

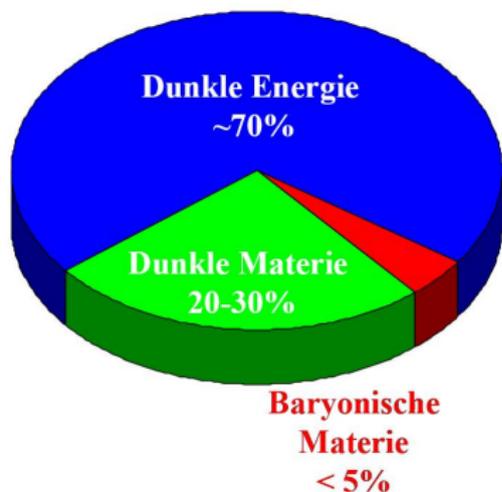
Suche nach Axionen mit dem CAST-Experiment

Elisabeth Gruber

Universität Freiburg

10. Oktober 2009

Dunkle Materie



Kandidaten für Dunkle Materie:

- ▶ Baryonische DM (Braune Zwerge, Neutronensterne, kleine schwarze Löcher)
- ▶ Nicht-Baryonische DM
 - ▶ Heiße Dunkle Materie (z.B. Neutrinos)
 - ▶ Kalte Dunkle Materie (WIMPs, Axion, ...)

Das starke CP-Problem

QCD sagt Verletzung der CP-Symmetrie in der starken WW voraus.
Bisher aber experimentell nicht beobachtet!

Elektrisches Dipolmoment des Neutrons

Aus CP-Verletzung:

$$|d_n| = \bar{\theta} \cdot 10^{-16} \text{ e cm}$$

Experimentell bekannte Obergrenze:

$$|d_n| < 0.6 \cdot 10^{-25} \text{ e cm}$$

→ Dies bedeutet für das QCD-Vakuum: $\bar{\theta} < 10 \cdot 10^{-10}$

Das CP-Problem der starken Wechselwirkung

Warum ist $\bar{\theta}$ so klein?

Das starke CP-Problem

Axionen als mögliche Lösung des CP-Problems

Einführung einer zusätzlichen Symmetrie zur Eliminierung der CP-verletzenden Terme in der Lagrange-Funktion

- ▶ Neues pseudo-skalares Feld
- ▶ Vorgeschlagen 1977 von Peccei und Quinn
- ▶ Teilcheninterpretation 1978 durch Weinberg und Wilczek

Wichtige Eigenschaften

- ▶ leichtes neutrales Goldstone-Boson
- ▶ Sehr geringe Wechselwirkung mit Materie
- ▶ Lebensdauer $> t_{\text{Universe}}$

Erzeugung und Nachweis von Axionen

Im elektrischen Feld von Sonne
oder Sternen

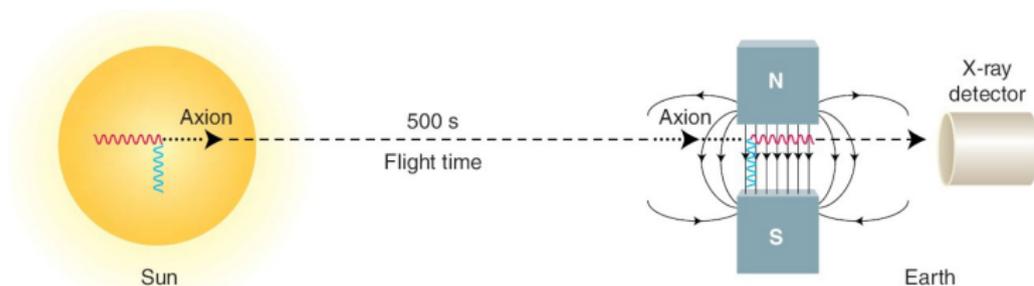
Primakoff-Effekt

$$\gamma + \gamma^* \rightarrow a$$

Im Magnetfeld auf der Erde

Inverser Primakoff-Effekt

$$a + \gamma^* \rightarrow \gamma$$



Das CAST-Experiment

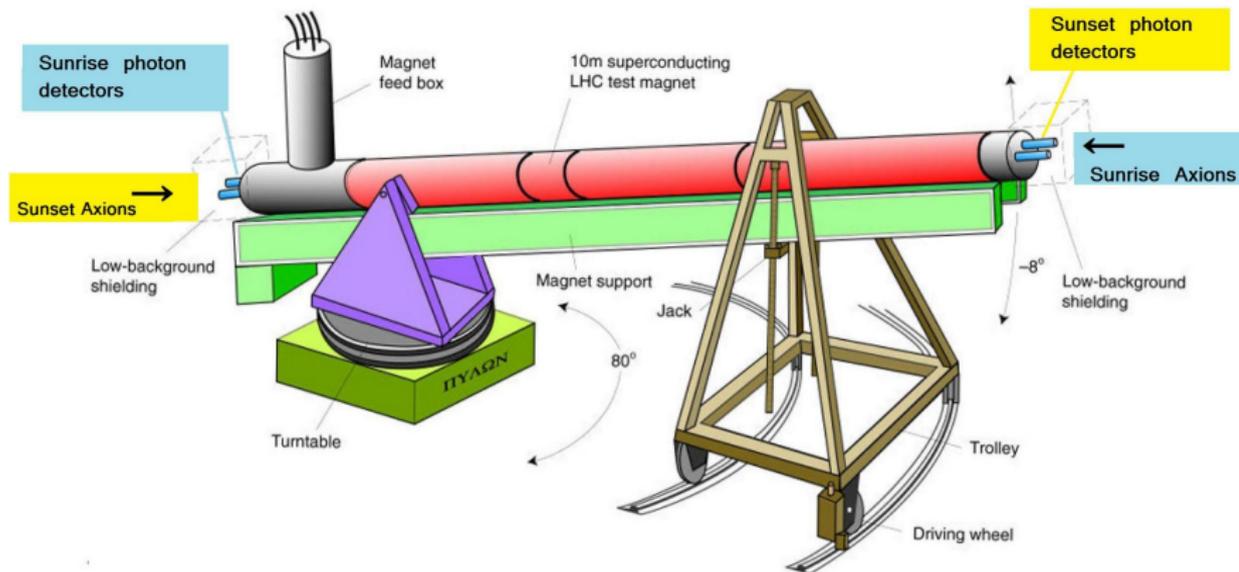
Cern Axion Solar Telescope

Kollaboration von 20 Instituten aus 11 Ländern



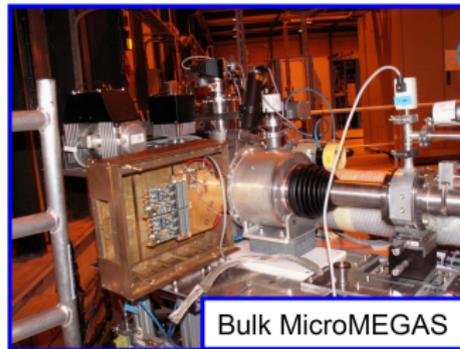
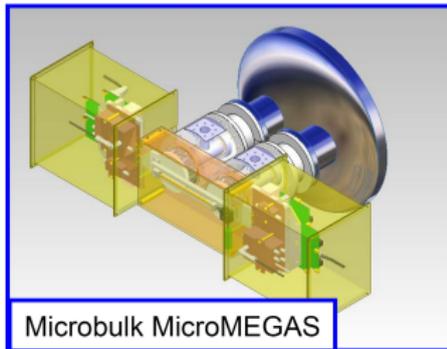
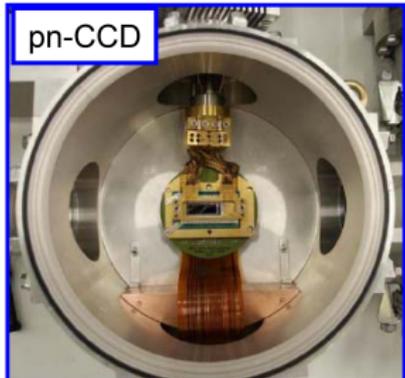
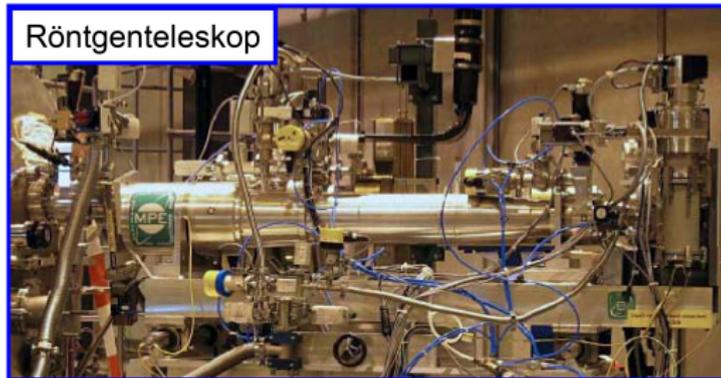
- ▶ LHC Dipol-Testmagnet ($B = 9.0$ Tesla, $L = 9.3$ m, $T = 1.8$ K)
- ▶ Bewegung vertikal $\pm 8^\circ$ und horizontal $\pm 40^\circ$
- ▶ Messung jeden Morgen und Abend jeweils etwa 1.5 Stunden

Aufbau

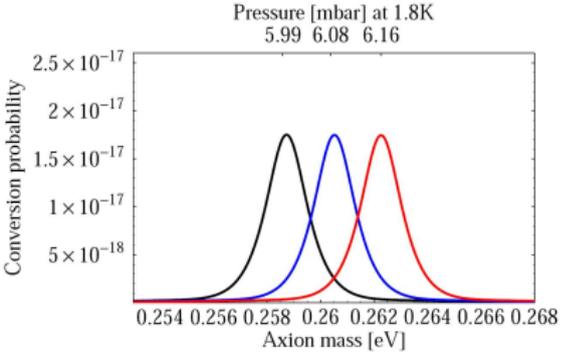
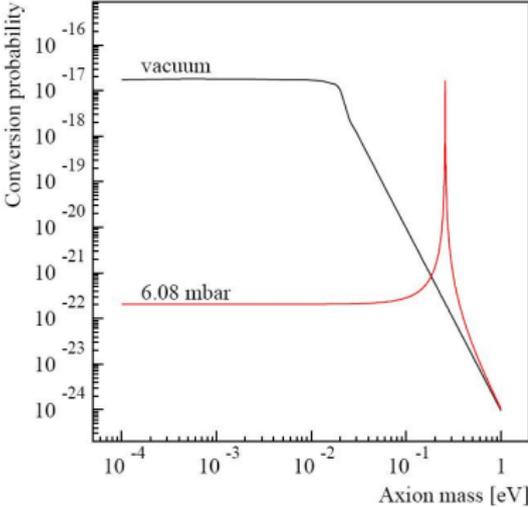


Detektoren

4 Röntgendetektoren mit niedrigem Background

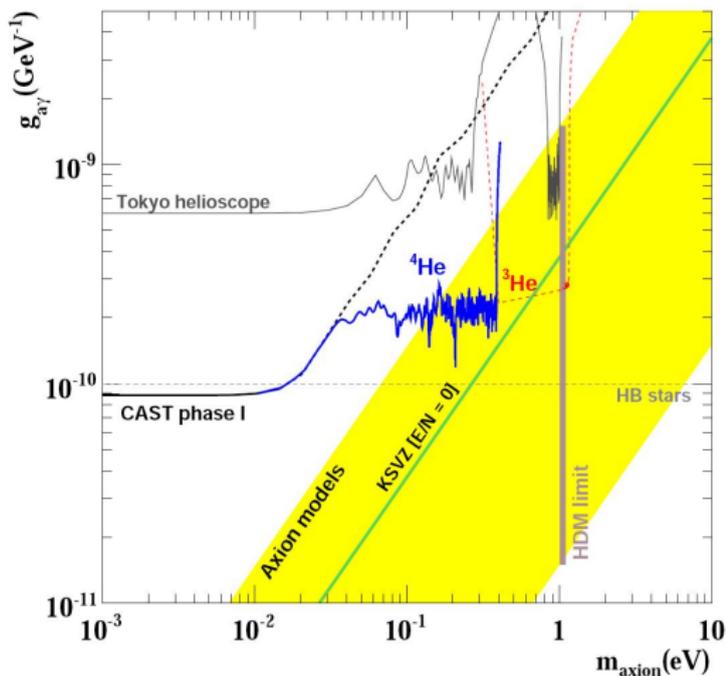


Durchfahren der möglichen Axionenmassen



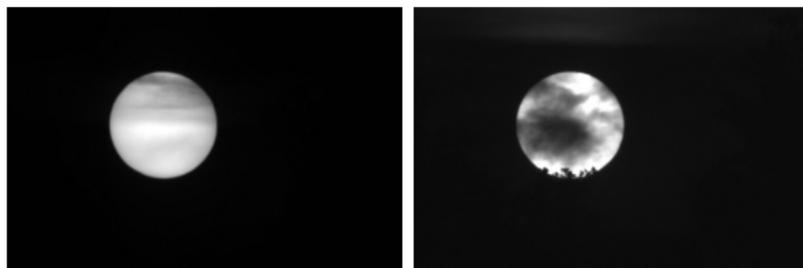
CAST: Ergebnisse

- ▶ Phase I (2003-2004) mit Vakuum:
Beste experimentelle Obergrenze für $m_a < 0.02$ eV:
 $g_{a\gamma}(95\%) = 0.88 \cdot 10^{-10} \text{GeV}^{-1}$
- ▶ Phase II (2005-2006) mit ^4He :
Bereich bis $m_a \sim 0.4$ eV
Typische Obergrenze:
 $g_{a\gamma}(95\%) = 2.2 \cdot 10^{-10} \text{GeV}^{-1}$
- ▶ Phase II (2007-2010) mit ^3He :
Bereich bis $m_a \sim 1.2$ eV
- ▶ Zusätzlich Untersuchung der Axion-Emission von Sgr A und Sco X-1



Sunfilming

Zweimal im Jahr Überprüfung der Tracking-Genauigkeit durch optische Beobachtung der Sonne



Erzielte Genauigkeit: 0.02° , bei ca. 0.1° FOV.

Galaktisches Filmen

Gleiches Prinzip und gleicher Aufbau wie bei Sunfilming, ganzjährig möglich. Prüft galaktische Koordinaten.



Galaktisches Filmen

Gleiches Prinzip und gleicher Aufbau wie bei Sunfilming, ganzjährig möglich. Prüft galaktische Koordinaten.



Galaktisches Filmen

Gleiches Prinzip und gleicher Aufbau wie bei Sunfilming, ganzjährig möglich. Prüft galaktische Koordinaten.



Galaktisches Filmen

Gleiches Prinzip und gleicher Aufbau wie bei Sunfilming, ganzjährig möglich. Prüft galaktische Koordinaten.



Galaktisches Filmen

Gleiches Prinzip und gleicher Aufbau wie bei Sunfilming, ganzjährig möglich. Prüft galaktische Koordinaten.



Galaktisches Filmen

Gleiches Prinzip und gleicher Aufbau wie bei Sunfilming, ganzjährig möglich. Prüft galaktische Koordinaten.



Galaktisches Filmen

Gleiches Prinzip und gleicher Aufbau wie bei Sunfilming, ganzjährig möglich. Prüft galaktische Koordinaten.



Galaktisches Filmen

Gleiches Prinzip und gleicher Aufbau wie bei Sunfilming, ganzjährig möglich. Prüft galaktische Koordinaten.



Galaktisches Filmen

Gleiches Prinzip und gleicher Aufbau wie bei Sunfilming, ganzjährig möglich. Prüft galaktische Koordinaten.



Galaktisches Filmen

Gleiches Prinzip und gleicher Aufbau wie bei Sunfilming, ganzjährig möglich. Prüft galaktische Koordinaten.



Galaktisches Filmen

Gleiches Prinzip und gleicher Aufbau wie bei Sunfilming, ganzjährig möglich. Prüft galaktische Koordinaten.



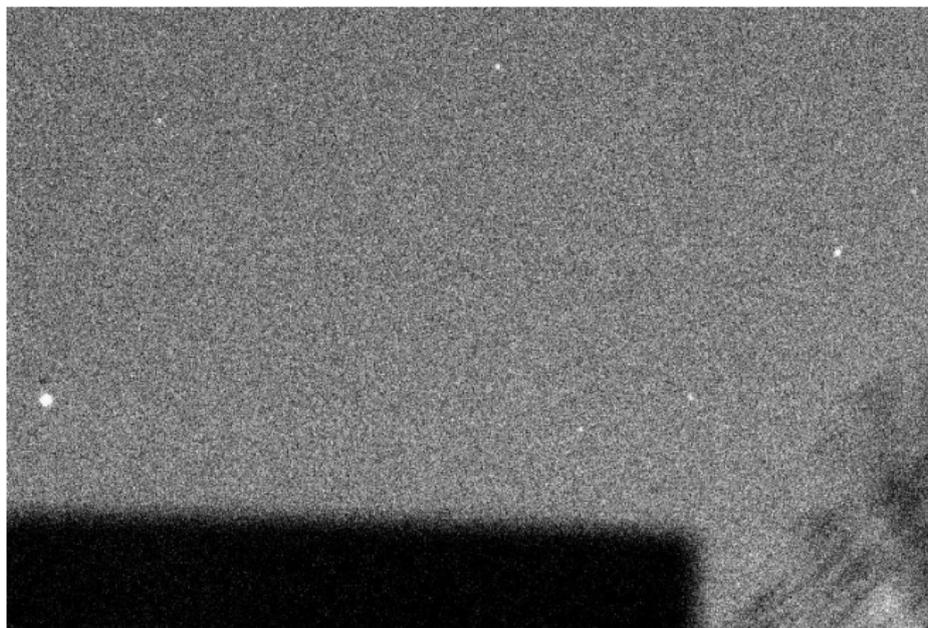
Galaktisches Filmen

Gleiches Prinzip und gleicher Aufbau wie bei Sunfilming, ganzjährig möglich. Prüft galaktische Koordinaten.



Galaktisches Filmen

Gleiches Prinzip und gleicher Aufbau wie bei Sunfilming, ganzjährig möglich. Prüft galaktische Koordinaten.



- ▶ Axionen sind Kandidaten für Dunkle Materie
- ▶ Axionen können das starke CP-Problem lösen
- ▶ CAST sucht als Helioskop nach solaren Axionen
→ Bestimmung von experimentellen Obergrenzen
- ▶ CAST dringt in von der Theorie bevorzugte Bereiche ein
- ▶ Die Trackinggenauigkeit wird regelmäßig optisch überprüft

QCD sagt Verletzung in starker WW voraus

$$L_\theta = \bar{\theta} \frac{g^2}{32\pi^2} G_{\mu\nu}^a \tilde{G}_a^{\mu\nu} \quad \text{mit} \quad \tilde{G}_a^{\mu\nu} = -\frac{1}{2} \varepsilon^{\mu\nu\alpha\beta} G_{\alpha\beta}^a$$

Eliminierung der CP-verletzenden Terme in der QCD-Lagrange-Funktion durch Einführung einer zusätzlichen globalen Symmetrie

$$L_a = C \frac{a}{f_a} \frac{g^2}{32\pi^2} G_{\mu\nu}^a \tilde{G}_a^{\mu\nu}$$

Umwandlungswahrscheinlichkeit

$$P_{a \rightarrow \gamma} = \left(\frac{B}{2}\right)^2 \left(\frac{g_{a\gamma}}{10^{-10} \text{ GeV}^{-1}}\right)^2 \frac{1}{q^2 + \Gamma^2/4} \left[1 + e^{-\Gamma L} - 2e^{-\Gamma L/2} \cos(qL)\right]$$

Mit Impulsübertrag $q = \left| \frac{m_\gamma^2 - m_a^2}{2E_a} \right|$, effektiver Photonenmasse $m_\gamma [\text{eV}] \approx \sqrt{0.02 \frac{P[\text{mbar}]}{T[\text{K}]}}$
und Absorption Γ

$$P_{a \rightarrow \gamma} = \left(\frac{BL}{2}\right)^2 \left(\frac{g_{a\gamma}}{10^{-10} \text{ GeV}^{-1}}\right)^2 \frac{\sin^2\left(\frac{qL}{2}\right)}{\left(\frac{qL}{2}\right)^2} \quad (\text{für Absorption } \Gamma = 0)$$

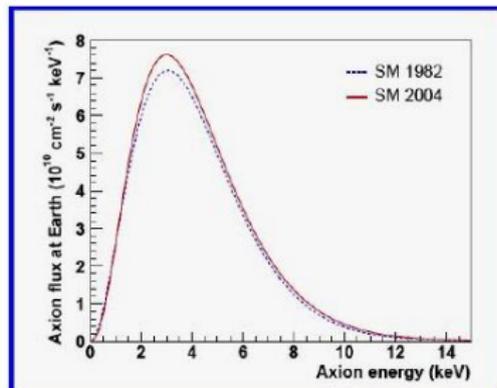
Solarer Axionfluß auf der Erde

- Mittlere Energie der Axionen:

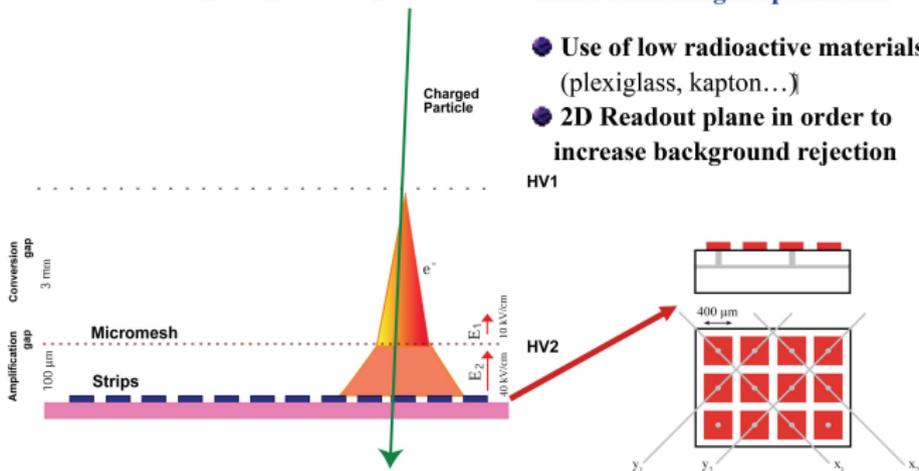
$$\langle E_a \rangle = 4.2 \text{ keV}$$

- Axionenfluß: $\Phi_a \propto g_{ay}^2$

(Serpico & Raffelt, basierend auf dem Sonnenmodell BP2004 von Bahcall et al.)



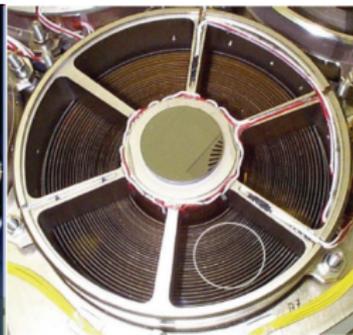
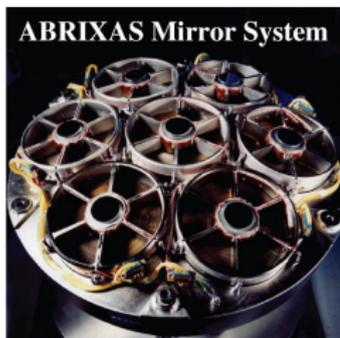
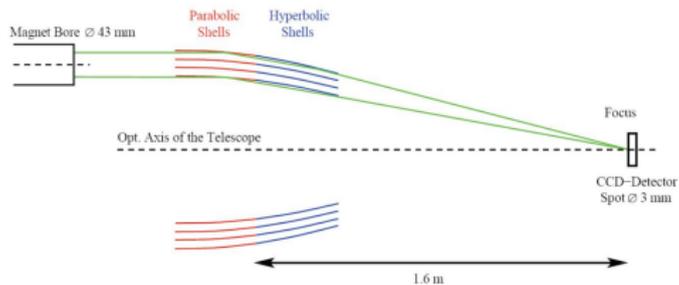
Micromegas principle



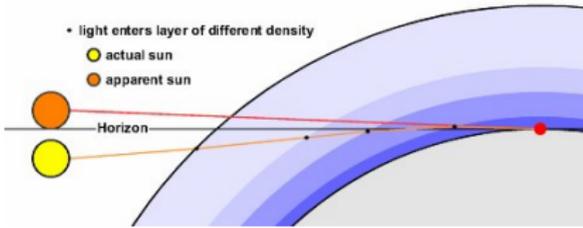
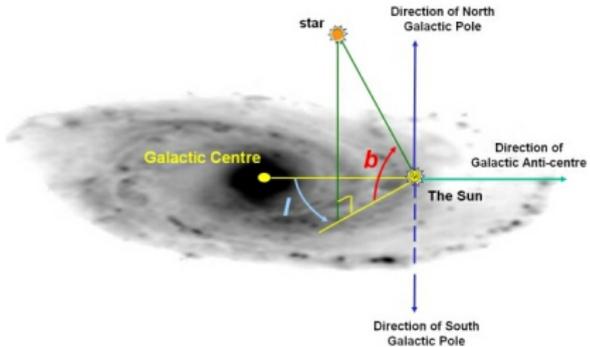
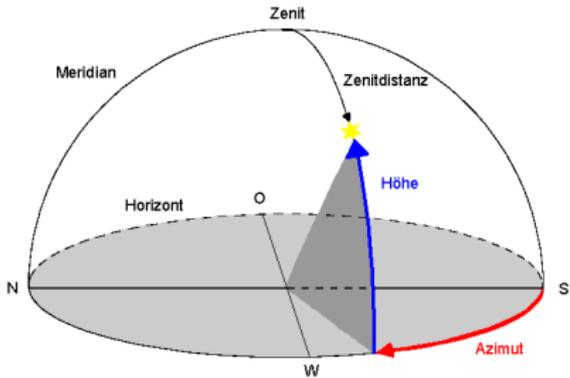
CAST Micromegas Specificities

- Use of low radioactive materials (plexiglass, kapton...)
- 2D Readout plane in order to increase background rejection

Backup Teleskop und CCD



Backup Koordinatensysteme



Backup Galaktische Daten

Untersuchung der Axionenemission von Sgr A und Sco X-1
 Bestimmung einer oberen Grenze auf $\Phi \cdot g^2 [m^{-2} s^{-1} keV^{-1} GeV^{-2}]$

