DISTRIBUTION DES IMPULSIONS DANS UN GAZ QUANTIQUE A 1D

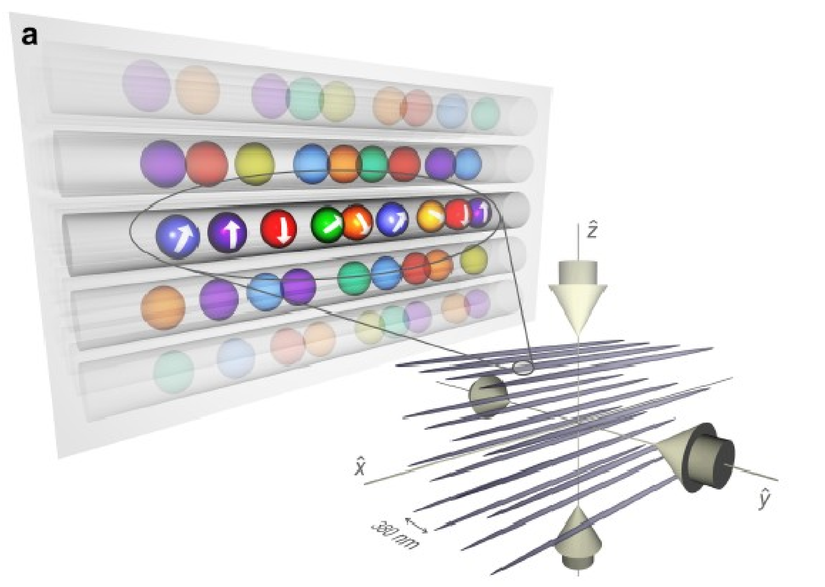
Présenté par Anastasia Benzahi
Master Ondes, Atomes, Matière, Université Cote d'Azur
Encadré par Mathias Albert
Institut de Physique de Nice

Pourquoi sommes-nous intéressés par les systèmes a une dimension (1D) ?

A 1D tout est plus fort. Les particules ne peuvent pas s'éviter ce qui conduit a de fortes corrélations entre elles, même dans des systèmes en faibles interactions. Cela mène a des phénomènes fascinants et encore mal compris de nos jours. Dans ce poster, nous allons nous intéresser a la distribution en impulsion et les corrélations dans un gaz de bosons 1D en forte interaction. On trouve par exemple, que les corrélations entre deux particules d'impulsions différentes sont nulles, sauf pour les petites impulsions ou elles sont négatives, et seuls les corrélations entre deux particules de même impulsion subsistent.

I. Gaz quantiques 1D

- Bosons
- 1D
  - → piège magnéto-optique
- Forte interaction répulsive
  - → les particules ne peuvent pas être a la même position ni échanger de place
    - → comportement fermionique
- Température nulle
  - → longueur d'onde thermique de taille macroscopique
- Particules vivant dans un piège harmonique
  - → réalité expérimentale [2]
- augmentation graduelle de complexité



II. Distribution des impulsions

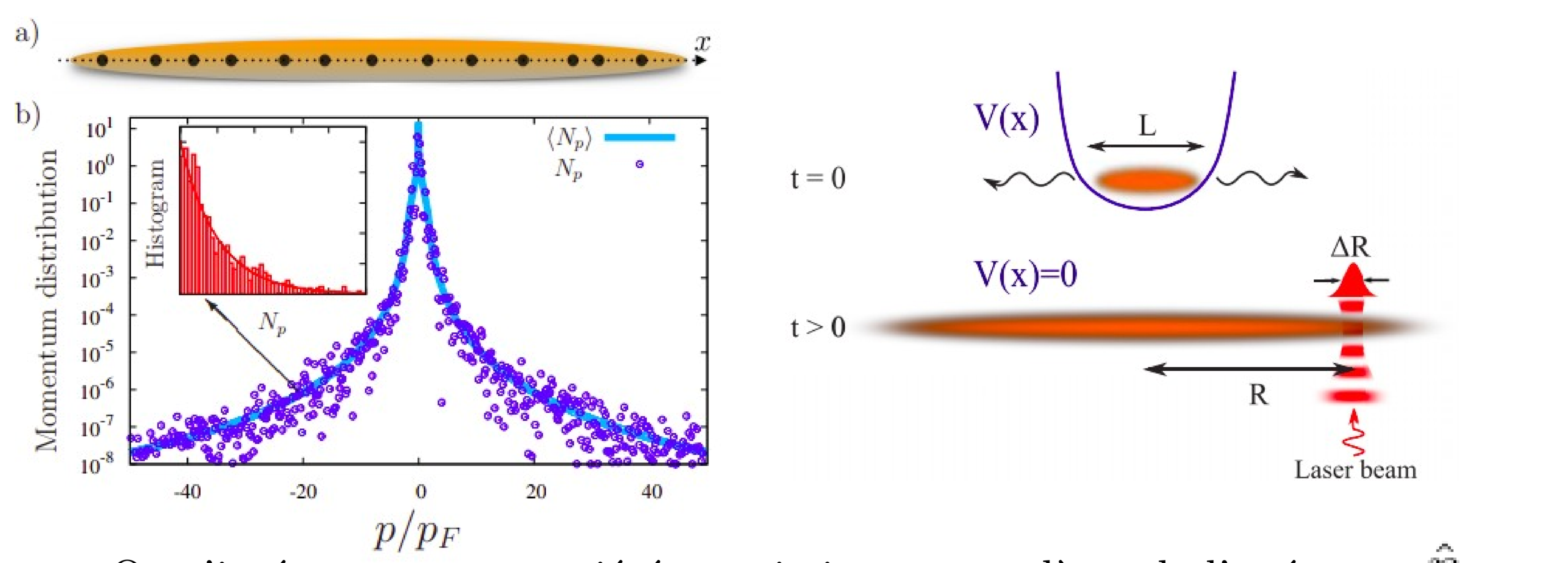
Pour pouvoir calculer les observables, quantités mesurables expérimentalement, nous avons besoin de la fonction d'onde. Nos bosons en forte interaction répulsive ne pourront pas être dans le même état, similairement a des fermions libres. Ainsi la fonction d'onde est [3,4] :

$$\Psi_b(x_1,...,x_N) = |\Psi_f(x_1,...,x_N)|$$

Les valeurs absolues assurent la symétrie de la fonction d'onde.

Pour avoir le nombre moyen de bosons dans un état d'impulsion p il nous faut calculer :

$$\begin{aligned}\langle n_p\rangle &= \langle a_p^\dagger a_p\rangle\\ \langle n_p\rangle &= \int\int e^{ip(x-y)}\rho_1(x,y)dxdy\\ avec\ \rho_1(x,y) &= N\int...\int \Psi^*(x,x_1,...,x_N)\Psi(y,x_1,...,x_N)dx_1...dx_N\end{aligned}$$



On s'intéresse aux propriétés statistiques complètes de l'opérateur $\hat{n}_p$.

III. Fluctuations et corrélations

On s'intéresse a la quantité :

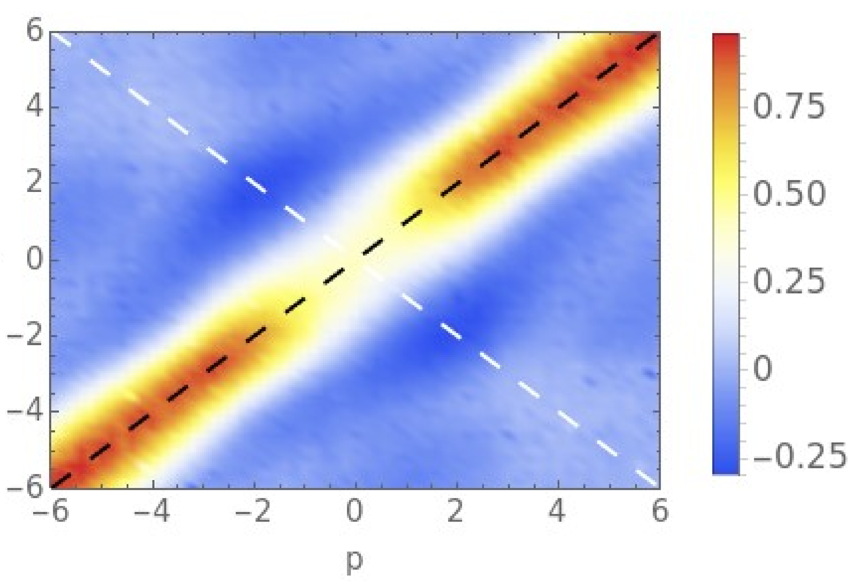
$$G(p,q) = \frac{\langle n_p n_q\rangle - \langle n_p\rangle\langle n_q\rangle}{\langle n_p\rangle\langle n_q\rangle}$$

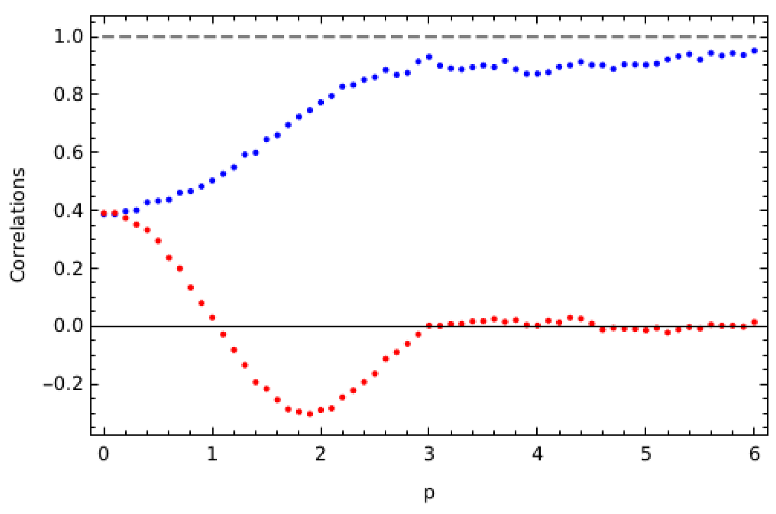
= 0 pas de corrélations

> 0 corrélations positives

< 0 corrélations négatives

Sur la figure de droite sont représentées ces corrélations. Sur la diagonale p=q les corrélations sont positives, ce qui veux dire que si l'on trouve une particule avec une impulsion p, on a une probabilité plus grande de trouver une autre particule avec une impulsion p.





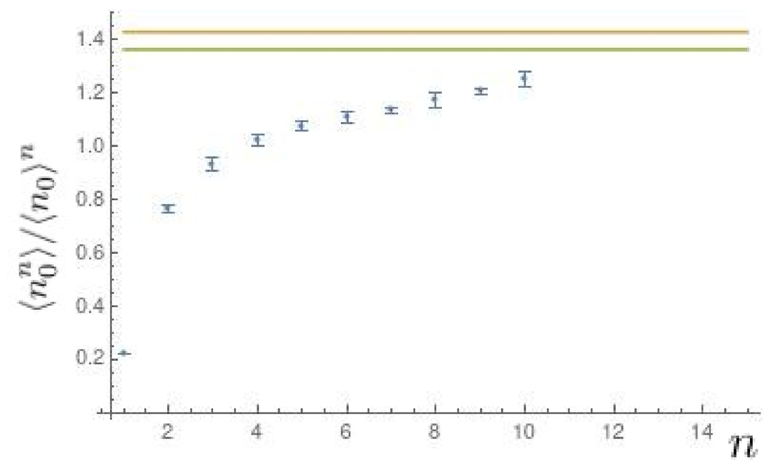
Sur la figure de gauche sont représentées des coupes pour q=p en bleu, et q=-p en rouge. Sur la courbe rouge on voit qu'il y a des anti-corrélations pour les faibles impulsions, ce qui veut dire que si l'on trouve une particule avec une impulsion p, on a une probabilité plus faible de trouver une particule avec une impulsions -p.

Méthode (bosonisation) [1,5] :

$$\begin{aligned}\langle n_p n_q\rangle &= \int\int\int\int e^{ip(x-y)+iq(x'-y')}\rho_2(x,x',y,y')dxdydx'dy'\\ \rho_2(x,x',y,y') &= \frac{\rho_1(x,x')\rho_1(x,y')\rho_1(y,x')\rho_1(y,y')}{\rho_1(x,y)\rho_1(x',y')}\\ avec\ \ \rho_1(x,x') &= C\frac{n(x)^{\frac14}n(x')^{\frac14}}{|x-y|^{\frac12}}\end{aligned}$$

IV. Conclusion et perspectives

En somme, cette étude permet de mieux comprendre comment la matière fonctionne a son niveau le plus fondamental.
Il est aussi intéressant d'étudier les différents moments de $\langle n_0\rangle$ et ainsi reconstruire sa distribution de probabilité Cette analyse permet de comprendre comment le quasi condensat se détruit a cause des interactions.



[1] M. A. Cazalilla, R. Citro, T. Giamarchi, E. Orignac, et M.Rigol, Rev. Mod. Phys. 83,1405(2011).
[2] B. Fang, A. Johnson, T. Roscilde, et I. Bouchoule, Phys. Rev. Lett. 116, 050402 (2016).
[3] M. Girardeau, J. Math. Phys. 1, 516 (1960).
[4] P. J. Forrester, N. E. Frankel, T. M. Garoni, et N. S. Witte, Phys. Rev. A 67,043607 (2003).
[5] P. Devillard, D. Chevallier, P. Vignolo, et M. Albert, Phys. Rev. A.101, 063604 (2020).

INPHYNI
INSTITUT DE PHYSIQUE DE NICE