

Entwicklung einer Abschirmung für das COBRA – Experiment mit Hilfe von Monte – Carlo Simulationen

Nadine Heidrich
für die COBRA–Kollaboration

Universität Hamburg
Institut für Experimentalphysik

DPG Frühjahrstagung, Münster 2011

Der $0\nu\beta^-\beta^-$ -Zerfall

$2\nu\beta^-\beta^-$ -Zerfall:

- postuliert 1935 von M. Goeppert-Mayer

$$(Z, A) \rightarrow (Z + 2, A) + 2e^- + 2\nu_e$$

$0\nu\beta^-\beta^-$ -Zerfall:

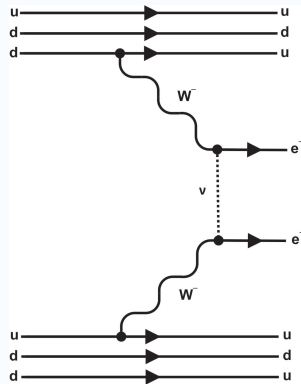
- postuliert 1939 von W. H. Furry

$$(Z, A) \rightarrow (Z + 2, A) + 2e^-$$

- Racah-Sequenz:

$$(Z, A) \rightarrow (Z + 1, A) + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$(Z + 1, A) + \nu_e \rightarrow (Z + 2, A) + e^-$$



Der $0\nu\beta^-\beta^-$ -Zerfall

Zwei Bedingungen müssen erfüllt sein:

- Das Neutrino muss ein Majorana-Neutrino sein.
- Die Helizität muss sich zwischen den Vertices umkehren.

Alternative Prozesse:

$$(Z, A) \rightarrow (Z - 2, A) + 2e^+ (+2\nu_e)$$

$$e_B^- + (Z, A) \rightarrow (Z - 2, A) + e^+ (+2\nu_e)$$

$$2e_B^- + (Z, A) \rightarrow (Z - 2, A) (+2\nu_e)$$

Das COBRA-Experiment

Cadmium-Zinc-Telluride 0-Neutrino Double-Beta Research Apparatus

Vorteile von CdZnTe-Kristallen:

- Halbleiter → reines Material, gute Energieauflösung
- “Quelle = Detektor”-Ansatz → große Masse
- Betrieb bei Raumtemperatur → keine Kühlung
- Modulares Design → Koinzidenz-Analyse
- Kommerziell erhältlich → schnelle Verfügbarkeit
- 9 Isotope unterliegen dem $\beta\beta$ -Zerfall:
 - ^{130}Te : hohe natürliche Isotopenhäufigkeit
 - ^{116}Cd : hoher Q-Wert (2809 keV), hohe Anreicherung möglich
 - ^{106}Cd : $\beta^+\beta^+$ -Emitter, hoher Q-Wert (2771 keV)



Das COBRA-Experiment

Konzept:

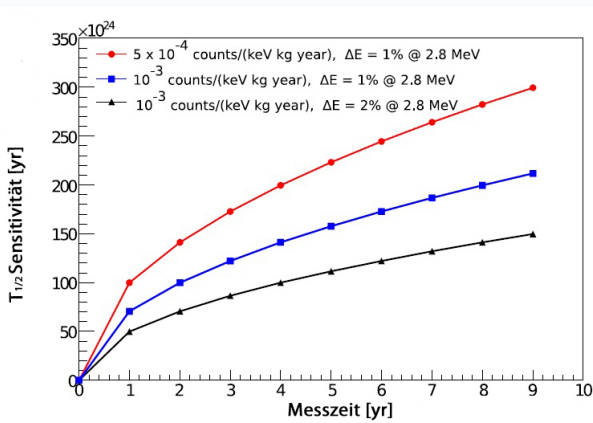
- Technical Report geplant für 2012
- Gesamtmasse: ca. 420 kg
- Anzahl der Detektoren: 64.000
- Anreicherung von ^{116}Cd auf bis zu 90 %
- Gesamtuntergrundrate: $B = 10^{-3} \frac{\text{Ereignisse}}{\text{kg}\cdot\text{keV}\cdot\text{yr}}$

$$T_{1/2} > 10^{26} \text{ yr}$$

$$\langle m_{\text{eff}} \rangle < 50 \text{ meV}$$

Motivation zur Untergrundreduktion

$$T_{\frac{1}{2}}^{0\nu} \propto a \epsilon \sqrt{\frac{M \cdot t}{B \cdot \Delta E}}$$



Passive Abschirmungen

Studien:

- Optimierung einer Abschirmung gegen Myon-induzierte Neutronen für ein 64k Array

Konzepte:

- Single-Layer (ein Material)
- Multi-Layer (mehrere Materialien)
- Wassertank

Bestes Ergebnis:

15 cm Kupfer, 10 cm PELi, 10 cm BPE, 10 cm Kupfer, 30 cm Eisen

- Statistik: $1,33 \cdot 10^7$ simulierte Neutronen
- Untergrundrate: $B = (1,2 \pm 0,3) \cdot 10^{-5} \frac{\text{Ereignisse}}{\text{kg} \cdot \text{keV} \cdot \text{yr}}$

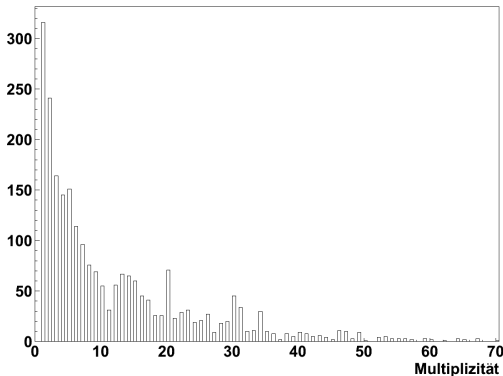
Multiplizität

verwendeter Cut:

- $2,7 \text{ MeV} < E_{dep} < 2,9 \text{ MeV}$

zusätzlicher Cut:

- Berücksichtigung der Multiplizität $\rightarrow m = 1$



Reduzierung der Abschirmdicke

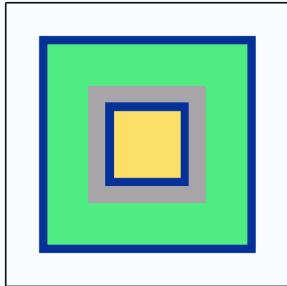
- Umzug des R&D Aufbaus in das Heidelberg–Moskau–Gebäude im LNGS
→ Dicke der Abschirmung muss reduziert werden

Tests mit reduzierter Abschirmung für ein 64k Array:

- 5 cm Kupfer, 10 cm PELi, 30 cm Blei
- Statistik: $1,01 \cdot 10^6$ simulierte Neutronen
- Untergrundrate: $B = (4 \pm 1) \cdot 10^{-5} \frac{\text{Ereignisse}}{\text{kg} \cdot \text{keV} \cdot \text{yr}}$

mit Multiplizität: $B = (3,1 \pm 0,9) \cdot 10^{-5} \frac{\text{Ereignisse}}{\text{kg} \cdot \text{keV} \cdot \text{yr}}$

Ausblick



- Detektorkammer
40 x 40 cm
- innere Schicht
5 cm breit
- sensitive Detektoren
1 cm breit
- individuelle Schicht
50 - 70 cm breit

- Studien mit zwei sensitiven Komponenten
→ Aufbau eines Vetos
- Studien zur Verunreinigung von Materialien
→ Abschätzung für die notwendige Reinheit der Materialien
- Studien zu Auswirkungen von Lücken zwischen den einzelnen Schichten
→ Verhalten von thermischen Neutronen

Zusammenfassung

- Studien zur Optimierung einer Abschirmung gegen Myon-induzierte Neutronen:
 - verschiedene Konzepte wurden getestet
 - 15 cm Cu, 10 cm PELi, 10 cm BPE, 10 cm Cu, 30 cm Fe
 - Statistik: $1,33 \cdot 10^7$ simulierte Neutronen
 - Untergrundrate: $B = (1.2 \pm 0.3) \cdot 10^{-5} \frac{\text{Ereignisse}}{\text{kg} \cdot \text{keV} \cdot \text{yr}}$
 - Reduktion der Abschirmung
 - Berücksichtigung der Multiplizität
 - Aufbau eines Vetos
- Studien zu der notwendigen Reinheit der verwendeten Materialien
- Studien zum Verhalten von thermischen Neutronen