
EFFET HONG-OU-MENDEL
VERTEX

LE TRAVAIL
PRÉCISION(S)

par

Dimitri Bonanni-Surprenant

Remis à

Denis Morris



Université de Sherbrooke
Faculté des Sciences
Département de Physique
22 novembre 2023

L'effet Hong-Ou-Mendel

(A) Introduction

Une des plus grandes avancées de la thermodynamique est la démonstration de ce que l'on nomme le théorème spin-statistique. Ce théorème a pour effet de séparer les particules en deux catégories, soit les bosons ou les fermions.

Les propriétés de chaque type sont assez différentes, tel que les personnes derrière les noms de celles-ci. On disait d'Enrico Fermi qu'il était un peu une tête brûlée ; il est le père de la fission nucléaire. Ses expériences étaient très importantes, mais non sans risque. Une blague qui circulait dans son laboratoire lors de son travail sur les "piles" : "Si les gens pouvaient voir ce que nous faisons avec 1.5 M\$, ils nous trouveraient fous. S'ils savaient pourquoi nous le faisons, ils auraient raison." [3] [1]

D'un autre côté, Satyendra Nath Bose aurait été qualifié autrement. Après avoir redérivée les coefficients de la loi de Planck et envoyé ses résultats à Einstein, Bose est allé en Europe pour en apprendre plus sur la radioactivité dans le laboratoire de Curie. Le laboratoire étant français, Curie lui aurait fait un long exposé sur l'importance de savoir parler français. Il aurait ensuite appris le français, mais n'en aurait jamais parlé à Curie, qui l'aurait sans doute accepté comme assistant. [7] [5].

(B) Partie 1 : Symétrisation et Anti-Symétrisation

Au même titre que les deux personnes d'après lesquelles ces particules tiennent leur nom, les bosons et les fermions ont des propriétés opposées.

Prenons pour exemple le problème suivant, deux particules identiques entrent en collision puis partent de leur côté. Comment savoir quelle trajectoire la particule à prise ? On ne peut pas le savoir, c'est ce que l'on nomme la dégénérescence d'échange [8]. Il y a moyen de passer à côté de ce problème. En mécanique quantique, un outil qui permet de donner un sens à la position d'une particule est la fonction d'onde. On relie la probabilité que la particule se trouve dans un intervalle de position comme

$$P(I) = \int_I |\psi(x)|^2 dx \quad I, \text{ un intervalle} \quad (1.B.1)$$

On peut représenter mathématiquement la dégénérescence d'échange comme le fait que la probabilité avant l'échange doit être la même que la probabilité après l'échange. Il apparaît donc deux solutions possibles, soit que la fonction d'onde ne change pas sous l'échange, soit que la fonction d'onde prenne un signe négatif. C'est ici que les fermions, ceux que la fonction d'onde prend un signe négatif, se démarquent des bosons, ceux que la fonction d'onde reste inchangée.

(C) Partie 2 : Effet Hong-Ou-Mendel

Une petite description de l'effet HOM. Comment faire l'expérience qui permet de mesurer l'effet HOM. Présentation d'un montage expérimental [6] [4] [2]. L'élément clef dans l'effet HOM, c'est le fait que la lame partiellement réfléchissante l'est à 50%.

Pour des bosons, la transformation se fait

$$a_1^\dagger = \frac{1}{\sqrt{2}}(b_1^\dagger + b_2^\dagger) \quad (1.C.1)$$

$$a_2^\dagger = \frac{1}{\sqrt{2}}(b_1^\dagger - b_2^\dagger) \quad (1.C.2)$$

$$a_1^\dagger a_2^\dagger = \frac{1}{2}((b_1^\dagger)^2 - (b_2^\dagger)^2 + b_1^\dagger b_2^\dagger - b_2^\dagger b_1^\dagger) \quad (1.C.3)$$

$$[b_1^\dagger, b_2^\dagger] = 0 \quad (1.C.4)$$

$$a_1^\dagger a_2^\dagger = \frac{1}{2}((b_1^\dagger)^2 - (b_2^\dagger)^2) \quad (1.C.5)$$

Pour des fermions, la transformation se fait

$$c_1^\dagger = \frac{1}{\sqrt{2}}(d_1^\dagger + d_2^\dagger) \quad (1.C.6)$$

$$c_2^\dagger = \frac{1}{\sqrt{2}}(d_1^\dagger - d_2^\dagger) \quad (1.C.7)$$

$$c_1^\dagger c_2^\dagger = \frac{1}{2}((d_1^\dagger)^2 - (d_2^\dagger)^2 + d_1^\dagger d_2^\dagger - d_2^\dagger d_1^\dagger) \quad (1.C.8)$$

$$(d_i^\dagger)^2 = 0 \quad (1.C.9)$$

$$\{d_1^\dagger, d_2^\dagger\} = 0 \quad (1.C.10)$$

$$c_1^\dagger c_2^\dagger = d_1^\dagger d_2^\dagger \quad (1.C.11)$$

(E) Conclusion

Pour conclure, l'apparition de l'effet HOM est directement liée à l'existence des bosons. On peut utiliser l'effet HOM pour quantifier la qualité d'une source de photons unique. Est-ce que l'effet HOM existe pour les électrons ?

Références

- [1] L. Badash. Enrico fermi. [https ://www.britannica.com/biography/Enrico-Fermi](https://www.britannica.com/biography/Enrico-Fermi).
- [2] Agata M. Brańczyk. Hong-Ou-Mandel Interference, October 2017. arXiv :1711.00080 [quant-ph].
- [3] Edward R. Trapnell Corbin Allardice. The first pile. [https ://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull4-0/04005004147su.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull4-0/04005004147su.pdf).
- [4] Byoung S Ham. The fundamental understanding of Hong-Ou-Mandel effects.
- [5] Dr V B Kamble. Bosons - the birds that flock and sing together. [https ://web.archive.org/web/20070519122802/https ://vigyanpras.gov.in/dream/jan2002/article1.htm](https://web.archive.org/web/20070519122802/https://vigyanpras.gov.in/dream/jan2002/article1.htm).
- [6] A. M. Kaufman, M. C. Tichy, F. Mintert, A. M. Rey, and C. A. Regal. The Hong-Ou-Mandel effect with atoms. volume 67, pages 377–427. 2018. arXiv :1801.04670 [quant-ph].
- [7] Dr Subodh Mahanti. The creator of quantum statistics. [https ://web.archive.org/web/20070305082106/https ://vigyanpras.gov.in/scientists/snbose/bosenew.htm](https://web.archive.org/web/20070305082106/https://vigyanpras.gov.in/scientists/snbose/bosenew.htm).
- [8] David Sénéchal. *Mécanique quantique II*. Université de Sherbrooke. Département de physique.