

***Cours 4 : Particules identiques.
Applications***

Cours 4 : Particules identiques. Applications

1. Rappels

- 1.1 Indiscernabilité en mécanique classique et quantique
- 1.2 Postulat de symétrisation
- 1.3 Connexion spin-statistique
- 1.4 Particules composites

2. Applications

- 2.1 Classification périodique
- 2.2 Interaction d'échange ; origine microscopique du ferromagnétisme
- 2.3 Gaz quantiques dégénérés

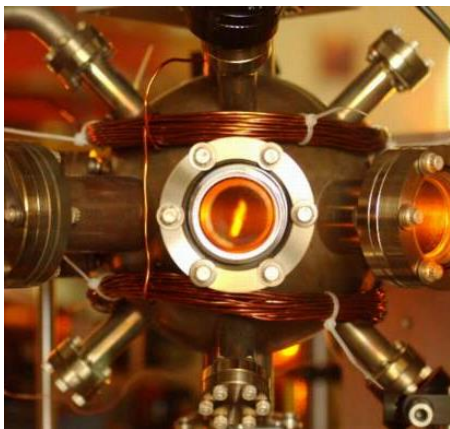
Refs. générales :

BD chap. 16, CDL chap. 14

La route vers la condensation de Bose-Einstein

1. Refroidissement laser (piège magnéto-optique)

$N \sim 10^9$ atomes,
 $T \sim 100 \mu\text{K}$,
 $n\lambda^3 \sim 10^{-6}$



Steven Chu



Claude Cohen-Tannoudji



William D. Phillips



Prix Nobel de Physique 1997

2. Refroidissement par évaporation dans un piège conservatif (magnétique ou optique)

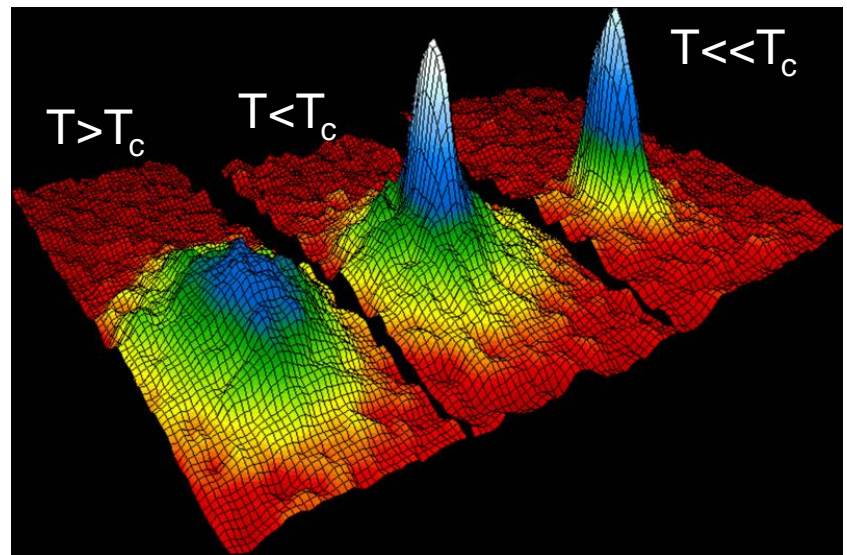
$N \sim 10^6$ atomes,
 $T \sim 100 \text{nK}$,
 $n\lambda^3 \sim 1$



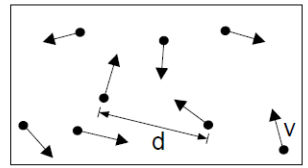
Condensation de Bose-Einstein de vapeurs atomiques

1995 : CBE dans vapeurs de Rb et Na.
 E. A. Cornell, C. E. Wieman (Boulder)
 W. Ketterle (MIT)

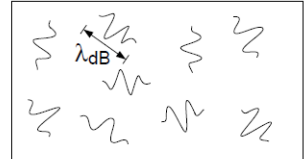
Distribution de densité après temps de vol :
 distribution des vitesses initiales



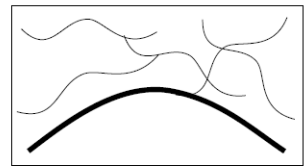
W. Ketterle, Nobel lecture



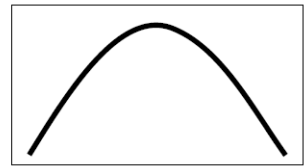
High Temperature T:
 thermal velocity v
 density d^{-3}
 "Billiard balls"



Low Temperature T:
 De Broglie wavelength
 $\lambda_{dB} = h/mv \propto T^{-1/2}$
 "Wave packets"



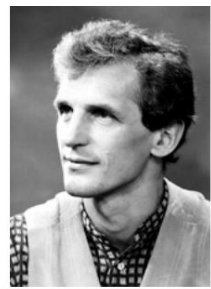
T = Tc:
BEC
 $\lambda_{dB} \approx d$
 "Matter wave overlap"



T = 0:
Pure Bose condensate
 "Giant matter wave"



Eric A. Cornell



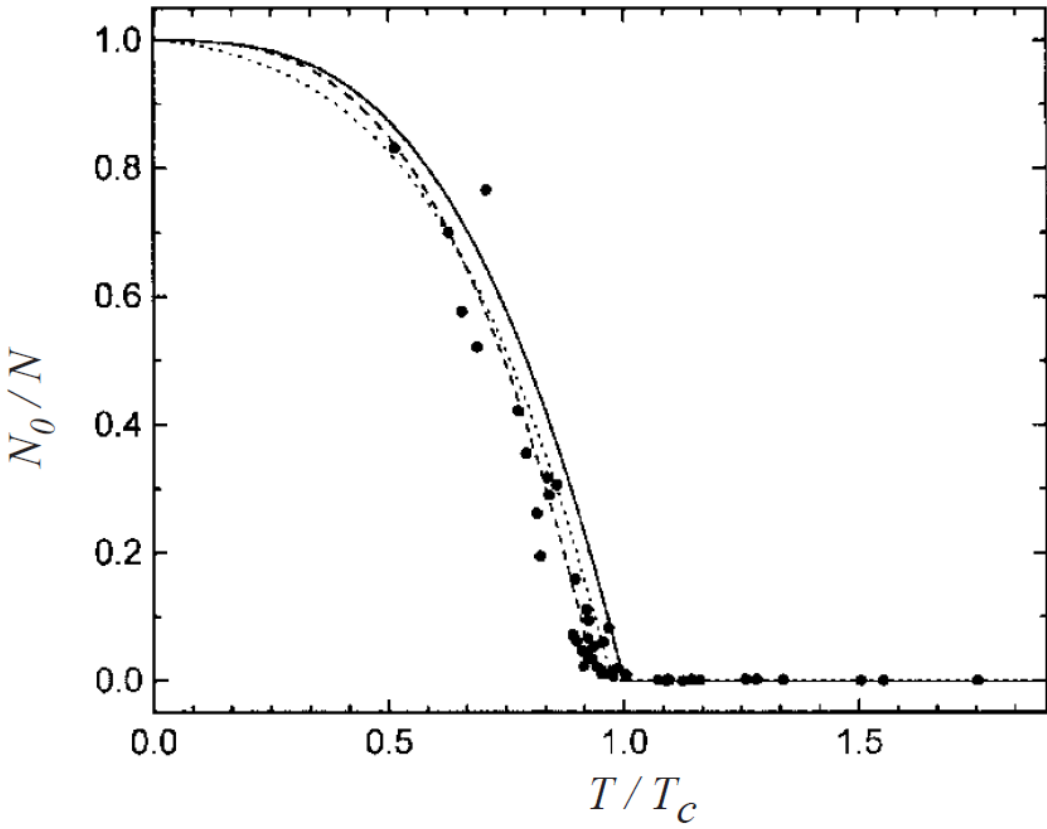
Wolfgang Ketterle



Carl E. Wieman

Nobel de Physique 2001

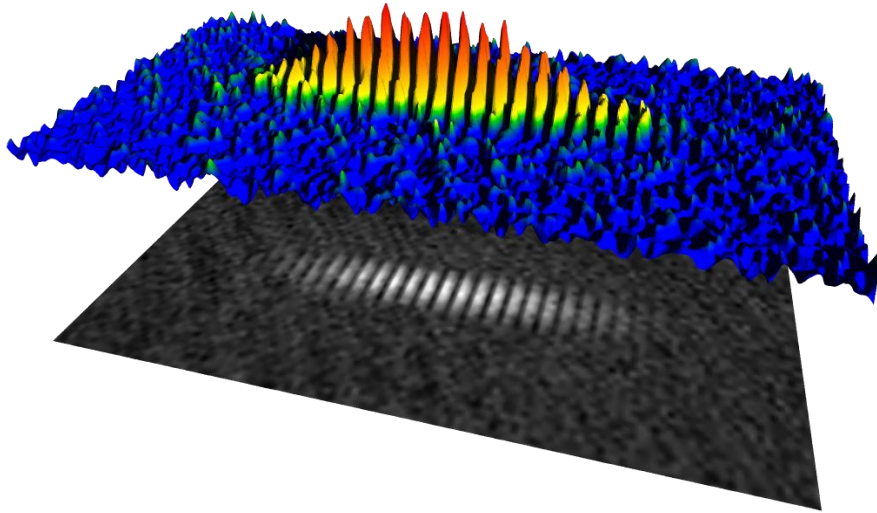
Un exemple expérimental : fraction condensée vs T



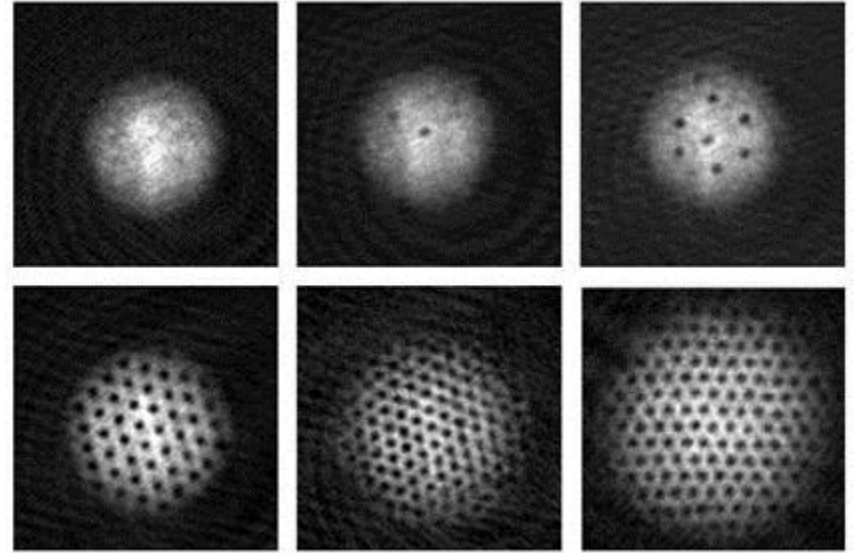
R. Enscher *et al.*, Phys. Rev. Lett. **77**, 4984 (1996).

Interférences de CBE, tourbillons quantiques

Franges d'interférences de deux condensats de Cr indépendants



CBE en rotation : flot irrotationnel (superfluidité) → réseaux de « vortex »
[N.B. interactions entre atomes nécessaires]



Analogie avec les réseaux d'Abrikosov (supraconducteurs de type 2)

Domaine en pleine expansion aujourd'hui

- Fermions, réseaux optiques, contrôle des interactions entre atomes
- Systèmes quantiques à N corps fortement corrélés
- Simulation de problèmes de matière condensée

Quelques références

Généralités sur les particules identiques en MQ

- Cohen-Tannoudji, Diu, Laloë, chap. XIV.
- Basdevant, Dalibard, chap. 16.

Lien spin-statistique

I. Duck & E. C. G. Sudarshan, *Toward an understanding of the spin-statistics theorem*, Am. J. Phys. **66**, 284 (1998).

Interaction d'échange et ferromagnétisme

- Diu, Guthman, Lederer, Roulet, *Physique Statistique*, Comp. IIIJ, § I.4.
- Ashcroft, Mermin, *Solid-state physics*, chap. 32.

Condensation de Bose-Einstein

- Cohen-Tannoudji, Dalibard, Laloë, *La condensation de Bose-Einstein dans les gaz*, in Einstein aujourd'hui, CNRS Editions & EDP Sciences, Paris, 2005.

En ligne à http://www.phys.ens.fr/~dalibard/publications/einstein_2005.pdf

Tous mes vœux de réussite !