

L'ENIGME DES POSITONS DU BULBE GALACTIQUE

Michel Cassé

Service d'Astrophysique CEA
Institut d'Astrophysique de Paris

Collaboration

*J.Paul (CEA/Saclay), P.Fayet (ENS)
C. Boehm (Oxford U), D.Hooper (Oxford U), J.Silk (Oxford U)*

OSSE/GRO + SPI/INTEGRAL

$$\Phi_{511} \sim 10^{-3} \text{ ph cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

Extension : **9° FWHM**
correspond au bulbe galactique IR (COBE)

Comparaison

EGRET Φ (>100 MeV) from BULBE $< 8 \cdot 10^{-7} \text{ ph cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

OSSE

Spectre positronium $f = 0.93$

Annihilation au repos

Taux d'annihilation = $1.3 \cdot 10^{43} \text{ e}^+ \text{ s}^{-1}$

Régime stationnaire : taux d'annihilation = taux d'injection

**Pas de contrepartie $\gamma > 100 \text{ MeV}$ (EGRET)
ni 1809 keV (^{26}Al) COMPTEL**

ENERGETIQUE ET ABSENCE DE GAMMAS H.E.

E= énergie d'injection

$$Q = rE$$

Annihilation $\chi\chi \rightarrow E(e^+) \sim m_\chi \sim 500 \text{ GeV}$

Injection d'énergie $\sim 10^{43} \text{ ergs}^{-1} \gg L_{\text{bol}}$ de la région centrale

Fort rayonnement radio + freinage *pas observé*

Branchement $(e^+ e^-) / \gamma \sim 1 \rightarrow$ flux énorme de γ *pas observé*

Les positons ne proviennent pas de l'annihilation des neutralinos

PROBLEME :

Source copieuse de positons de basse énergie

RADIOACTIVITE β^+
(^{26}Al , ^{44}Ti , ^{56}Co)

MATIERE NOIRE LEGERE

Boehm et Fayet (2003) *hep-ph/0305261*

RADIOACTIVITE β^+

NUCLEOSYNTHESE EXPLOSIVE
(SN) + WR (étoiles massives à vent)

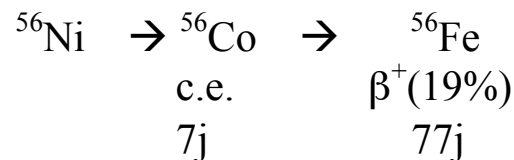
Bulbe galactique = galaxie elliptique

$2 \cdot 10^{10} M_{\odot}$, 10^{10} ans

Vielles étoiles : *pas de SN II (massives)*

SN Ia

Courbes de lumière



Expansion homologue $v(r,t) \propto r/t$

Opacité $\tau = \kappa \rho R$ (κ = coefficient d'absorption)

Sphère homogène $\rho R \propto M^2/E$

SN Ia doublement favorisées/ SN(collapse)

Masse de ${}^{56}\text{Ni}$ + Transparence

SN Ia : 0.5 M_{\odot} de ${}^{56}\text{Co}$, $M \sim 1.4 M_{\odot}$, $E = 10^{51}$ erg

Transparence : $\tau = 1$: Photons γ : 100j, Positons : 390 j

$$N_{e^+} = 8 \cdot 10^{52} e^+$$

Taux de SN Ia dans le bulbe :

0.5 par siècle demandé

0.07 à 0.03 estimé

Modèles d'évolution du BG:

Matteucci et al 1999, Nakasato et Nomoto (2003)

**Les SN Ia ne sont pas
des sources de positons suffisantes**

Novae, RGG, pulsars, μ -quasars : **insuffisants**

HYPERNOVAE

(Cassé et al 2003, astro-ph/0309824, ApJL 2004,
Woosley et Heger 2003, astro-ph/0309165)

SN2003 dh

Courbe de Lumière haute et étroite :
favorise fuite des positons

Asymétrique
GRB

Jets rapides : transparence précoce
 10^{54} à $2 \cdot 10^{54}$ e+ par événement

0.2 par millénaire demandé

Taux d'apparition dans le centre galactique

INCONNU

Pb : Evènement central

Propagation des positons,
remplissage du bulbe (en cours)

MATIERE NOIRE LEGERE

Boehm et Fayet (2003) *hep-ph/0305261*

Boehm, Hooper, Silk, Cassé et Paul (2003) *astro-ph/0309686*

Plusieurs versions :

Couplage vectoriel ou axial

Fermion lourd

Boson neutre U léger

Nouvelle symétrie U(1)

Boson U léger

Masse et constante de couplage g'' ajustées

- non observation au LEP

- densité relique (σ_a) au découplage

$$\Omega_{\text{dm}}/h^2 \sim 0.024 A \quad (\langle \sigma v \rangle / 1\text{pb})$$

$$A = (x_F / g^*)^{1/2}$$

$$x_F = m_{\text{dm}}/T_F ; \quad g^* = \text{nbr. de degrés de lib. rel.}$$

$$m_{\text{dm}} \sim \text{MeV} \rightarrow A \sim 4$$

$$\Omega_{\text{dm}} h^2 \sim 0.1$$

WMAP

$$\langle \sigma_a v \rangle \sim 1 \text{ pb}$$

-Flux 511 keV \rightarrow

$$\langle \sigma' v \rangle \sim 10^{-4} - 10^{-5} \text{ pb}$$

$$\langle \sigma_a v \rangle_{\text{gel}} \gg \langle \sigma'_a v \rangle_{\text{halo}}$$

$$\sigma v = a + bv^2$$

$s \quad p$

$$dm \quad U \quad e+$$

$$dm \quad e-$$

$$a = 0$$

$$m_{\text{dm}} = 10-100 \text{ MeV}$$

Détection directe difficile (recol qq eV)

Conclusion

Enigme des positons = Enigme de la matière noire

**Désaccord profond
entre théorie courante et observation**

FUTUR

Programme de travail

Théorie

Astroparticule & Gravitation

- * Légitimer U et MNL bosonique
- * Cohérence avec Principe d'équivalence (UCL)

Astrophysique & Cosmologie

- * BBN (G) éléments légers
- * Propagation et annihilation
des positons dans région centrale
Modèle de Salati et al.+ IC + brem. + synchrotron

*** *Superbulle/vent***

E.Parizot, R. Lehoucq

Expérience

CARTES INTEGRAL (511 + continuum 3γ)

Mesurer profil d'émission γ :

Comparer à dist. **Triaxiale** des étoiles du bulbe
(Robin et al 2004)

Anneau à bord net: SN & superbulle

Distribution lentement déclinante : MN

Halo sombre $\rho(r) \propto r^{-\gamma}$ $\gamma \in [0.4-0.8]$

Mesurer émission 511 kev des galaxies naines : Sgr **Haute teneur en matière noire** **Pas d'hypernovae**

Pb : densité de gaz (annihilation)

$$T_{\text{ann}} > T_{\text{gal}}$$