

Axino als Dunkle Materie Kandidat unter R -Paritätsverletzung

Branislav Poletanović

Physikalisches Institut der Universität Bonn

9. Oktober 2006

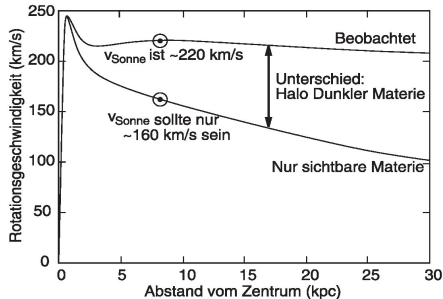
Inhalt

- 1 Einführung
- 2 Dunkle Materie (DM)
- 3 Starke CP-Problem $\rightsquigarrow$ Axino
- 4 Axino als DM $\rightarrow$ Thermische Produktion
- 5 Ergebnisse
- 6 Zusammenfassung und Ausblick

Einführung

Erste Anzeichen für Dunkle Materie (DM):

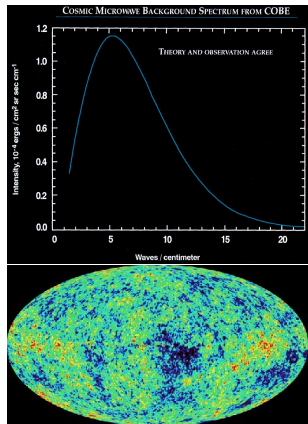
- Messung der Rotationsgeschwindigkeit v_{rot} innerhalb der Milchstrasse



- Feststellung: Es muss nicht-leuchtende Materie geben – **Dunkle Materie (DM)**

Wie gross ist diese dunkle Seite?

- COBE/WMAP $\rightarrow$ CMB
 $T = (2.725 \pm 0.001) \text{ K}$
 $\rightarrow$ Nobel-Preis 2006
- $\Omega_{\text{tot}} = \frac{\rho_{\text{tot}}}{\rho_{\text{crit}}} = \sum_i \Omega_i = 1.02 \pm 0.02$
- $\Omega_{\text{DM}} = \Omega_{\text{m}} - \Omega_{\text{b}} = 0.22 \pm 0.04$
 $\rightarrow 22 \% \text{ Dunkle Materie}$



Starkes CP-Problem:

- QCD-Lagrangian:

$$\mathcal{L}_{\text{QCD}} = \bar{q}_j (i\gamma^\mu D_\mu - m) q_j - \frac{1}{2} \text{tr} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + \frac{\theta}{16\pi^2} \text{tr}(F_{\mu\nu} \tilde{F}^{\mu\nu})$$

- θ -Term nicht verboten; erhält nicht CP
- Experimentell wissen wir: starke WW erhält CP
- betrachtet man elektroschwache WW: $\bar{\theta} = \theta + \underbrace{\arg \det M}_{\text{EW}}$
- experimentell, EDM Neutron $\rightarrow \bar{\theta} < \mathcal{O}(10^{-9})$
- Warum ist dieser Wert so klein?

Die Peccei-Quinn Lösung:

$$\mathcal{L}_{\text{QCD}} \supset \bar{u}_i G_u^{ij} q_j H_u + \bar{d}_i G_d^{ij} q_j H_d + \frac{\theta}{32\pi^2} F_{\mu\nu}^a \tilde{F}^{a\mu\nu}$$

- Durchführung einer chiralen Transformation $U(1)$ aller Felder
- Bedingung für die CP-Invarianz
- $U(1)_{\text{PQ}}$ gebrochene Symmetrie, liefert uns

$$\mathcal{L}_{\text{QCD}} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \frac{\theta}{32\pi^2} F_{\mu\nu}^a \tilde{F}^{a\mu\nu} - \frac{\textcolor{red}{a}}{f_{\text{PQ}}} \frac{1}{32\pi^2} F_{\mu\nu}^a \tilde{F}^{a\mu\nu} - \frac{1}{2} \partial_\mu \textcolor{red}{a} \partial^\mu \textcolor{red}{a}$$

Goldstone Boson a Axion

- Brechungsskala $10^9 \text{ GeV} \lesssim f_{\text{PQ}} \lesssim 10^{12} \text{ GeV}$

- SUSY ist eine fundamentale Theorie, Bosonen $\leftrightarrow$ Fermionen
- jedes SM Teilchen erhält einen SUSY Partner, **axion** $a \rightarrow$ **axino** $\tilde{a}$

Kann das Axino die DM bilden?

A. Brandenburg & F. D. Steffen (JCAP 0408,008,(2004))(**BS**):

- Betrachtung des frühen Universums $\rightarrow$ thermische Produktion (TP)
- Erzeugung Streuprozess gluon, gluino

Einige Annahmen für die thermische Produktion:

- Axino ist leichteste supersymmetrische Teilchen (LSP)
- $\tilde{a}$ stabil wenn R -Parität erhalten ist
- strahlungsdominiertes Universum
- KVSZ-Modell

Ergebnis: Produktionsrate pro Einheitsvolumen

$$\Gamma_{\tilde{a}}(T) = \frac{(N_c^2 - 1)}{(f_{PQ}/N)^2} \frac{3\zeta(3)g^6 T^6}{4096\pi^7} \left[0.4336 n_f + (N_c + n_f) \ln \left(\frac{1.238 T^2}{m_g^2} \right) \right]$$

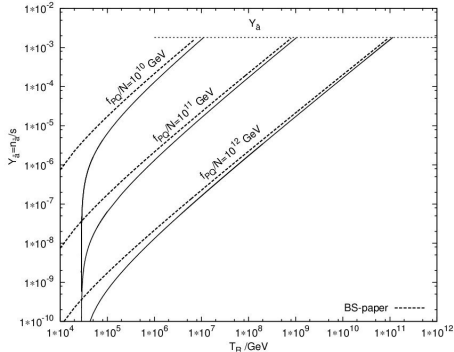
einsetzen in die Boltzmann Gleichung $\frac{dn_{\tilde{a}}}{dt} + 3Hn_{\tilde{a}} = C_{\tilde{a}}$

$$Y_{\tilde{a}}(T_0) \approx 2.0 \times 10^{-7} g^6 \left(\frac{10^{11} \text{GeV}}{f_{PQ}/N} \right)^2 \left(\frac{T_R}{10^4 \text{GeV}} \right) \ln \left(\frac{1.059}{g} \right)$$

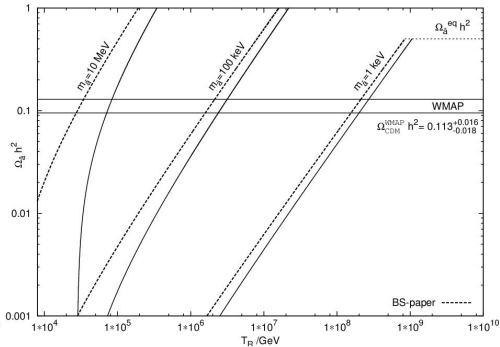
$$\Omega_{\tilde{a}} h^2 = 5.5 g^6 \left(\frac{m_{\tilde{a}}}{0.1 \text{GeV}} \right) \left(\frac{10^{11} \text{GeV}}{f_{PQ}/N} \right)^2 \left(\frac{T_R}{10^4 \text{GeV}} \right) \ln \left(\frac{1.059}{g} \right)$$

prinzipielle Bestätigung von BS

Axino Yield from Thermal Production - in Comparison to BS-Data

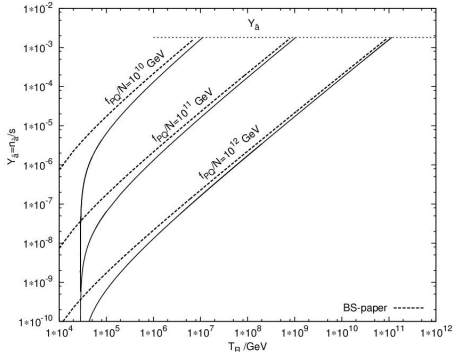


Axino Density from Thermal Production - in Comparison to BS-Data

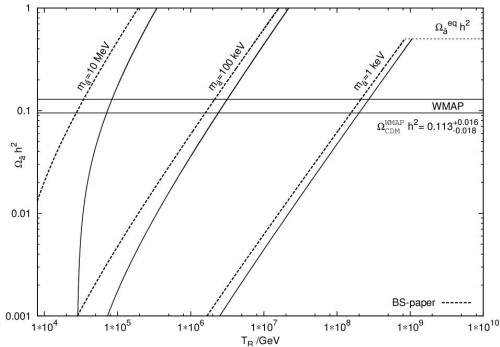


- Gleichgewichtsverteilung $T_R > T_D$

Axino Yield from Thermal Production - in Comparison to BS-Data



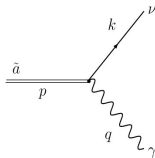
Axino Density from Thermal Production - in Comparison to BS-Data



- Gleichgewichtsverteilung $T_R > T_D$
- RPC Axino kann DM sein

Änderung unter R -Paritätsverletzung

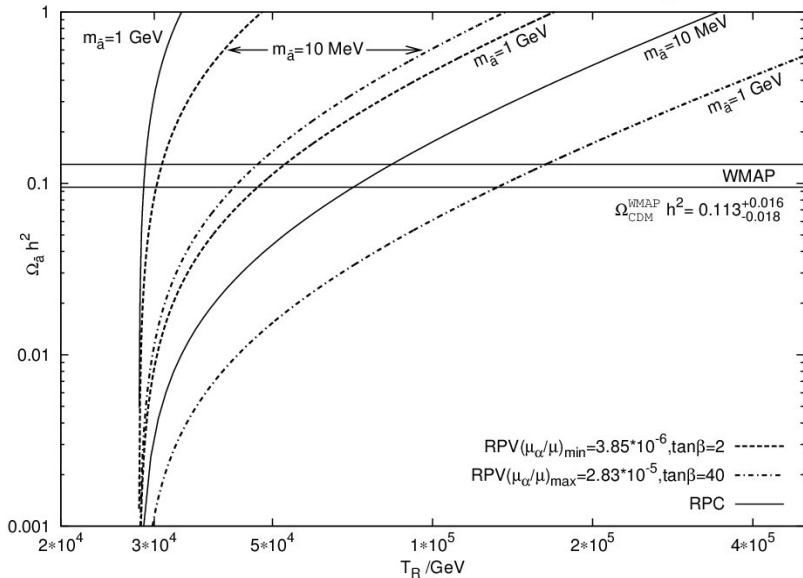
- $\tilde{a}$ kann zerfallen: $\mathcal{L}_{\tilde{a}\gamma\nu} = \frac{C_{a\gamma\gamma} \alpha_{\text{EM}}}{8\pi f_{\text{PQ}}/N} \frac{\mu_\alpha}{\mu} \tilde{a} \gamma^5 \sigma^{\mu\nu} \psi^a F_{\mu\nu}^a$



- $\tau_{\tilde{a}} = 2.45 \cdot 10^5 \left(\frac{1}{C_{a\gamma\gamma}} \right)^2 \left(\frac{\mu}{\mu_\alpha} \right)^2 \left(\frac{f_{\text{PQ}}/N}{10^{11} \text{ GeV}} \right)^2 \left(\frac{\text{GeV}}{m_{\tilde{a}}} \right)^3 \text{ sec}$
- Dichteparameter ändert sich, für das strahlungsdominierte Universum:

$$\Omega_{\tilde{a},\text{RPV}} h^2 = \Omega_{\tilde{a},\text{RPC}} h^2 \cdot 2.1 \times 10^{-10} g_\star^{-1/2} \tau^{1/2}$$

Axino energy density w/ and w/o RPC $\mu=100$ GeV, KVSZ-Model, $c_{\text{agg}}=2/3$



Zusammenfassung und Ausblick

- es gibt Dunkle Materie
- $\mathcal{L}_{\text{QCD}}$ enthält den θ -Term $\rightarrow$ PQ-Lösung
- Goldstone-Boson ist das Axion $\rightarrow$ Axino
- Axino kann die Dunkle Materie bilden im RPC/RPV

andere Modelle: DFSZ Modell,...