

# Gravitino Matière Noire et Nucléosynthèse Primordiale

JRJC 2007, Dinard

Sean Bailly

LPTA, Montpellier

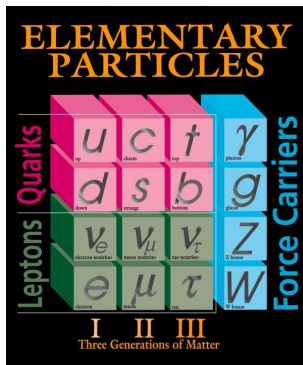
9-15 décembre 2007

- Deux problèmes de cosmologie
  - Nature de la matière noire
  - Nucléosynthèse primordiale : problèmes du lithium
  
- Extension du Modèle Standard : Supersymétrie
  - Gravitino LSP
  - Production du gravitino par désintégration du stau NLSP
  
- Solutions aux problèmes cosmologiques
  - Matière Noire, un candidat : le gravitino
  - Désintégration hadronique et électromagnétique du stau pendant et après BBN

- 1 Physique des particules
  - Modèle Standard
  - Supersymétrie
- 2 Cosmologie
  - Matière Noire
  - Nucléosynthèse primordiale
- 3 Désintégration du stau
  - Désintégration à 2 corps
  - Désintégration à 4 corps
- 4 Résultats et Conclusion
- 5 Conclusion

- 1 Physique des particules
  - Modèle Standard
  - Supersymétrie
- 2 Cosmologie
  - Matière Noire
  - Nucléosynthèse primordiale
- 3 Désintégration du stau
  - Désintégration à 2 corps
  - Désintégration à 4 corps
- 4 Résultats et Conclusion
- 5 Conclusion

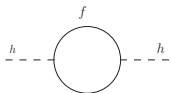
- Spin
  - Fermions
  - Bosons
- Interactions
  - Interaction électromagnétique
  - Interaction faible
  - Interaction forte
- Boson de Higgs
  - Masse des particules
  - Particule non découverte
- Modèle testé avec succès...
- ... mais il reste quelques problèmes



- Doublet de champs scalaires
- Masse du boson de Higgs :  
 $m_h > 114.4\text{GeV}$  à 95%CL
- Corrections radiatives



$$\delta m_h^2 \propto \lambda_s \Lambda^2$$



$$\delta m_h^2 \propto -\lambda_f^2 \Lambda^2$$



- Symétrie boson-fermion :

$$Q |\text{boson}\rangle = |\text{fermion}\rangle \quad Q |\text{fermion}\rangle = |\text{boson}\rangle$$

$$\{Q, Q^\dagger\} = P^\mu \quad \{Q, Q\} = 0 \quad [P^\mu, Q] = 0$$

$$m_f = m_b$$

- Zoologie :

nom	spin 1/2	spin 0
quark, squark	$(u_L, d_L)$	$(\tilde{u}_L, \tilde{d}_L)$
	$u_R$	$\tilde{u}_R$
	$d_R$	$\tilde{d}_R$
lepton, slepton	$(\nu_{eL}, e_L)$	$\tilde{\nu}_{eL}, \tilde{e}_L$
	$\nu_{eR}$	$\tilde{\nu}_{eR}$
	$e_R$	$\tilde{e}_R$

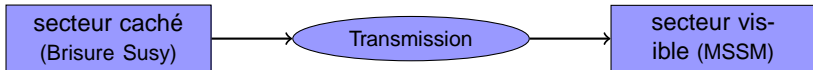
nom	spin 1	spin 1/2
gluon, gluino	$g$	$\tilde{g}$
W boson, wino	$W$	$\tilde{W}$
B boson, bino	$B$	$\tilde{B}$

- 2 doublets de higgs et higgsinos
- neutralinos :  $\chi_{1\dots 4}^0$  mélange de  $\tilde{B}^0, \tilde{W}^0, \tilde{H}_u^0, \tilde{H}_d^0$
- charginos :  $\chi_{1\dots 2}^\pm$  mélange de  $\tilde{W}^\pm$  et  $\tilde{H}_u^\pm$  ou  $\tilde{H}_d^\pm$

- Superpartenaires ont la même masse : ce n'est pas observé !
- Les particules supersymétriques sont plus lourdes

## Brisure de la Supersymétrie

- Paradigme





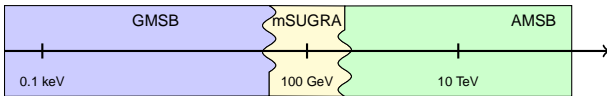
- Problème de la durée de vie du proton  $\Rightarrow$  R-Parité

$$P_R = (-1)^{3B+L+2s}$$

- Particules du MS :  $P_R = +1$
- Particules SUSY :  $P_R = -1$
  
- La particule SUSY la plus légère (LSP) est stable

- Partenaire supersymétrique du graviton
- Masse dépendant de l'échelle de brisure de SUSY

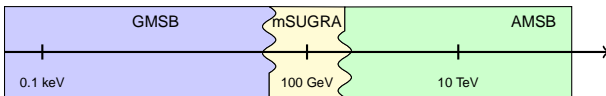
$$m_{\tilde{G}} = \frac{F}{\sqrt{3}M_{Pl}}$$



- Interaction uniquement gravitationnelle : suppression des interactions par la masse de Planck
- Modes de productions :
  - Production thermique par diffusion lors de la période de réchauffement après inflation
  - Production non thermique par désintégration de particules SUSY

- Partenaire supersymétrique du graviton
- Masse dépendant de l'échelle de brisure de SUSY

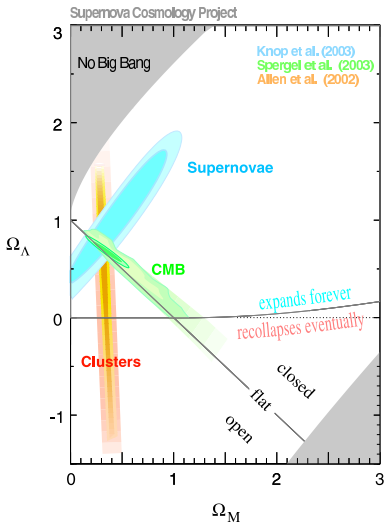
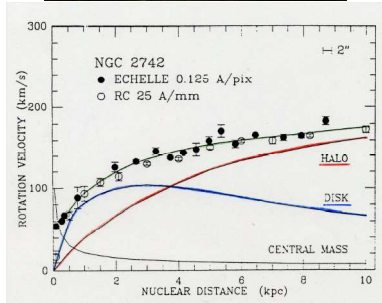
$$m_{\tilde{G}} = \frac{F}{\sqrt{3}M_{Pl}}$$



- Interaction uniquement gravitationnelle : suppression des interactions par la masse de Planck
- Modes de productions :
  - Production thermique par diffusion lors de la période de réchauffement après inflation
  - Production non thermique par désintégration de particules SUSY

- 1 Physique des particules
  - Modèle Standard
  - Supersymétrie
- 2 **Cosmologie**
  - Matière Noire
  - Nucléosynthèse primordiale
- 3 Désintégration du stau
  - Désintégration à 2 corps
  - Désintégration à 4 corps
- 4 Résultats et Conclusion
- 5 Conclusion

- 1933 : Fritz Zwicky
- 1970 : Vera Rubin



- Densité relique :

$$\Omega_{DM} h^2 = 0.1126$$

- Synthèse des éléments légers

- $t = 100 - 1000\text{s}$

- Rapport baryons sur photons

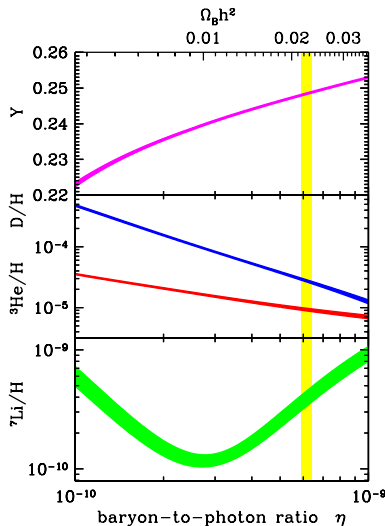
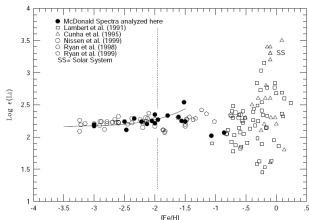
$$\eta = \frac{n_b}{n_\gamma} = 6.1 \pm 0.3 \times 10^{-10}$$

- Excès de  ${}^7\text{Li}$

- SBBN :  ${}^7\text{Li}/\text{H} = 3.5 - 4.5 \times 10^{-10}$
- Observations :  ${}^7\text{Li}/\text{H} = 1 - 2 \times 10^{-10}$

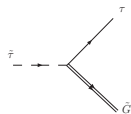
- Lithium 6 :

- SBBN : traces
- Observations : non négligeable



- 1 Physique des particules
  - Modèle Standard
  - Supersymétrie
- 2 Cosmologie
  - Matière Noire
  - Nucléosynthèse primordiale
- 3 Désintégration du stau
  - Désintégration à 2 corps
  - Désintégration à 4 corps
- 4 Résultats et Conclusion
- 5 Conclusion

- Désintégration à 2 et 4 corps
- Désintégration électromagnétique (EM) et hadronique (HAD)

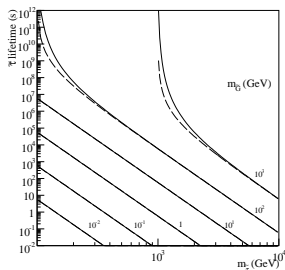


- Désintégration à deux corps
  - Domine le processus de désintégration
  - Cascades essentiellement EM

• Désintégration EM :  $B_{em} = \frac{\Gamma(\tilde{\tau} \rightarrow \tau \tilde{G})}{\Gamma_{tot}} \simeq 1$

•  $E_{em} = \frac{m_{\tilde{\tau}}^2 - m_{\tilde{G}}^2}{2m_{\tilde{\tau}}}$

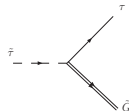
• Durée de vie du stau :  $\tau = \frac{\hbar}{\Gamma_{tot}}$



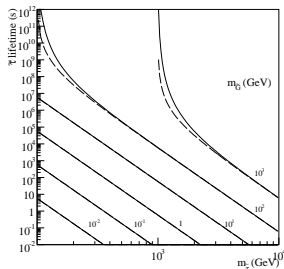


- Désintégration à 2 et 4 corps
- Désintégration électromagnétique (EM) et hadronique (HAD)

- Désintégration à deux corps
  - Domine le processus de désintégration
  - Cascades essentiellement EM



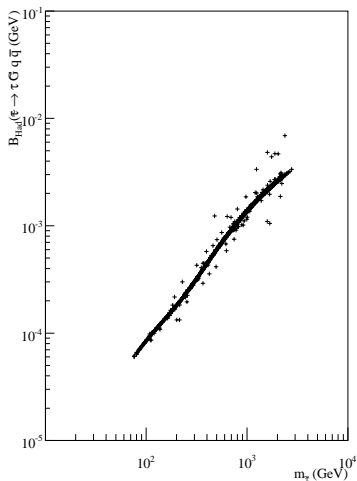
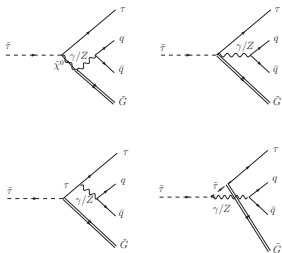
- Désintégration EM :  $B_{em} = \frac{\Gamma(\tilde{\tau} \rightarrow \tau \tilde{G})}{\Gamma_{tot}} \simeq 1$
- $E_{em} = \frac{m_{\tilde{\tau}}^2 - m_{\tilde{G}}^2}{2m_{\tilde{\tau}}}$
- Durée de vie du stau :  $\tau = \frac{\hbar}{\Gamma_{tot}}$



- Domine la désintégration hadronique

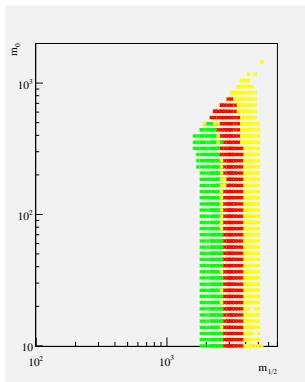
$$B_{had} = \frac{1}{\Gamma_{tot}} \int dm_{q\bar{q}} \frac{d\Gamma(\tilde{\tau} \rightarrow \tau \tilde{G} q \bar{q})}{dm_{q\bar{q}}}$$

- Calculé avec Calchep
- Spectres mSUGRA et GMSB
- $m_{\tilde{G}} \in 10^{-5} - 100\text{GeV}$



- 1 Physique des particules
  - Modèle Standard
  - Supersymétrie
- 2 Cosmologie
  - Matière Noire
  - Nucléosynthèse primordiale
- 3 Désintégration du stau
  - Désintégration à 2 corps
  - Désintégration à 4 corps
- 4 Résultats et Conclusion
- 5 Conclusion

3500 spectres mSUGRA  
 $m_{\tilde{G}} = [30, 100] \text{ GeV}$



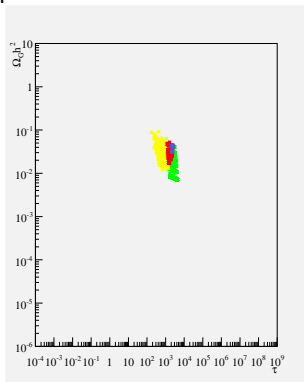
Contraintes BBN :

■ :  ${}^7\text{Li}$  standard

■ :  ${}^7\text{Li}$  correcte

■ : excès de  ${}^6\text{Li}$

■ : problèmes lithiums corrects



- Supersymétrie : extension du Modèle Standard
- Gravitino LSP naturel dans mSUGRA et GMSB
- Avec stau NLSP
- Solution matière noire
- Solution problèmes de lithium pour  $m_{\tilde{G}} \in [30, 100]\text{GeV}$