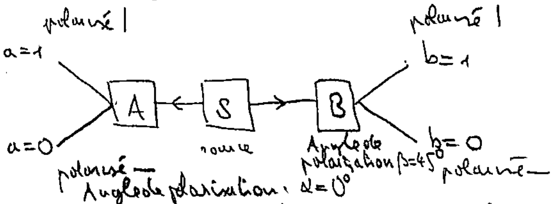
Éric Lantz

Intrication : publi de 11/2012 :
Entanglement

Inégalités de Bell :



2 photons intriqués = 1 seul objet de la MQ

selon le filtre de polarisation.

$P(a=1 \text{ et } b=1) \propto \cos^2(\alpha-\beta)$. i.e., si $\alpha=\beta$, un photon passe en A si il passe en B.

$P(a=1)=\frac{1}{2}$:

Pour la lumière non polarisée, il y a tjs une probabilité $\frac{1}{2}$ de passer

La MQ est non locale : corrélation absolue : fait fi de l'espace.

c'est compatible avec la RR : il n'y a pas ici de transport d'information !

---

2 photons dans un cristal optique : $\hbar(2\omega) \to (\hbar\omega)_A + (\hbar\omega)_B$.

$$|\psi\rangle = (|H_1, V_2\rangle + e^{i\alpha}|V_1, H_2\rangle)/\sqrt{2}$$

Kwiat et al Phys. Rev Letters 75 (1995) 4337-4341.

superposition de deux photons.

si H en 1, V en 2
si V en 1, H en 2

$$E(\alpha,\beta) = \frac{\langle (I_A^1 - I_A^0)(I_B^1 - I_B^0)\rangle}{\langle (I_A^1 + I_A^0)(I_B^1 + I_B^0)\rangle}$$

où I_D^0 est le # de photons détectés.
: cela exprime la corrélation.

Si $\alpha=\beta$, corrélation maximale : $I_A^1 - I_A^0$ prend sa valeur maximale.

Ceci ignore l'espace même s'il n'y a pas transmission d'information

Inégalité de Bell :

photons tirés au hasard.

le photon A connaît son polariseur mais pas l'autre.

$$P(a \text{ et } b) \overset{?}{=} \int_\lambda \rho(\lambda)\, d\lambda\, P(a \mid \alpha, \lambda)\, P(b \mid \beta, \lambda)$$

oui si localité — variable cachée

Alors $S : \; E(\alpha,\beta) - E(\alpha,\beta') + E(\alpha',\beta) + E(\alpha',\beta') < 2$ si il y a des variables cachées

c'est l'$\leq$ de Bell. (c'est un peu pénible)

Or la MQ prévoit au cas où $\alpha = 0$, $\beta = 22{,}5°$
$\alpha' = 45°$, $\beta' = 67{,}5°$ que $S = 2\sqrt{2}$

i.e. la MQ est non locale : les variables cachées ne prévoient pas $S = 2\sqrt{2}$.

Or $S = 2\sqrt{2}$ est aussi la valeur observée.

⚠ Pb : Ds l'expérience, bcp de photons perdus et on ne sait pas si les photons perdus sortent de la moyenne et faussent l'observation.
Pour séparer causalement les polariseurs, il faut les éloigner, et cela fait perdre des photons.

II Corrélations et causalités

Le plus souvent, un lien causal implique une corrélation.

L'inverse est faux : en MQ, une corrélation n'implique aucune corrélation

A n'influence pas B, B n'influence pas A

Jean : Il y a causalité à la source.
ou dans la fonction d'onde.

cf Jules Vuillemin

Proba classique : A cause de B, B cause de A ou C cause de A et B.

Q : est-ce que la violation de l'$\leq$ de Bell peut s'expliquer par transmission d'information supérieure à la vitesse de la lumière.

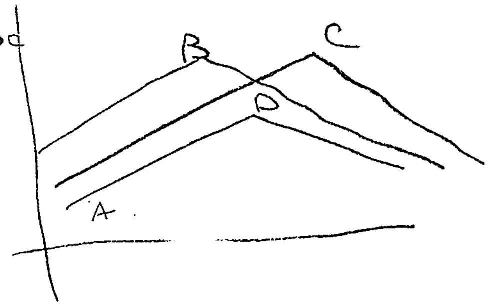
Eh bien oui, mais ce n'est pas esthétique : pas d'info ds les corrélations.

Pb : si la transmission a lieu à vitesse finie $v > c$, il est possible que Bell devient locale.

Dans la suite, considérons un système à 4 positions : A, B, C, D.

B et C obéissent à Bell.

{A B D ds le m̂ cône "supraluminieux" de vitesse v
{A C D



~~CSCH~~ C/+ SH

$$\alpha = \begin{cases} 0 \longrightarrow x = 0 \\ 45° \longrightarrow x = 1 \end{cases} \qquad \beta = \begin{cases} 22{,}5° \longrightarrow y = 0 \\ 67{,}5° \longrightarrow y = 1. \end{cases}$$

donne lieu à une ≤ de Bell un peu différente.

a, b, c, d résultats de mesures $\in \{0,1\}$
$x\ y\ z\ w$ positions de polariseurs

On exprime le fait que les résultats en A ne permettent pas de déduire le polariseur en B :

$$\begin{cases} \sum_b \underset{\substack{\uparrow \\ \text{corrélation}}}{P}(ab\,|\,xy) = P(a\,|\,x) \\ \sum_d P(abcd\,|\,x,y,z,w) = P(abc\,|\,x,y,z) \end{cases}$$

[no signaling]
i.e. indépendante de y et on n'obtient aucune inf sur y en a.

On introduit un S adapté et prouve que $S \leq 7$. B et C n'apparaissent jamais simultanément.

En fait ; $S = 7 - 8I$, où I fait apparaître BC simultanément et non localité.

Or $S \leq 7$ est en contradiction avec la MQ :

$$|\psi\rangle = \frac{17}{60}|0000\rangle + \frac{1}{3}|0011\rangle - \frac{1}{\sqrt{8}}|0101\rangle + \frac{1}{10}|0110\rangle + \frac{1}{4}|1000\rangle - \frac{1}{2}|1011\rangle - \frac{1}{3}|1101\rangle + \frac{1}{2}|1110\rangle$$

viole cette inégalité : $S = 7{,}2$.

Cette contradiction implique que l'on s'est trompé quelque part :

ou bien BC n'est pas local, c'est-à-dire $v = \infty$ (?!)

ou bien "no signaling" est violé.

$\underbrace{\text{ABD} \quad \text{ACD}}_{\text{classique}} \qquad \underbrace{\text{ABC} \quad \text{BCD}}_{\text{non local, NQ}}$

donnent des inf sur le polariseur en B ou en A.

Dans cette violation, ou on obtiendrait à vitesse C, le polariseur ou A cela viole la RR !

De même, dans un autre cas, le polariseur en D violant la RR.

Mais on peut imaginer causalité sans transmission d'information.
Mais c'est très laid. et ici on montre que ce n'est pas possible

corrélation $\neq$ information et causalité

causalité $\approx$ information. Mais formellement faux.

corrélation = coef de corrélation $\neq 0$.

information ? Que cela recouvre-t-il ?

Polariseurs en opposition. Pb : la corrélation donne une info statistique.

La Q de l'inf : causalité locale. Il y a action à distance.

Pb de fond : mesure d'un côté : info non certaine.

Mais où a lieu le tirage au sort ? À l'émission ? Oui, dit l'$\leq$ de Bell.

Or la RR ne s'occupe que d'information !