

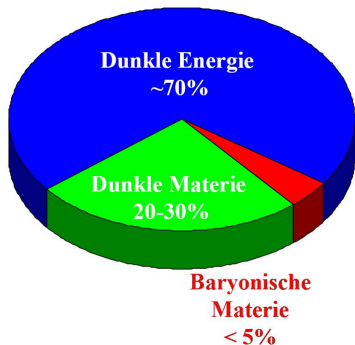
# Suche nach Axionen mit dem CAST-Experiment

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

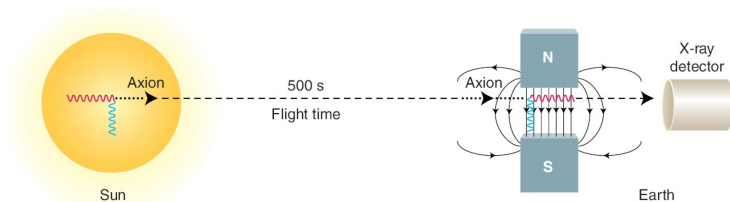
## Primakoff-Effekt

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

Im Magnetfeld auf der Erde

## Inverser Primakoff-Effekt

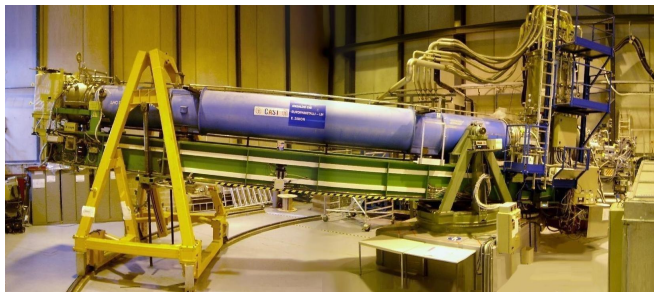
$$a + \gamma^* \rightarrow \gamma$$



# Das CAST-Experiment

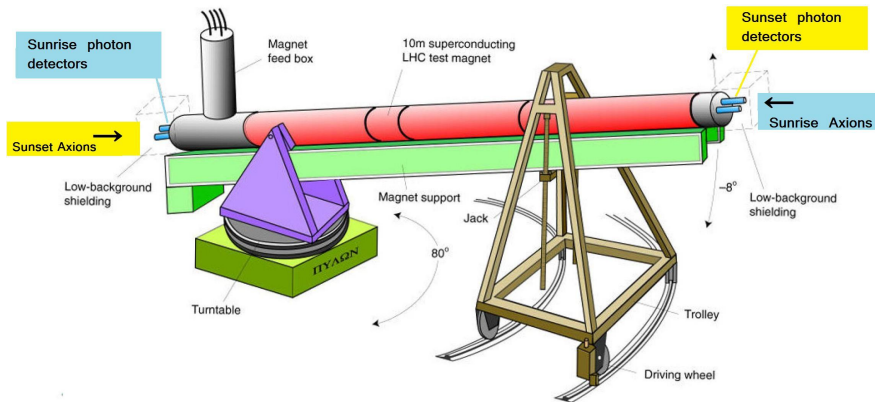
Cern Axion Solar Telescope

Kollaboration von 20 Instituten aus 11 Ländern



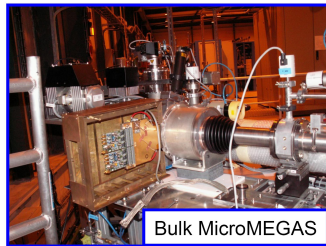
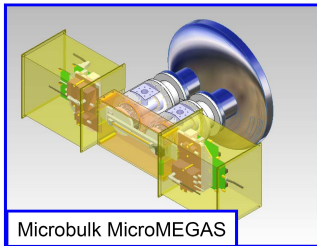
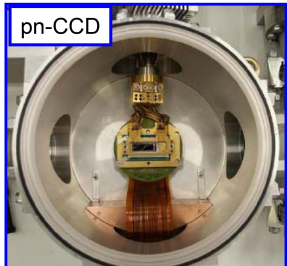
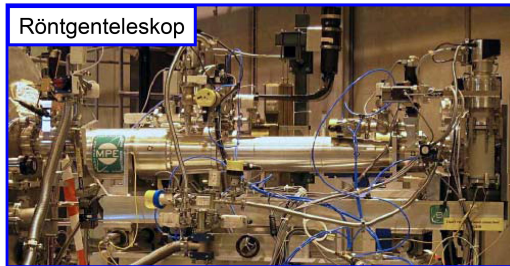
- ▶ LHC Dipol-Testmagnet ( $B = 9.0$  Tesla,  $L = 9.3$  m,  $T = 1.8$  K)
- ▶ Bewegung vertikal  $\pm 8^\circ$  und horizontal  $\pm 40^\circ$
- ▶ Messung jeden Morgen und Abend jeweils etwa 1.5 Stunden

# Aufbau



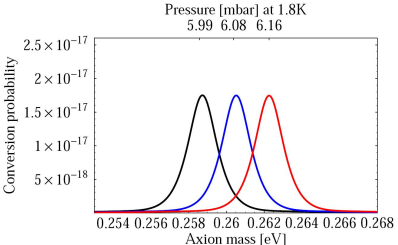
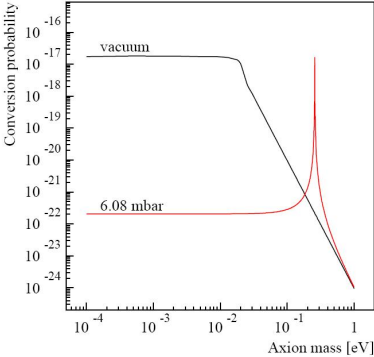
# Detektoren

## 4 Röntgendetektoren mit niedrigem Background



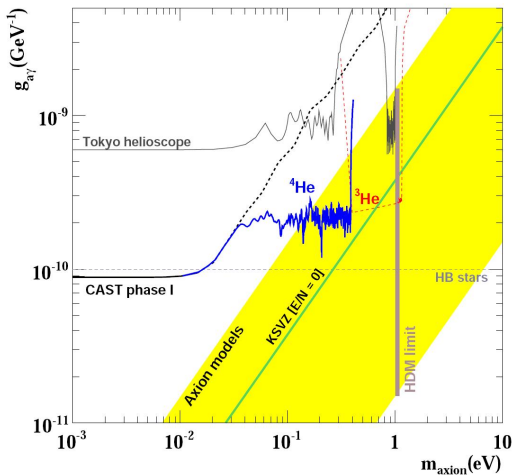


# Durchfahren der möglichen Axionenmassen



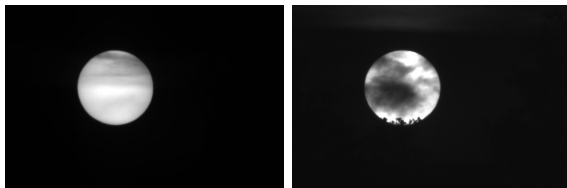
# CAST: Ergebnisse

- ▶ 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  $^4\text{He}$ :  
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  $^3\text{He}$ :  
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:  $0.02^\circ$ , bei ca.  $0.1^\circ$  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.



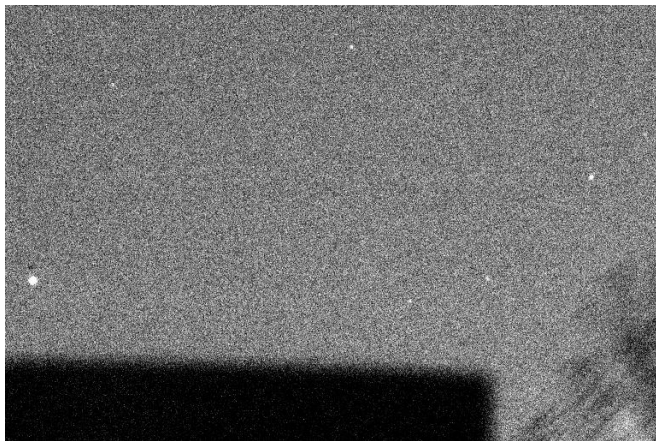
# Galaktisches Filmen

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

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

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  $\Gamma$

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

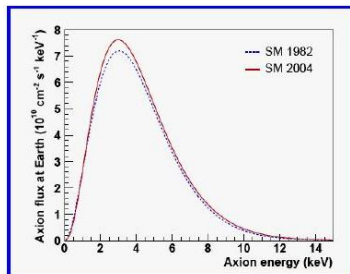
## Solarer Axionfluß auf der Erde

- Mittlere Energie der Axionen:

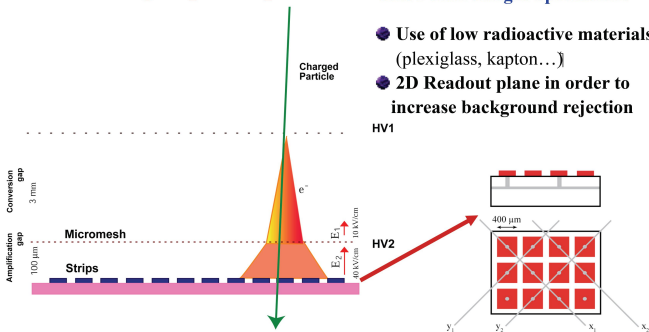
$$\langle E_a \rangle = 4.2 \text{ keV}$$

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

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



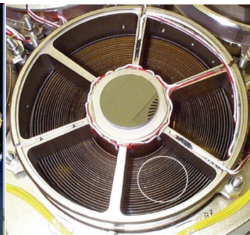
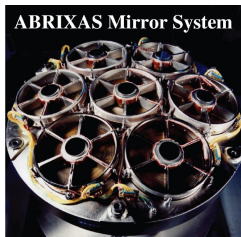
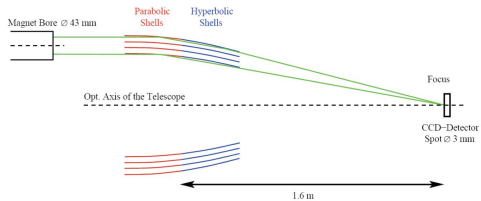
## Micromegas principle



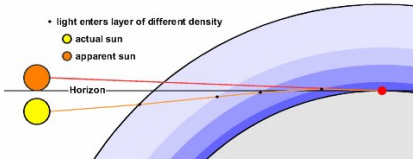
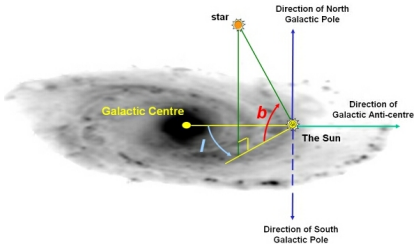
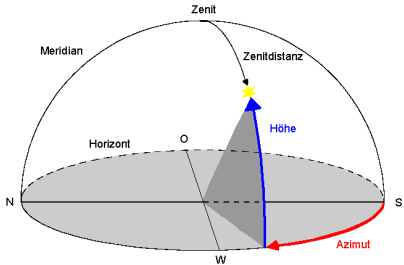
## CAST Micromegas Specificities

- 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  $\Phi \cdot g^2 [m^{-2} s^{-1} keV^{-1} GeV^{-2}]$

