

Suche nach Axionen mit dem CCD-Detektor in CAST (CERN Axion Solar Telescope)

- Motivation
- CAST Experiment
- CCD Detektor
- Ergebnisse aus 2003 CCD Daten
- Ausblick auf 2004 Daten

Donghwa Kang

Universität Freiburg für die CAST-Kollaboration

Schule für Astroteilchenphysik

6-14 Oktober 2005 Obertrubach-Bärnfels



bmb+f - Förderschwerpunkt

Astroteilchenphysik

Großgeräte der physikalischen
Grundlagenforschung

Das starke CP-Problem

QCD-Lagrangedichte mit CP-verletzenden Term:

$$L_{QCD} = L_{pert} + \theta \frac{\alpha_s}{8\pi} G^{\mu\nu} \tilde{G}_{\mu\nu} \quad \left(\tilde{G}_{\mu\nu} = \frac{1}{2} \varepsilon_{\mu\nu\rho\sigma} G^{\rho\sigma} \right)$$

Parameter beschreibt QCD-Vacuum aus der Quarkmassematrix
nur wenn $\theta=0$ keine CP-Verletzung in der QCD

Beobachtbare Konsequenz ist elektrisches Dipolmoment des Neutrons

Theoretische Vorhersage: $|d_n| = A\theta \times 10^{-15} e \cdot cm$ $A = 0.04 - 2.0$
 $0 \leq \theta \leq 2\pi$

Experimentelle Grenze: $|d_n| < 0.63 \times 10^{-25} e \cdot cm$

→ $\theta < 10^{-9}$ Warum ist θ so klein?



Die Lösung

- Vorgeschlagen von Peccei & Quinn in 1977
- Einführung einer zusätzlichen Symmetrie d.h. neues pseudoskalares Feld a
- Axion erscheint aus der spontanen Brechung der PQ-Symmetrie
- Zusatzfeld führt auf weiteren Term in der QCD-Lagrangedichte:

$$L_a = \frac{1}{2} (\partial_\mu a)^2 - \frac{\alpha_s}{8\pi} \left(\theta - \frac{a}{f_a} \right) G^{\mu\nu} \tilde{G}_{\mu\nu}$$

kinetischer Term

Peccei-Quinn Skala

Wenn $\theta = \frac{a}{f_a}$ \longrightarrow **CP-Verletzender θ -Term ist eliminiert!**



Eigenschaften des Axions

Leichtes pseudoskalaras Spin-0-Boson ($J^{PC} = 0^{-+}$)

Axion Masse: Axion-Gluon Vertex induziert Axion- π^0 Übergang \longrightarrow a - π^0 Mischung

$$m_a \simeq 0.5 \frac{f_\pi m_\pi}{f_a} \simeq 0.6 \text{ meV} \frac{10^{10} \text{ GeV}}{f_a}$$

Axion-Photon Kopplung: $L_{a\gamma} = g_{a\gamma} (\vec{E} \cdot \vec{B}) a$ $g_{a\gamma} = \frac{\alpha}{2\pi f_a} \left[\frac{E}{N} - 1.93 \right]$

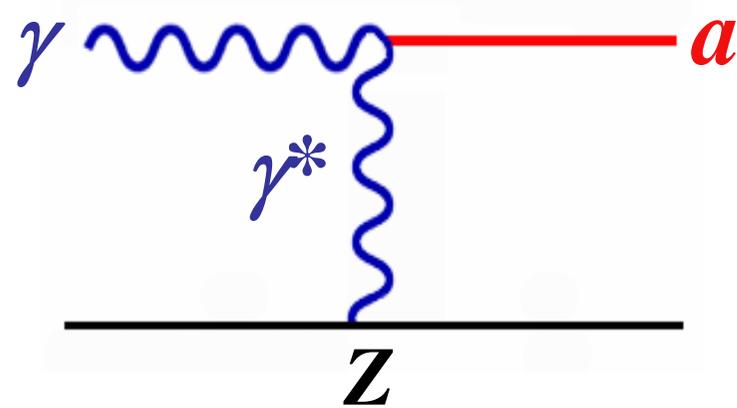
Axion Lebensdauer: $\tau_a = \frac{3.3 \times 10^4}{g_{a\gamma}^2 [\text{GeV}^{-2}] m_a^3 [\text{eV}^3]} \text{ s} \approx 10^{17} \text{ yr}$ für $g_{a\gamma} = 10^{-10} \text{ GeV}^{-1}$
 $m_a = 1 \text{ eV}$

größer als Alter der Universum!

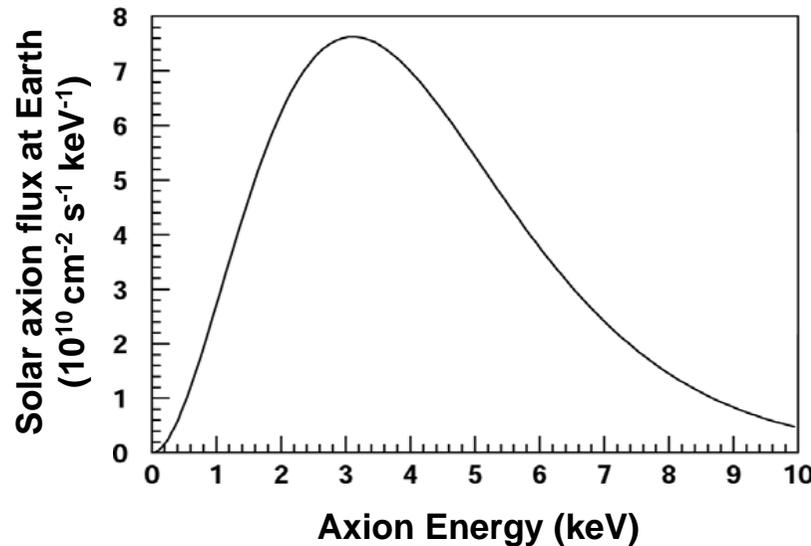


Solare Axion-Produktion

Wechselwirkung thermischer Photonen
mit Coulomb Feld des Plasmas
im Sonnenkern ($T \sim 15.6$ MK)
durch **Primakoff-Effekt**



Erwarteter Fluß der solaren Axionen auf der Erde:



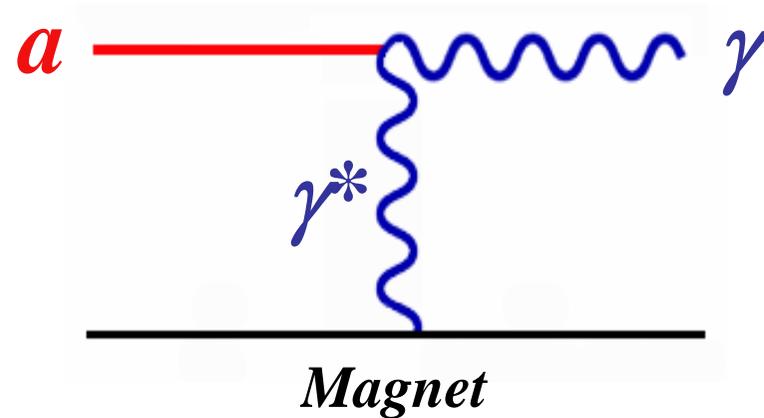
$$\langle E_a \rangle = 4.2 \text{ keV}$$

$$\Phi_a \approx 3.67 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \left(\frac{g_{a\gamma\gamma}}{10^{-10} \text{ GeV}} \right)^2$$



Axion-Nachweis

Axion-Photon Konversion
im Magnetfeld



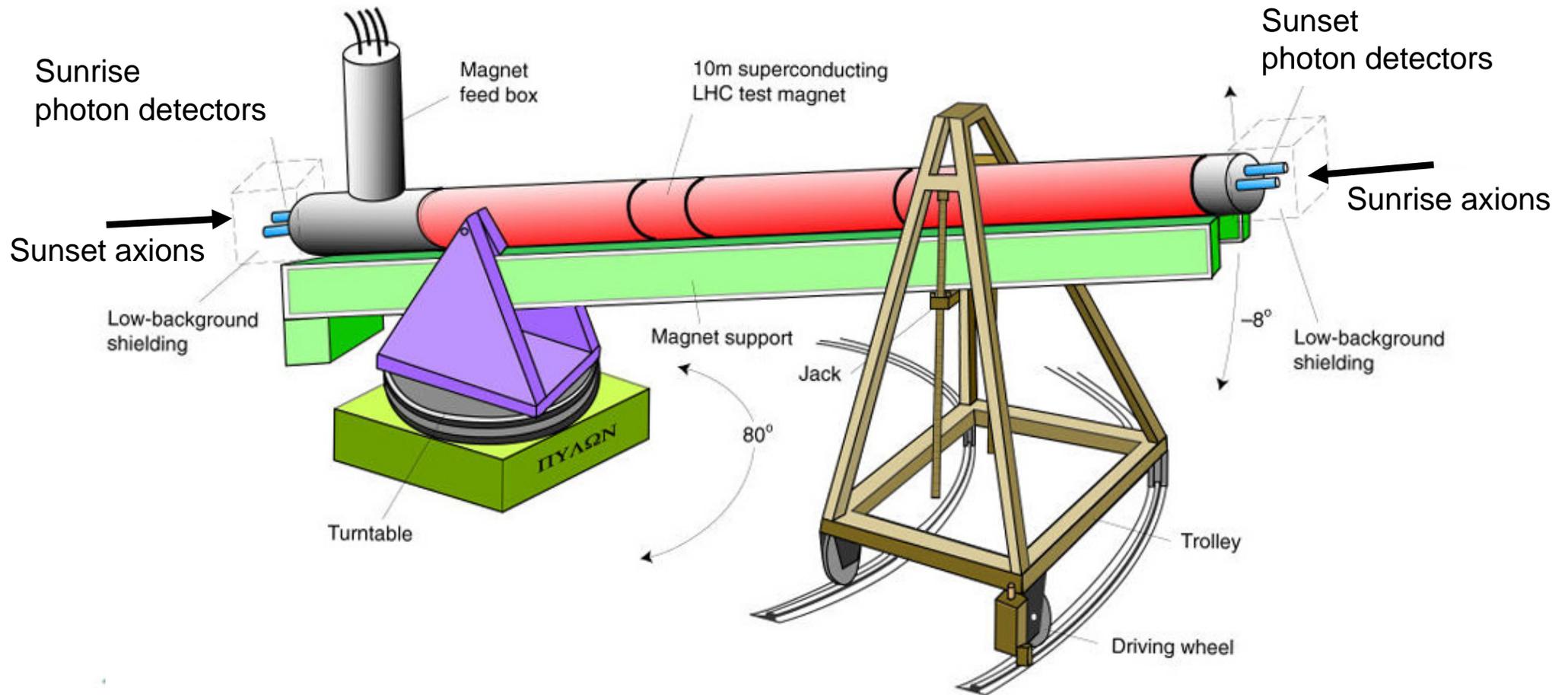
Axion-Photon Konversions-Wahrscheinlichkeit für CAST Experiment:

$$P_{a \rightarrow \gamma} = 1.7 \times 10^{-17} \left(\frac{B \cdot L}{9.0 \text{T} \cdot 9.3 \text{m}} \right)^2 \left(\frac{g_{a\gamma\gamma}}{10^{-10} \text{GeV}} \right)^2$$

Kohärenz über die
ganze Magnetlänge



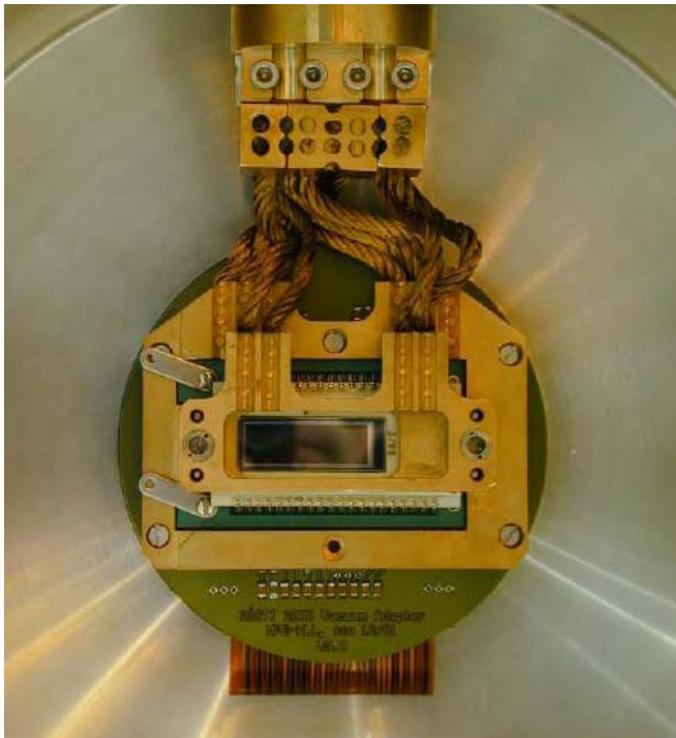
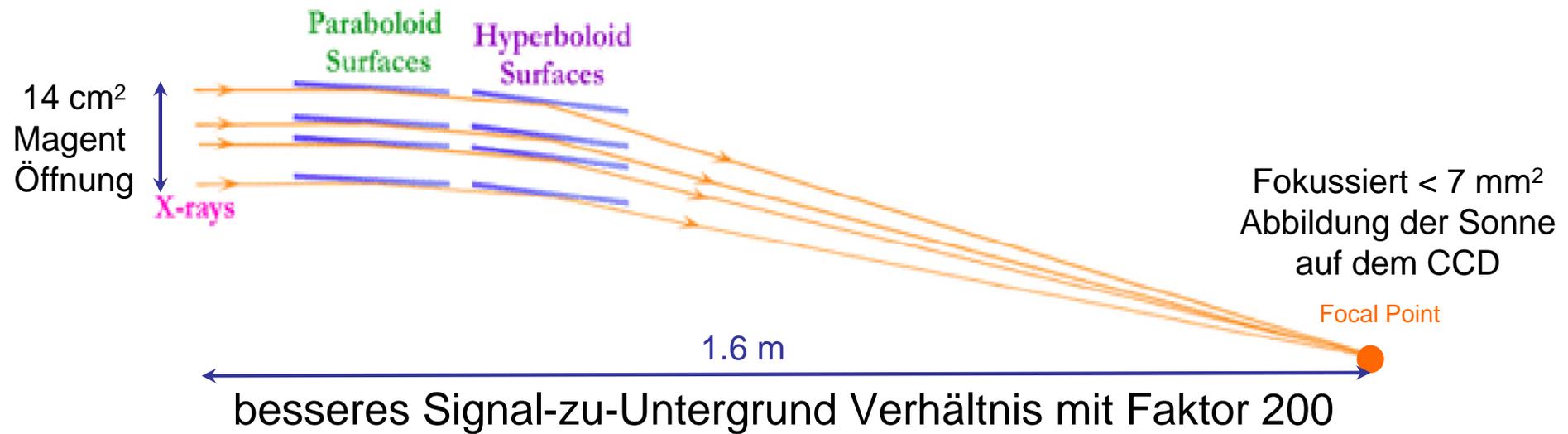
CAST Experiment



- LHC Dipol-Testmagnet ($B=9.0$ Tesla, $L=9.26$ m)
- Bewegung vertikal $\pm 8^\circ$ und horizontal $\pm 40^\circ$
- Messung jeden Morgen und Abend jeweils etwa 1.5 Stunde
- 3 Röntgendetektoren an beiden Enden (CCD, Micromegas, TPC)
- Charge Coupled Device mit Röntgenteleskop



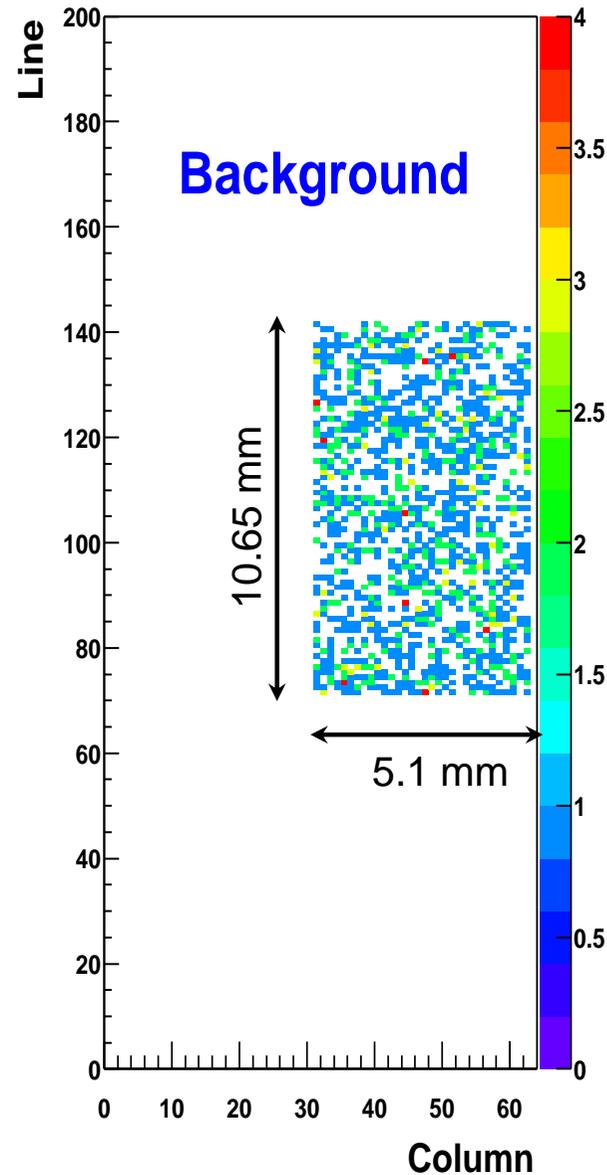
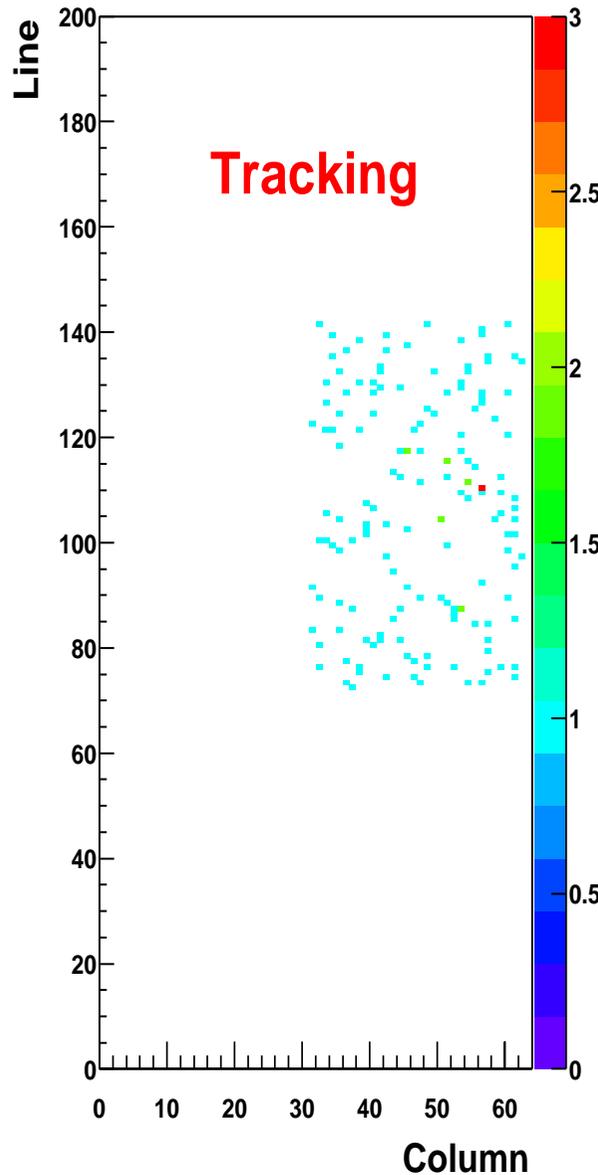
Röntgenteleskop & CCD



- Fläche = 1×3 cm²
- Pixelgröße = 150×150 μm²
- Energieauflösung ~ 160eV @ 5.9keV
- Quanteneffizienz nahe 100%
- Teleskop-Effizienz ≈ 35% (1- 7keV)



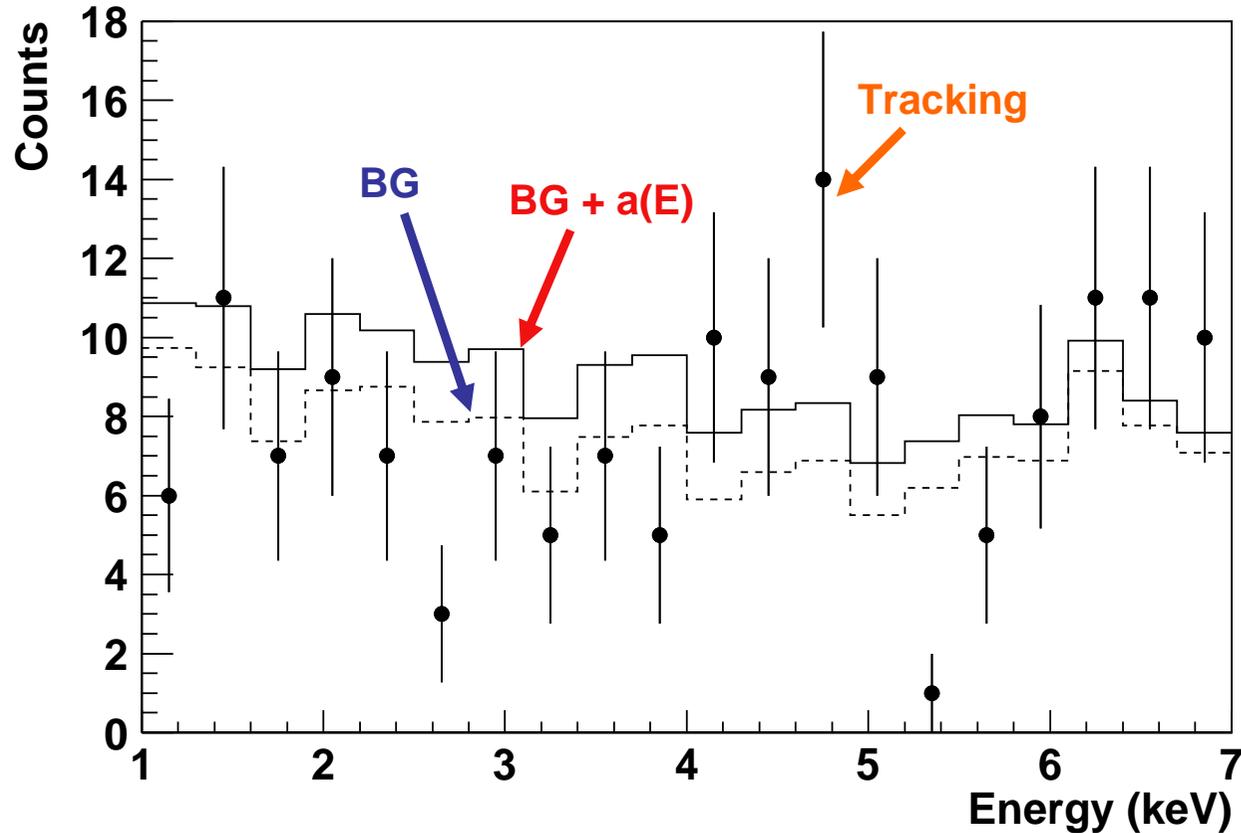
Ergebnisse von 2003 CCD Daten



- gesamte Zeit
 $T_S = 121.3$ h
 $T_B = 1233.5$ h
- Kontinuierliche Beobachtung der Spot-Position vom Teleskop war noch nicht möglich in 2003
begrenzte Fläche = 54.3 mm^2
- **Tracking** = 155cts
Background = 1524cts
- Energiebereich 1 bis 7keV



Obere Grenze an $g_{a\gamma\gamma}$



Maximum likelihood Fit:

$$L = \prod_i e^{\mu_i} \frac{\mu_i^{n_i}}{n_i!} / \prod_i e^{n_i} \frac{n_i^{n_i}}{n_i!}$$

$$\mu_i = \mu_{b_i} / \alpha + a(E_i) \propto g_{a\gamma\gamma}^4$$

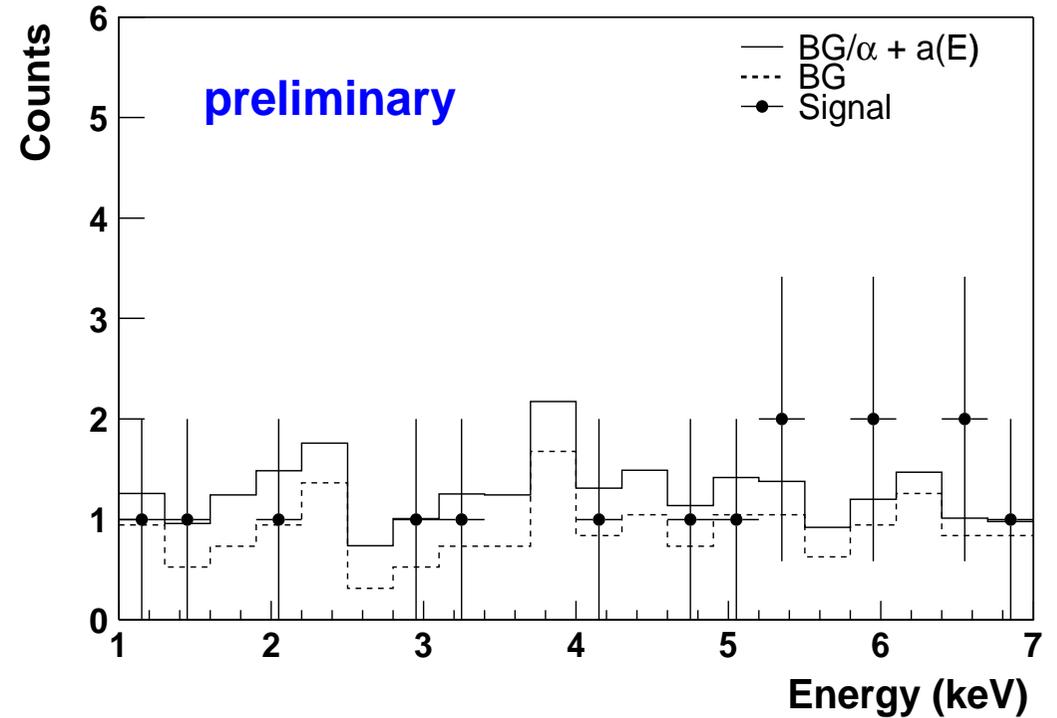
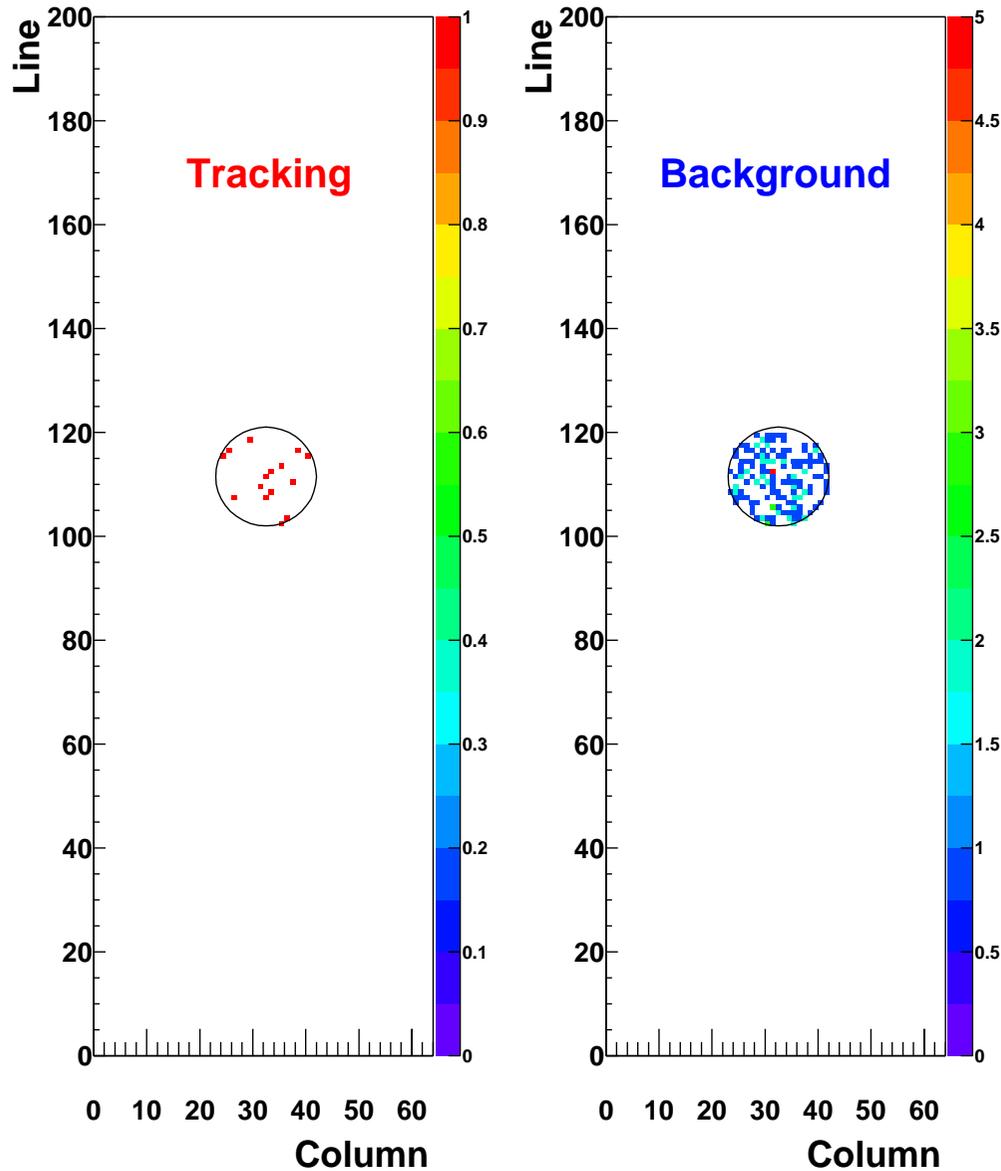
$$g_{\text{best fit}}^4 \pm 1\sigma \text{ error} = (0.4 \pm 1.0) \times 10^{-40} \text{ GeV}^{-4}$$

$$\chi^2_{\text{min}} / \text{ndf} = 28.5 / 19$$

$$\rightarrow g_{a\gamma\gamma} (95\% \text{ CL}) < 1.23 \times 10^{-10} \text{ GeV}^{-1}$$



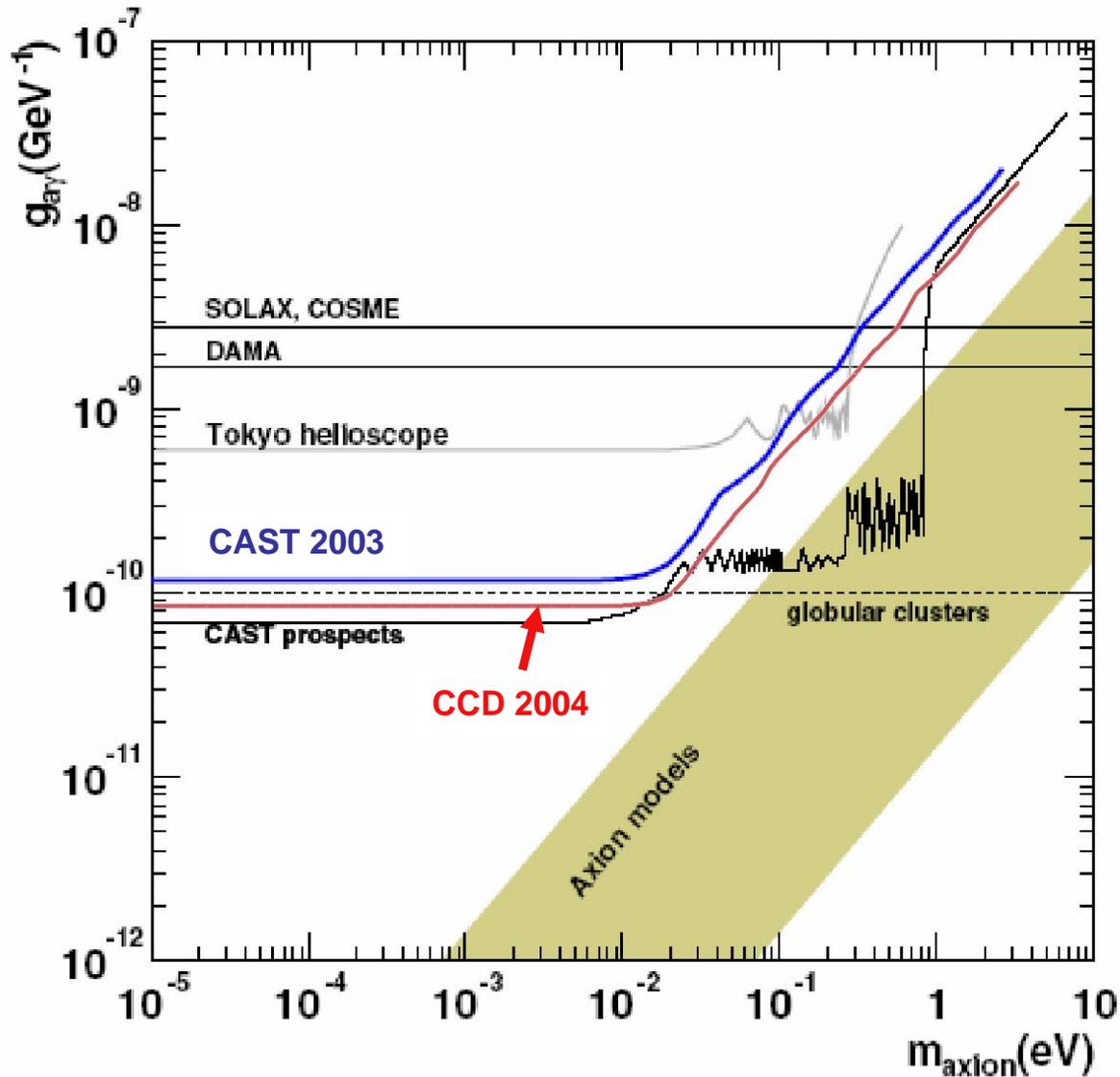
Ausblick auf 2004 CCD Daten



- Spot mit $\varnothing = 19$ Pixel ($A = 6.59$ mm²)
- Tracking = 15cts für 154.3h
Background = 169cts für 1471.3h
- Mehr Messzeit & weniger Untergrund
 $g_{a\gamma\gamma}$ (95% CL) $< 0.8 \times 10^{-10}$ GeV⁻¹ @ $\chi^2_{\min}/\text{ndf} = 19.2/19$
→ höhere Sensitivität



CAST Resultat



- Kombiniertes Ergebnis für 2003 CAST
 $g_{a\gamma\gamma} (95\% \text{ CL}) < 1.16 \times 10^{-10} \text{ GeV}^{-1}$
für $m_a < 0.02 \text{ eV}$

- Kein Signal beobachtet

- Obergrenze verbessert mit Faktor 5

PRL 94, 121301 (2005)



Zusammenfassung



- Ergebnis von 2003 Daten verbessert die obere Grenze um einen Faktor 5 gegenüber Vorgänger-Experimenten
- Die 2004 Ergebnisse für $g_{a\gamma}$ werden das astrophysikalische Limit unterschreiten
- Durch Füllen des Magneten mit He kann die Kohärenz der $a\text{-}\gamma$ Konversion für höhere Massen m_a erreicht werden

