

Forces à longue portée dans un Condensat de Bose-Einstein

Q. Beaufils, T. Zanon, B. Laburthe-Tolra, E. Maréchal, L. Vernac, J. C. Keller, O. Gorceix
Université Paris 13, Institut Galilée, Laboratoire de Physique des Lasers, CNRS, UMR 7538, 93430 Villetaneuse France (*)



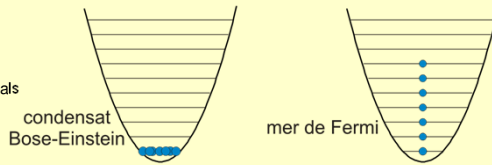
Notre objectif : Étudier les propriétés d'ondes de matière cohérentes, et le rôle d'interactions dipolaire.
Intérêt: Systèmes dégénérés en interaction forte ; analogies avec la supra-conductivité dans les métaux, la superfluidité de l'Helium, la physique des étoiles à neutrons

➤ Les phénomènes de statistique quantique à très basse température

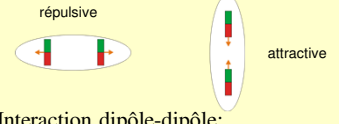
- les condensats de Bose-Einstein (transition de phase)
- les mers de Fermi
- quel est le rôle des interactions ?**

➤ Dans la plupart des expériences (alcalins): interactions van-der-Waals

- 'courte portée' ($1/r^6$)
- isotropes



➤ Étudier les interactions dipôle-dipôle dans des gaz quantiques (condensats de Bose-Einstein et mers de Fermi)

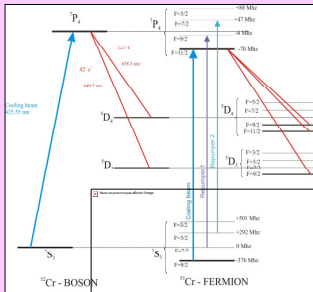


- Interaction dipôle-dipôle:
 - 'longue portée' ($1/r^3$)
 - anisotrope

Les spécificités de l'atome de chrome

- Fort moment dipolaire $6\mu_B$:**
 - larges interactions dipolaires
 - Explorer la physique des spinors (condensats à plusieurs états internes)
- deux isotopes piégés :** un fermion, et un boson

Structure atomique de l'atome de chrome



Les lasers utilisés

- Un Ti:Sa continu, pompé par un laser Verdi 18W et un doubleur de fréquence (425 nm) pour refroidir.
- Deux diodes lasers à 650 nm pour repomper
- Une diode laser doublée pour dépomper (427 nm)

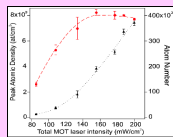
La structure de notre expérience

- Un four à 1500 °C où on sublime un gaz de chrome
- Un ralentisseur Zeeman où on ralentit les atomes
- Une cellule à ultra-vide où on refroidit les atomes et où on produit le condensat

Premiers résultats (2005) : un piège magnéto-optique $^{52}\text{Cr}/^{53}\text{Cr}$

Nombre d'atomes ^{53}Cr : $4 \cdot 10^5$
Nombre d'atomes ^{52}Cr : $4 \cdot 10^6$

Temperature: **110 μK**

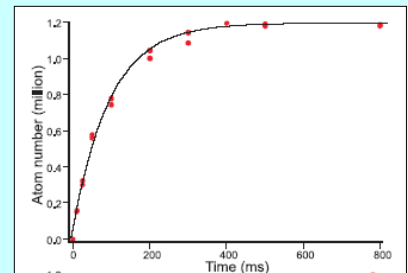
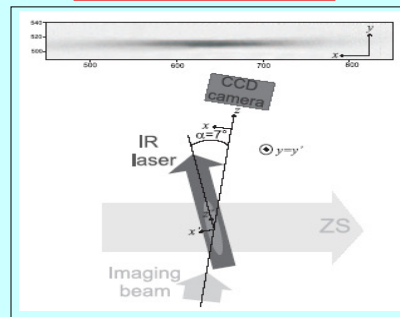


Voir R. Chircanu et al., Phys. Rev. A 73, 053406 (2006)

Piégeage optique d'atomes métastables de chrome

Pour obtenir un condensat de chrome, il faut d'abord charger les atomes froids dans un piège optique, puis abaisser la profondeur du piège pour procéder à un refroidissement évaporatif

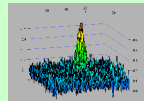
Une image d'atomes piégés dans le piège dipolaire, à **110 μK**



- 5 millions d'atomes, à 80 μK , densité $\sim 3 \cdot 10^{11}$ at/cm³.
- Processus limité par des collisions inélastiques

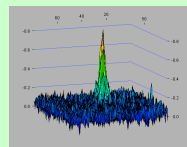
voir - Q. Beaufils, et al., arXiv:0711.0665 (2007)
- R. Chircanu, et al., Euro Phys J D 45, 189 (2007)

Premiers condensats de Chrome

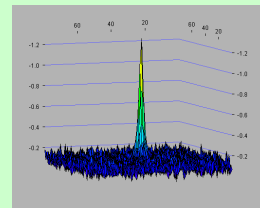


t = 9,2s

28 000 atomes
à T = 200nK



t = 9,6s
17 000 atomes
à T = 80nK



t = 10s
10 000 atomes
condensés

~20 000 atomes condensés dans un piège de fréquences 110Hz, 110Hz et 150Hz ($T_c=120\text{nK}$)

Temperature : **110 nK**

- Après avoir croisé les faisceaux, on diminue la puissance du piège de 35W à 500mW en 10 secondes.

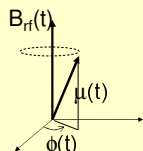
(17 novembre 2007)

Les expériences actuelles et à venir : Un condensat dans de forts champs rf: construction cohérente d'états non magnétiques

- Etudier la physique des spinors : un spinor est un condensat à plusieurs composantes dégénérées : Le champ magnétique doit être nul.
- Il faut que l'effet Zeeman soit bien plus petit que l'énergie d'interaction entre particules. **Dans ces conditions, l'état fondamental du système (à N corps) présente de nouvelles phases quantiques (ferromagnétiques, anti-ferromagnétiques, cycliques).**
- Idee : On peut modifier le facteur de Landé g_j en appliquant un champ magnétique RF non résonnant : Si la fréquence RF ω est supérieure à la fréquence de Larmor ω_0 des atomes, g_j est modifié :

$$g_J(\Omega) = g_J J_0 \left(\frac{\Omega}{\omega} \right)$$

- Une image classique de ce phénomène :



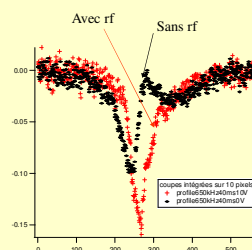
$$\frac{d\vec{\mu}}{dt} = -g_J \vec{\mu} \times \vec{B}_J(t)$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = \Omega_{rf} \cos(\omega_{rf} t)$$

Nuage atomique à 100 μK



Potentiel longitudinal



Les perspectives pour une thèse : les effets dipolaires dans des gaz quantiques dégénérés

- Formation de molécules dans le condensat
- Charger un condensat de Bose-Einstein de chrome dans un réseau optique
- Etudier le diagramme de stabilité et les excitations collectives de gaz quantiques dipolaires en dimension réduite (1D ou 2D)
- Mettre en évidence des corrélations en position dans ces gaz
- Etudier la thermalisation de gaz de Fermions dipolaires polarisés
- Obtenir simultanément un mer de Fermi dégénérée et un condensat de chrome, par refroidissement sympathique.