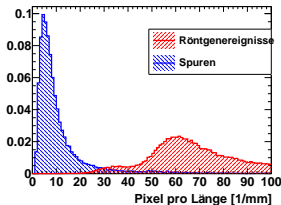
Exzentrizität



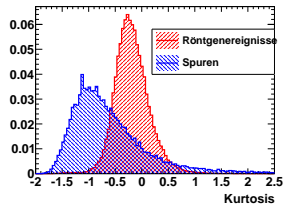
Spurexzentrizität



Pixel pro Länge

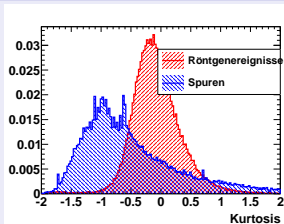


Kurtosis entlang Spur

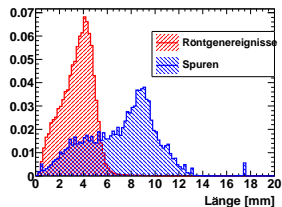


Variablen für Likelihood-Ratio

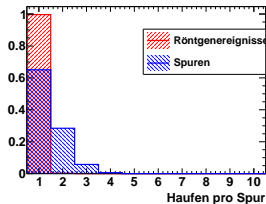
Kurtosis



Spurlänge



Haufen pro Spur



Solarer Axionenfluss

Differentieller Axionenfluss von der Sonne

