

Séparer l'inséparable

ou comment remplacer le spineur singulet de l'expérience EPR-B dans
l'espace de configuration par deux spineurs d'une particule unique dans
l'espace physique

Michel Gondran¹ et Alexandre Gondran²

¹ Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences, Paris, France

² École Nationale de l'Aviation Civile, Toulouse, France

Colloque de Académie Européenne Interdisciplinaire des Sciences

« *Ondes, matières et univers* »

IHP, Paris, 11 et 12 février 2016

Espace de configuration ($3N$ dimensions) vs Espace physique (3 dimensions)

La fonction d'onde de N particules se propage dans un espace de configuration à $3N$ dimensions

- Quelle interprétation à cette fonction d'onde ?
- Simple outil mathématique ou réalité physique ?
- Comment comprendre le réalisme non-local de 1927 (variables supplémentaires de de Broglie-Bohm-Bell) ?

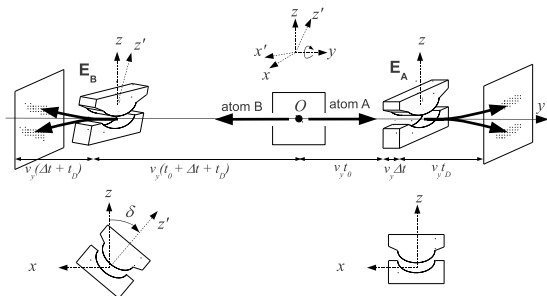


Figure: Expérience EPR-Bohm : cas de deux particules corrélées

Pour comprendre la "mesure" du spin

Condition initiale 1 : Spineur complet avec extension spatiale

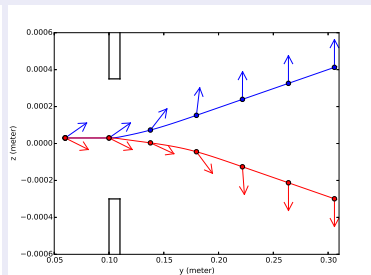
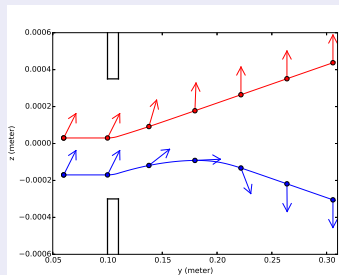
≠ spineur tronqué utilisé en information quantique:

$$\Psi^0(z) = (2\pi\sigma_0^2)^{-\frac{1}{4}} e^{-\frac{z^2}{4\sigma_0^2}} \begin{pmatrix} \cos \frac{\theta_0}{2} e^{-i\frac{\varphi_0}{2}} \\ \sin \frac{\theta_0}{2} e^{i\frac{\varphi_0}{2}} \end{pmatrix}$$

$$\Psi^0 = \begin{pmatrix} \cos \frac{\theta_0}{2} e^{-i\frac{\varphi_0}{2}} \\ \sin \frac{\theta_0}{2} e^{i\frac{\varphi_0}{2}} \end{pmatrix}.$$

Interprétation causale, réaliste et non-locale de 1927

Orientation initiale (fonction d'onde)
+ Position initiale } \Rightarrow { Orientation finale
+ Position finale



- 2 particules de même orientation (fonction d'onde) mais de positions initiales différentes (fig. gauche)
- 2 particules avec la même position initiale mais d'orientations différentes (fig. droite)

Spin : variable à valeur non prédéterminée avant la "mesure"

Comme l'orientation d'une pièce de monnaie, l'orientation du spin n'est pas une propriété indépendante de la "mesure".

⇒ La "mesure" contraint l'orientation à prendre seulement 2 valeurs possibles

Cependant :

- l'orientation pré-existe à la "mesure"
 - ▶ mais peut être différente de celle mesurée
- l'orientation est inconnue avant la "mesure"

Condition initiale 2 : Singulet complet avec extension spatiale

$$\Psi_0(\mathbf{r}_A, \mathbf{r}_B) = \frac{1}{\sqrt{2}} f(\mathbf{r}_A) f(\mathbf{r}_B) (|+_{A}, -_{B} \rangle - |-_{A}, +_{B} \rangle)$$

≠ du singulet tronqué utilisé en information quantique :

$$\Psi_0(\mathbf{r}_A, \mathbf{r}_B) = \frac{1}{\sqrt{2}} (|+_{A}, -_{B} \rangle - |-_{A}, +_{B} \rangle)$$

cf. *Dewdney, Holland, Kyprianidis, J. Phys. A: Math. Gen. 20, 4717-32 (1987)*

Pour fabriquer l'état singulet

Condition initiale 3 : fabrication du singulet

Le singulet est obtenu par antisymétrisation des particules A et B (principe de Pauli) avec des spins opposés :

$$\left\{ \begin{array}{l} \Psi_0^A(\mathbf{r}_A, \theta_0^A, \varphi_0^A) = f(\mathbf{r}_A) \left(\cos \frac{\theta_0^A}{2} |+_A\rangle + \sin \frac{\theta_0^A}{2} e^{i\varphi_0^A} |-_A\rangle \right) \\ \Psi_0^B(\mathbf{r}_B, \theta_0^B, \varphi_0^B) = f(\mathbf{r}_B) \left(\cos \frac{\theta_0^B}{2} |+_B\rangle + \sin \frac{\theta_0^B}{2} e^{i\varphi_0^B} |-_B\rangle \right) \\ \text{et spins opposés : } \theta_0^B = \pi - \theta_0^A, \varphi_0^B = \varphi_0^A - \pi \end{array} \right.$$

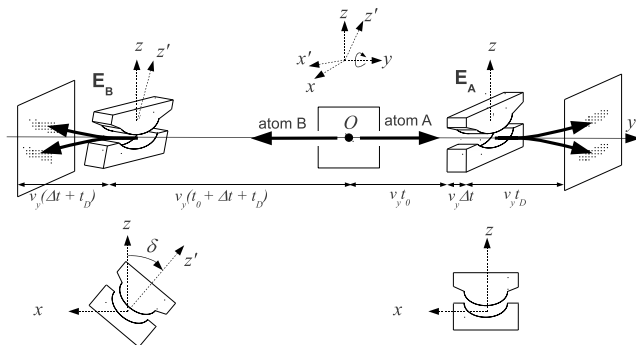
Principe de Pauli :

$$\begin{aligned} \Psi_0(\mathbf{r}_A, \theta_A, \varphi_A, \mathbf{r}_B, \theta_B, \varphi_B) &= \Psi_A^0(\mathbf{r}_A, \theta_A, \varphi_A) \Psi_B^0(\mathbf{r}_B, \theta_B, \varphi_B) - \Psi_A^0(\mathbf{r}_B, \theta_B, \varphi_B) \Psi_B^0(\mathbf{r}_A, \theta_A, \varphi_A) \\ &= -e^{i\varphi_A} f(\mathbf{r}_A) f(\mathbf{r}_B) (|+_A, -_B\rangle - |-_A, +_B\rangle) \end{aligned}$$

papier à paraître dans Foundations of Physics 2016, "Replacing the singlet spinor of the EPR-B experiment with two single-particle spinors"

Méthodologie

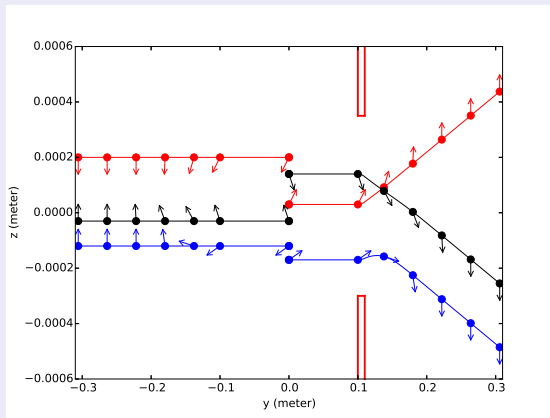
- Les 3 conditions initiales
- Expérience EPR-B en 2 étapes successives
 - ▶ Mesure de A **puis** mesure de B
 - ▶ Équivalent d'un point de vue théorique que les 2 étapes simultanées
 - ▶ Permet de résoudre analytiquement les calculs
- Résolution de l'équation de Pauli avec singulet non tronqué
 - ▶ pas d'utilisation des postulats de la mesure



Résultats :

● EPR-B étape 1 : mesure de A

- ▶ La densité des particules B n'est pas affectée par la mesure des particules A
- ▶ La densité des particules A est la même que la particule soit libre ou intriquée.



● EPR-B étape 2 : mesure de B

- ▶ Simple Stern et Gerlach avec une orientation des spins des particules B égale à δ ou $\pi - \delta$
- ▶ Prédications de la mécanique quantique

Conclusions

- Espace de configuration = espace fictif (outil math.)
- Existence d'une action à distance

$$\text{EPR : } \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ particule} \\ + 1 \text{ particule} \\ + \text{interaction à distance instantanée des spins} \end{array} \right.$$

Le réalisme non-local de Karl Popper :

"l'expérience d'Aspect serait la première expérience cruciale visant à trancher entre les interprétations lorentzienne et einsteinienne des transformations de Lorentz"

Conséquences :

- Abandonner l'interprétation d'Einstein [de 1905] de la relativité restreinte pour l'interprétation de Lorentz
- Même formalisme (pas d'abandons d'équations)
- Espace et temps absolus mais non détectables