

Ai-je bien compris la mécanique quantique ?

(MQ)

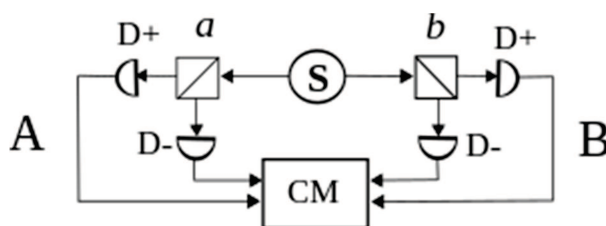
Berkouk Mohamed

L'avènement de la mécanique quantique a suscité de longs débats dans la première moitié du vingtième siècle notamment entre Albert Einstein et Niels Bohr, ce dernier défendait le bienfondé de la MQ et le caractère déterministe de celle-ci malgré des résultats exprimés en terme de probabilité, justifiés par les expériences et des corrélations parfaites entre différents spins, dans le cas de l'intrication de deux photons polarisés éloignés, dont nous allons nous intéresser dans cet article.

1°-L'INTRICATION QUANTIQUE

nous interprétons le protocole expérimentale élaboré par Alain Aspect (prix Nobel 2022), à partir de 1982, et qui a permis de trancher le débat entre Einstein et Bohr, en faveur de la MQ.

Schéma de l'expérience



N

=

(++ , -- , +- , +-))

des paires de photons émises par la source S dans deux directions opposées (A & B), chaque photon se dirige vers un canal dont l'angle d'inclinaison des deux polariseurs, a été choisi (a,b) le signal sort simultanément du côté du détecteur D+ ou D- suivant son signe, plutôt un nombre de valeur +1 ou -1 ; le tout est groupé dans un compteur (CM) relié à un ordinateur (N) .

si les deux polariseurs sont verticaux (ou horizontaux), c'est-à-dire que l'angle d'inclinaison (AI) est nulle on trouve des résultats curieux des deux côtés, gauche ou droite les photons offriraient les mêmes signes ++ ou -- (+1+1 ou -1-1) en se comportant de loin comme un seul objet, la répartition des corrélations calculées par l'ordinateur (N) (dans ce cas où l' AI des deux polariseurs est égale à 0°), ces corrélations selon un échantillon –disons -de 100 « jets » de photons, se répartissent comme suit :

(++ : 50% ou $P_{++}(a,b) = 0.5$); (-- : 50% ou $P_{--}(a,b) = 0.5$); (+- : 0% ou $P_{+-}(a,b) = 0$); (-+ : 0% ou $P_{-+}(a,b) = 0$)

Ce caractère d'équiprobabilité et de corrélations (ou dé-corrélations) parfaites est appelé INTRICATION de deux photons se comportant comme un et un seul objet.

Ces mêmes résultats expérimentaux (corrélations) sont constatés par la MQ, par le biais des fonctions d'onde suivantes :

$$\begin{aligned}
 P_{++}(\alpha, b) &= \left| \langle \psi'_{++} \parallel \Psi \rangle \right|^2 = \frac{1}{2} \cos^2(b - \alpha) \\
 P_{+-}(\alpha, b) &= \left| \langle \psi'_{+-} \parallel \Psi \rangle \right|^2 = \frac{1}{2} \sin^2(b - \alpha) \\
 P_{-+}(\alpha, b) &= \left| \langle \psi'_{-+} \parallel \Psi \rangle \right|^2 = \frac{1}{2} \sin^2(b - \alpha) \\
 P_{--}(\alpha, b) &= \left| \langle \psi'_{--} \parallel \Psi \rangle \right|^2 = \frac{1}{2} \cos^2(b - \alpha)
 \end{aligned}$$

a1

dans notre cas ou (b-a) l'angle d'inclinaison des polariseurs est égale à 0° les résultats calculés par la fonction d'onde sont :

$$(P_{++}(a,b) = \frac{1}{2} \cos^2(0^\circ) = 0.5); (P_{--}(a,b) = \frac{1}{2} \cos^2(0^\circ) = 0.5); (P_{+-}(a,b) = \frac{1}{2} \sin^2(0^\circ) = 0); (P_{-+}(a,b) = \frac{1}{2} \sin^2(0^\circ) = 0)$$

la MQ ne s'attarde pas sur l'enchaînement des causes et des effets qui ont conduit à la perfection des corrélations en adoptant l'explication par le hasard agissant simultanément sur les deux photons intriqués considérés comme un seul objet, c'est-à-dire que la non localité ne pose aucun problème à la MQ.

à partir des années soixante-dix, John Bell, pour étudier la « crédibilité » des corrélations calculés autrement que par la fonction d'onde quantique, avait posé les jalons d'une démonstration mathématique aboutissant à une sorte de test, étant donné que la théorie de la MQ est « incomplète » ce test a pour but de valider l'existence d'une théorie pour dévoiler les variables jusqu'à alors « cachées » permettant d'expliquer par la physique classique les corrélations de la MQ ; il repose en gros sur la violation ou non des inégalités de Bell .

2° LES INEGALITES DE BELL

John Bell est parti de l'hypothèse en introduisant une variable λ dans les formules des corrélations (λ peut être une ou plusieurs constantes ou fonctions... ,) une telle variable λ ou plutôt sa probabilité $P(\lambda)$ considérée comme indépendante des angles d'inclinaison (a,b), permettra d'expliquer le phénomène des corrélations parfaites par la physique classique, jusqu'alors « cachés » à la MQ

les résultats non attendus par la violation de l'inégalité de Bell confirme la non existence d'une théorie de variables cachés à l'échelon locale, ce qui n'exclut pas la possibilité de l'existence d'une telle théorie mais cette fois ci non Local comme nous allons montrer après avoir exposé la démarche de Bell :

Alain Aspect avait travaillé sur quatre angles d'inclinaison des polarisateurs, deux du cote droit (a, a') et deux du cote gauche (b, b') il avait pris des angles qui expriment significativement l'inégalité de Bell à savoir les angles (a,b)=(0°,0°) ; (a',b)=(0°,22.5°) ; (a,b')=(0°,45°) et (a',b')=(22.5°,45°), les inclinaisons des polarisateurs (b-a) sont respectivement 0°, 22.5°, 45°, (45°-22.5°) :

$$(P_{++}(a,b) = \frac{1}{2} \cos^2(0^\circ) = 0.5); (P_{--}(a,b) = \frac{1}{2} \cos^2(0^\circ) = 0.5); (P_{+-}(a,b) = \frac{1}{2} \sin^2(0^\circ) = 0); (P_{-+}(a,b) = \frac{1}{2} \sin^2(0^\circ) = 0)$$

$$(P_{++}(a,b) = \frac{1}{2} \cos^2(22.5^\circ) = 0.4268); (P_{--}(a,b) = \frac{1}{2} \cos^2(22.5^\circ) = 0.4268); (P_{+-}(a,b) = \frac{1}{2} \sin^2(22.5^\circ) = 0.0732); (P_{-+}(a,b) = \frac{1}{2} \sin^2(22.5^\circ) = 0.0732)$$

$$(P_{++}(a,b) = \frac{1}{2} \cos^2(45^\circ) = 0.25); (P_{--}(a,b) = \frac{1}{2} \cos^2(45^\circ) = 0.25); (P_{+-}(a,b) = \frac{1}{2} \sin^2(45^\circ) = 0.25); (P_{-+}(a,b) = \frac{1}{2} \sin^2(45^\circ) = 0.25)$$

$$((P_{++}(a,b) = \frac{1}{2} \cos^2(22.5^\circ) = 0.4268); (P_{--}(a,b) = \frac{1}{2} \cos^2(22.5^\circ) = 0.4268); (P_{+-}(a,b) = \frac{1}{2} \sin^2(22.5^\circ) = 0.0732); (P_{-+}(a,b) = \frac{1}{2} \sin^2(22.5^\circ) = 0.0732)$$

les résultats sont présentés dans un tableau à double entrée ci-dessous afin de calculer les corrélations de chaque inclinaison $C(a,b) = P_{++}(a,b) + P_{--}(a,b) - P_{-+}(a,b) - P_{+-}(a,b) \dots$, puis $C(a',b)$; $C(a,b')$ et $C(a',b')$.

Tableau I

	P++	P--	P-+	P+-	corrélations
(a,b) : (0°,0°)	0,5	0,5	0	0	C(a,b)=1
(a',b) : (0°,22,5°)	0,4268	0,4268	0,0732	0,0732	C(a',b)=0.7072
(a,b') : (0°,45°)	0,25	0,25	0,25	0,25	C(a,b')=0
(a',b') : (22,5°,45°)	0,4268	0,4268	0,0732	0,0732	C(a',b')=0.7072

John Bell considère: $S(a,a',b,b') = |C(a,b) - C(a,b') + C(a',b) + C(a',b')| \leq 2$

qui dans le cas ci-dessus donne :

$$S(a,a',b,b') = |1 - 0 + 0.7072 + 0.7072| \leq 2 \quad \rightarrow \quad 2.4144 \leq 2 \quad ? \text{ ce qui est absurde}$$

D'ou la violation de l'inégalité de Bell , on conclut donc qu'il ne peut pas exister une théorie de la physique classique respectant la localité , pouvant reproduire les résultats de la mécanique quantique .

Une autre inégalité de Bell :

si on s'intéresse uniquement aux corrélations en laissant de côté la première ligne du tableau ci-dessus (a,b) = (0°,0°) et en ne considérant que trois inclinaisons , les trois angles sont renommés pour les besoins de l'explication $a = 0^\circ$; $b = 22.5^\circ$ et $c = 45^\circ$, quand aux résultats nous nous intéresserons uniquement à P+- ou P-+ .

tableau II

	P-+	P+-
(a,b) : (0°,22,5°)	0,0732	0,0732
(b,c) : (22,5°,45°)	0,0732	0,0732
(a,c) : (0°,45°)	0,25	0,25

-soit l'ensemble $n_1(a+, b-)$ qui contient tout les réponses +- de la première inclinaison (b-a)

-soit l'ensemble $n_2(b+, c-)$ qui contient tout les réponses +- de la deuxième inclinaison (c-b)

-soit l'ensemble $n_3(a+, c-)$ qui contient tout les réponses +- de la troisième inclinaison (c-a)

n_1, n_2, n_3 étant leurs cardinaux respectifs .

-il est bien évident que l'ensemble $n_1(a+, b-)$ est formé d'un sous ensemble $(a+, b-)$ qui contient les $c+$ appelé $n_4(a+, b-, c+)$, et d'un autre sous ensemble $(a+, b-)$ qui ne contient que les $c-$, appelé $n_5(a+, b-, c-)$,

-de même que l'ensemble $n_2(b+, c-)$ est formé d'un sous ensemble $(b+, c-)$ qui contient les $a+$ appelé $n_6(a+, b+, c-)$, et d'un autre sous ensemble $(b+, c-)$ qui ne contient que les $a-$, appelé $n_7(a-, b+, c-)$,

-de meme que l'ensemble $n_3(a+, c-)$ est formé d'un sous ensemble $(a+, c-)$ qui contient les $b+$ appelé $n_8(a+, b+, c-)$, et d'un autre sous ensemble $(a+, c-)$ qui ne contient que les $b-$, appelé $n_9(a+, b-, c-)$,

Autrement dit

$$n_1(a+, b-) = n_4(a+, b-, c+) + n_5(a+, b-, c-)$$

$$n_2(b+, c-) = n_6(a+, b+, c-) + n_7(a-, b+, c-)$$

$$n_3(a+, c-) = n_8(a+, b+, c-) + n_9(a+, b-, c-),$$

$$\Rightarrow \begin{aligned} n_1(a+, b-) &\geq n_5(a+, b-, c-) \\ n_2(b+, c-) &\geq n_6(a+, b+, c-) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow n_1(a+, b-) + n_2(b+, c-) \geq n_3(a+, c-) \Leftrightarrow P_{+-}(a,b) + P_{+-}(b,c) \geq P_{+-}(a,c)$$

qui dans notre cas du tableau II, donne : $0.0732 + 0.0732 \geq 0.25$ d'où $0.1464 \geq 0.25$?
ce qui conduit à une violation évidente de l'inégalité de Bell .

3°- DEMONSTRATION DE L'EGALITE DE JOHN BELL

revenons au protocole d'expérience du tableau I , qui présente les quatre corrélations deux à deux , concernant les quatre inclinaisons des deux polariseurs .John Bell , comme nous avons vu ci-dessus, avait défini la valeur de $S(a, a', b, b')$ comme suit :

$$S(a, a', b, b') = |C(a, b) - C(a, b') + C(a', b) + C(a', b')| \leq 2$$

il avait ensuite introduit la variable λ dont dépendent les mesures du côté A comme du côté B de la source , λ est censé donner une explication objective et déterministe par la découverte des variables cachées jusqu'alors exprimées en terme de probabilité par la MQ . les mesures A_i et B_i étant discrètes, λ est également indexé par un nombre entier i :

$$A_i = A(\lambda_i, a) \quad \text{et} \quad B_i = B(\lambda_i, b)$$

soit la formule de corrélation qui représente les mesures de A_i et B_i

$$C(a, b) = \frac{\sum_n (A_i - \bar{A})(B_i - \bar{b})}{\sqrt{\sum_n (A_i - \bar{A})^2} * \sqrt{\sum_n (B_i - \bar{b})^2}}$$

soit \bar{A} la moyenne des résultats de A_i , $\bar{A} = \frac{1}{N} \cdot \sum_i A_i$

soit \bar{B} la moyenne des résultats de B_i , $\bar{B} = \frac{1}{N} \cdot \sum_i B_i$

quand aux valeurs de A_i , et de B_i captés par les deux détecteurs de droite comme de gauche D^+ et D^- , ils ne prennent que les valeurs ± 1 : $A_i = A(\lambda_i, a) = \pm 1$ et $B_i = B(\lambda_i, b) = \pm 1$

N est la taille de l'échantillon qu'on suppose représentatif de la population de paires de photons
 Cette parité confirme le caractère d'équiprobabilité (il y a tant de $+1$ que -1 dans N), ce qui implique que leurs somme est nulle , et donc les moyennes \bar{A} et \bar{B} sont nulles aussi : $\bar{A} = \bar{B} = 0$

(exemple, la 1ere ligne du tableau I : pour les P^{++} et P^{--} , 50% de $+1$ + 50% de -1 \rightarrow moyenne = $\frac{0}{N} = 0$...)

remplaçant \bar{A} et \bar{B} par 0 dans $C(a,b)$:

$$C(a, b) = \frac{\sum_n (A_i - 0)(B_i - 0)}{\sqrt{\sum_n (A_i - 0)^2} * \sqrt{\sum_n (B_i - 0)^2}}$$

$$\Rightarrow C(a, b) = \frac{\sum_n (A(\lambda_i, a) \cdot B(\lambda_i, b))}{\sqrt{\sum_n (\pm 1)^2} * \sqrt{\sum_n (\pm 1)^2}} ;$$

$$\Rightarrow C(a, b) = \frac{1}{N} \cdot \sum_n (A(\lambda_i, a) \cdot B(\lambda_i, b))$$

on considère que les variables cachés λ distribuée selon une loi de probabilité $\mathcal{P}(\lambda)$ dont sa densité est indépendante des angles d'inclinaison (a, b) .

John Bell définit $C(a,b)$ et $\mathcal{P}(\lambda)$ dans une intégrale qui , à son tour définit le domaine d'intégration des variables cachés .

$$C(a, b) = \int \mathcal{P}(\lambda) A(\lambda_i, a) B(\lambda_i, b)$$

$$\text{soit } S(a, a', b, b') = |C(a, b) - C(a, b') + C(a', b) + C(a', b')| \leq 2$$

Introduisons $\mathcal{P}(\lambda)$:

$$\begin{aligned} \rightarrow S(a, a', b, b') &= \int \mathcal{P}(\lambda) (|A(\lambda_i, a) B(\lambda_i, b) - \mathcal{P}(\lambda) A(\lambda_i, a) B(\lambda_i, b') + \mathcal{P}(\lambda) A(\lambda_i, a') B(\lambda_i, b) + \mathcal{P}(\lambda) A(\lambda_i, a') B(\lambda_i, b')|) d\lambda \leq 2 \\ &= \int \mathcal{P}(\lambda) (|A(\lambda_i, a) B(\lambda_i, b) - A(\lambda_i, a) B(\lambda_i, b') + A(\lambda_i, a') B(\lambda_i, b) + A(\lambda_i, a') B(\lambda_i, b')|) d\lambda \leq 2 \\ &= \int \mathcal{P}(\lambda) (|A(\lambda_i, a)| |B(\lambda_i, b) - B(\lambda_i, b')| + |A(\lambda_i, a')| |B(\lambda_i, b) + B(\lambda_i, b')|) d\lambda \leq 2 \end{aligned}$$

Comme $|A(\lambda_i, a)| = |B(\lambda_i, b)| = |A(\lambda_i, a')| = |B(\lambda_i, b')| = |\pm 1| = 1$

$$\begin{aligned} &= \int \mathcal{P}(\lambda) (|B(\lambda_i, b) - B(\lambda_i, b')| + |B(\lambda_i, b) + B(\lambda_i, b')|) d\lambda \leq 2 \\ &= \int \mathcal{P}(\lambda) (|1 - B(\lambda_i, b')| + |1 + B(\lambda_i, b')|) d\lambda \leq 2 \end{aligned}$$

$$\rightarrow S(a, a', b, b') = 2 \int \mathcal{P}(\lambda) d\lambda \quad \text{or la valeur maximum que peut prendre } \int \mathcal{P}(\lambda) d\lambda \quad \text{est } 1$$

$$\rightarrow S(a, a', b, b') = |C(a, b) - C(a, b') + C(a', b) + C(a', b')| \leq 2 \quad \text{CQFD .}$$

4°- PEUT-ON REFUTER L'INEGALITE DE JOHN BELL

a)- exprimons les angles du cercle en degré (360°)

- soient 4 angles $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ avec $\alpha_0 = 0^\circ$ et $\alpha_3 = \alpha_2 - \alpha_1$

- choisissons 2 angles α_1, α_2 parmi 360, soit $\binom{360}{2} = 64\ 620$ combinaisons

- en définissant les 4 inclinaisons suivantes selon le mode du tableau I:

soient $\alpha_0 = (0^\circ - 0^\circ) = (a, b)$; $\alpha_1 = (\alpha_1 - 0^\circ) = (a', b)$; $\alpha_2 = (\alpha_2 - 0^\circ) = (a, b')$; $\alpha_3 = (\alpha_2 - \alpha_1) = (a', b')$

- chaque combinaison remplit son tableau selon le mode suivi par John Bell pour ses 3 angles (0°, 22.5°, 45°)

- après calcul des corrélations (par les fonctions d'onde), nous vérifions l'inégalité de Bell

- peut-on réfuter l'inégalité de Bell si nous trouvons parmi les 64 620 combinaisons 1, en guise de contre-exemple, qui respecte l'inégalité de Bell ($S(a, a', b, b') \leq 2$) ?

b)- pour répondre à cette question, nous allons démontrer que 64 614 combinaisons violent les inégalités de Bell sauf 6 cas qui respectent les inégalités de Bell, dont nous allons démontrer de suite :

Preuve :

soit $C(a, b)$, les coefficients de corrélation (v. tableau I)

soit $S(a, a', b, b') = |C(a, b) - C(a, b') + C(a', b) + C(a', b')| \leq 2$, l'inégalité de Bell.

soit $\alpha_0 = (b - a) = 0^\circ$; $\alpha_1 = (b - a')$; $\alpha_2 = (b' - a)$; $\alpha_3 = (b' - a')$, les 4 angles d'inclinaisons des polariseurs.

$$C(a, b) = \frac{1}{2} \cos^2(0^\circ) + \frac{1}{2} \cos^2(0^\circ) - \frac{1}{2} \sin^2(0^\circ) + \frac{1}{2} \sin^2(0^\circ) = \cos^2(0^\circ) - \sin^2(0^\circ) = 1$$

$$C(a, b') = \frac{1}{2} \cos^2(\alpha_1) + \frac{1}{2} \cos^2(\alpha_1) - \frac{1}{2} \sin^2(\alpha_1) + \frac{1}{2} \sin^2(\alpha_1) = \cos^2(\alpha_1) - \sin^2(\alpha_1)$$

$$C(a, b') = \frac{1}{2} \cos^2(\alpha_2) + \frac{1}{2} \cos^2(\alpha_2) - \frac{1}{2} \sin^2(\alpha_2) + \frac{1}{2} \sin^2(\alpha_2) = \cos^2(\alpha_2) - \sin^2(\alpha_2)$$

$$C(a, b') = \frac{1}{2} \cos^2(\alpha_2 - \alpha_1) + \frac{1}{2} \cos^2(\alpha_2 - \alpha_1) - \frac{1}{2} \sin^2(\alpha_2 - \alpha_1) + \frac{1}{2} \sin^2(\alpha_2 - \alpha_1) = \cos^2(\alpha_2 - \alpha_1) - \sin^2(\alpha_2 - \alpha_1)$$

Avec $\cos^2(x) + \sin^2(x) = 1$, remplaçant $\cos^2(x)$ par $(1 - \sin^2(x))$

→

$$C(a, b) = 1$$

$$C(a, b') = 1 - 2 \sin^2(\alpha_1)$$

$$C(a, b') = 1 - 2 \sin^2(\alpha_2)$$

$$C(a, b') = 1 - 2 \sin^2(\alpha_2 - \alpha_1)$$

→

$$S(a, a', b, b') = |1 - (1 - 2 \sin^2(\alpha_2)) + (1 - 2 \sin^2(\alpha_1)) + (1 - 2 \sin^2(\alpha_2 - \alpha_1))| \leq 2$$

après simplification

$$S(a, a', b, b') = 2 |1 + (\sin^2(\alpha_2) - \sin^2(\alpha_1) - \sin^2(\alpha_2 - \alpha_1))| \leq 2 \quad (1)$$

posons $(\sin^2(\alpha_2) - \sin^2(\alpha_1) - \sin^2(\alpha_2 - \alpha_1)) = \epsilon$

$$(1) \rightarrow S(a, a', b, b') = 2 |1 + \epsilon| \leq 2$$

étudions $S(a, a', b, b') : 2 |1 + \epsilon| \leq 2$

- si $\epsilon \neq 0$ alors $2 |1 + \epsilon| > 2$ ce qui viole l'inégalité de Bell

- si $\epsilon = 0$ ou $\epsilon = -1$ alors $2 |1 + \epsilon| \leq 2$ l'inégalité de Bell est respectée :

$$\epsilon = 0 \rightarrow 2 |1 + 0| \leq 2 \text{ et si } \epsilon = -1 \text{ alors } 0 \leq 2$$

- $(\sin^2(\alpha_2) - \sin^2(\alpha_1) - \sin^2(\alpha_2 - \alpha_1)) = 0$ la fonction a 2 solutions, $\alpha_1 = \frac{\pi}{2}$; $\alpha_2 = \pi$

et $\alpha_1 = -\frac{\pi}{2}$; $\alpha_2 = \pi$ soient :

$$1) \sin^2(\pi) - \sin^2\left(\frac{\pi}{2}\right) - \sin^2\left(\frac{\pi}{2}\right) = 0$$

$$2) \sin^2(\pi) - \sin^2\left(-\frac{\pi}{2}\right) - \sin^2\left(\frac{3\pi}{2}\right) = 0$$

- $(\sin^2(\alpha_2) - \sin^2(\alpha_1) - \sin^2(\alpha_2 - \alpha_1)) = -1$ la fonction a 4 solutions, $\alpha_1 = \frac{\pi}{4}$; $\alpha_2 = \pi$

$$\alpha_1 = -\frac{\pi}{4}; \alpha_2 = \pi; \quad \alpha_1 = \frac{3\pi}{4}; \alpha_2 = \pi; \quad \alpha_1 = -\frac{3\pi}{4}; \alpha_2 = \pi$$

Soient :

$$3) \sin^2(\pi) - \sin^2\left(\frac{\pi}{4}\right) - \sin^2\left(\frac{3\pi}{4}\right) = -1$$

$$4) \sin^2(\pi) - \sin^2\left(-\frac{\pi}{4}\right) - \sin^2\left(\frac{5\pi}{4}\right) = -1$$

$$5) \sin^2(\pi) - \sin^2\left(\frac{3\pi}{4}\right) - \sin^2\left(\frac{\pi}{4}\right) = -1$$

$$6) \sin^2(\pi) - \sin^2\left(-\frac{3\pi}{4}\right) - \sin^2\left(\frac{7\pi}{4}\right) = -1$$

nous avons donc parmi les 64 620 combinaisons que nous avons en a) , 6 ci-dessus qui respectent l'inégalité de Bell , et le reste 64614 combinaisons violent l'inégalité de Bell .

tout le monde s'accorde qu'à chaque protocole expérimentale, on retrouve les résultats prédites par la MQ et les fonctions d'onde tels qu'ils sont présentés dans le tableau I pour chaque combinaison et ses quatre angles $\{\alpha_0 = 0^\circ, \alpha_1, \alpha_2 \text{ et } \alpha_3 = (\alpha_2 - \alpha_1)\}$.

(à supposer que la préparation et le montage de l'expérience d'Alain Aspect dure une journée il faudra une année du travail non-stop à 20 labo pour vérifier les 64 620 combinaisons à raison de 180 combinaison par jour)

c)- A.Tardella , l'auteur d'un article (a2) ou il réfute la démonstration de Bell, optant pour trois hypothèses ou il est question de cerner le cas de l'existence des variables cachés respectant la Localité chère à Einstein ,

1°-hypothèse, les mesures A et B dépendantes de a et b , $\mathcal{P}(\lambda)$ reste indépendante de a et b :

$$S(a,a',b,b') = \int \mathcal{P}(\lambda) (|A(\lambda_i, a, b) B(\lambda_i, a, b) - \mathcal{P}(\lambda) A(\lambda_i, a, b') B(\lambda_i, a, b') + \mathcal{P}(\lambda) A(\lambda_i, a', b) B(\lambda_i, a', b) + \mathcal{P}(\lambda) A(\lambda_i, a', b') B(\lambda_i, a', b')|) d\lambda \leq 2$$

2°-hypothèse, les mesures A et B indépendantes de a et b , $\mathcal{P}(\lambda)$ dépendante de a et b :

$$S(a,a',b,b') = \int \mathcal{P}(\lambda, a, b) (|A(\lambda_i, a) B(\lambda_i, b) - \mathcal{P}(\lambda, a, b') A(\lambda_i, a) B(\lambda_i, b') + \mathcal{P}(\lambda, a', b) A(\lambda_i, a') B(\lambda_i, b) + \mathcal{P}(\lambda, a', b') A(\lambda_i, a') B(\lambda_i, b')|) d\lambda \leq 2$$

3°-hypothèse, les mesures A et B dépendantes de a et b , $\mathcal{P}(\lambda)$ également dépendante de a et b :

$$S(a, a', b, b') = \int \mathcal{P}(\lambda, a, b) (|A(\lambda_i, a, b) B(\lambda_i, a, b) - \mathcal{P}(\lambda, a, b') A(\lambda_i, a, b') B(\lambda_i, a, b') + \mathcal{P}(\lambda, a', b) A(\lambda_i, a', b) B(\lambda_i, a', b) + \mathcal{P}(\lambda, a', b') A(\lambda_i, a', b') B(\lambda_i, a', b')|) d\lambda \leq 2$$

on voit que les termes A et B ainsi que $\mathcal{P}(\lambda)$ et $\mathcal{P}(\lambda, a, b)$ ne peuvent pas être **factorisés**, la démonstration est bloquée, donc on ne peut plus appliquer le test de l'inégalité de Bell d'où le problème d'une théorie à variables cachées locale, restait donc ouvert.

$S(a, a', b, b')$ est exprimé sous forme d'une « somme » de neuf termes disons $(P^*A^*B - P^*A^*B + P^*A^*B + P^*A^*B)$ ou P représente $\mathcal{P}(\lambda)$ ou $\mathcal{P}(\lambda, a, b)$, A et B représentent les termes des mesures en A et B

sachant $A = \pm 1$, $B = \pm 1$ et que $\mathcal{P}(\lambda)$ ou $\mathcal{P}(\lambda, a, b)$ dont les valeurs sont compris dans $[[0,1]]$

- la valeur Maximum que peut prendre $S(a, a', b, b') = (P^*A^*B - P^*A^*B + P^*A^*B + P^*A^*B)$

$$= (1*1*1 - 1*1*1 + 1*1*1 + 1*1*1) = 2$$

- la valeur Minimum ,m , que peut prendre $S(a, a', b, b')$ et $P = \epsilon$, avec $0 \leq \epsilon < 1$

$$= (\varepsilon^{*-1*-1} - \varepsilon^{*-1*-1} + \varepsilon^{*-1*-1} + \varepsilon^{*-1*-1}) = 2\varepsilon = m$$

$m \leq 2$, donc $S(a, a', b, b') \leq 2$ ce qui respecte l'inégalité de Bell .

On peut réfuter l'inégalité de Bell. Que si on démontre mathématiquement l'impossibilité de trouver une alternative à la factorisation des termes de l'intégrale une fois qu'on a introduit λ des variables cachées (Tardella) , ce n'est qu'en ce moment-là qu'on peut localiser et de lever le secret des corrélations parfaites en assistant peut être à l'effondrement des fonctions d'onde exactement comme le préconise la MQ et l'inégalité de **Heisenberg** concernant la position et la pulsion d'une particule élémentaire .

5°- QU'EN EST-IL DE L'INTRICATION PHOTONIQUE MISE DANS LES CONDITIONS DE LA RELATIVITE RESTREINTE ?

Récemment, des physiciens genevois conduits par Nicolas Gisin ont testé le dispositif expérimentale de l'intrication photonique dans des conditions de la relativité restreinte, ayant constaté que la MQ fonctionne aussi dans ces conditions.

Imaginons que l'on puisse transporter dans une fusée l'un des deux polariseurs avec ses détecteurs (polariseur et détecteurs gauche : A) , le reste du dispositif expérimentale est resté sur terre dans un labo avec bien entendu le polariseur droit et ses détecteurs : B .

la vitesse du fusée étant 90 000 kms / s. la vitesse de la lumière $C = 299792.458$ kms/s .
soient :

- t le temps que durait l'expérience au labo, dans le référentiel B , et plus précisément le temps du vol ,du photon ,qui s'écoule entre la sortie de la Source et le polariseur B (20. nano s)
- t' le temps qui s'écoulé dans le référentiel A , (la fusée).

d'après la transformation du Lorenz, nous avons la formule qui donne t' en fonction de t :

$$t' = t \cdot \sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}$$

$t = 20$ nano s

$$t' = 20 \cdot \sqrt{1 - \frac{90000^2}{(299792.458)^2}}$$

Soit $t' = 19.078$ nano s.

Dans les conditions normales, le photon qui part à droite vers le polariseur B met 20 nano s. également le polariseur gauche A détecte simultanément à cette instant (20 nano s) l'arrivée du photon intriqué

Pour un observateur situé au fusée il ne s'apercevra pas du complot à venir que pourrait concocter le photon A d'un laps du temps fournit par la perturbation de la simultanéité (dû à la relativité restreinte) en effet si le photon B ,au bout de 20 nano s. proclame +1 , il s'attendra à ce que , de l'autre côté , le photon A marque aussi +1 , mais le photon A , au bout de 19.078 nano s., connaît déjà la réponse choisi par le photon B , il profitera donc de ce laps du temps (20-19.078= 0.922 n.s) pour opter pour un choix contraire (- 1) ainsi il perturbera les corrélations parfaites de la MQ .seulement pour effectuer ce choix dans ce laps du

temps ,le photon A prendra du retard et sa réponse (-1) ne devra arriver qu'au bout de $(19.078 +r)$ n s ($0 < r < 0.922$ n s) , ça sera trop tard car l'observateur au bord de la fusée aura déjà noté à 20 n.s (ou 19.078 ns pour un observateur resté sur terre). la réponse du détecteur A ,qui respecte l'intrication ,à savoir +1 .

L'expérience de « pensées » démontre **que le photon ne possède pas en lui-même les moyens propres pour changer la polarisation** .comme le confirme les expériences du groupe de Nicolas Gisin .

C'est pas seulement ce que possède le photon, ne peut le transmettre au-delà de la vitesse de lumière qui est en même temps la vitesse des photons, constante , et qu'on ne peut pas retarder.

C'est qu'il n'en possède pas les moyens propres pour changer la polarisation. Ce qui va dans le sens de l'inexistence d'une théorie de variables « cachés »non Locale.

6°- DE L'INTRICATION A LA TELEDEPORTATION

Partant du principe que quand on fait réagir un troisième photon avec l'un de deux photons A et B intriqués, celui se trouve téléporté du côté A vers le photon B indépendamment de la distance AB , expérience déjà réalisée par les physiciens selon Anton vos. ceci reste possible dans le cas du photon à mon avis , ça doit être possible aussi pour une particule ponctuelle qui présente les mêmes propriétés qu'un photon , à savoir un diamètre nul (un point) ,une masse nulle ,une charge nulle et un spin égale à 1.

voyons maintenant si on pouvait envisager ces propriétés pour un être humain de 75 kg enfermé dans une sphère d'un diamètre d .

1°- propriété : diamètre nul

si on met l'être humain dans des conditions de la relativité restreinte, dans un référentiel muni d'une vitesse V égale à celle de la lumière C. en appliquant la formule de transformation de Lorenz ci-dessous, le diamètre de la sphère ou est enfermé l'individu s'annule (d') , il sera de la taille d'un photon

$$d' = d \cdot \sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}} \quad \text{avec } v=C \quad \rightarrow \quad d' = 0$$

Seulement il y a un problème, sa masse grandit infiniment quand on applique la formule de Lorenz

$$m' = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}} \quad , \quad m' \text{ est la masse de la sphère dans le nouveau référentiel , } m \text{ sa masse initial local.}$$

si $V=C \quad \rightarrow \quad m' = \text{infini !}$

2°-propriété : masse = 0

les corpuscules ont acquis leurs masse à la 10^{-35} s . du Big Bang , quand l'univers sera traversé par le champ de Higgs transmettant la masse à la matière par le biais du boson de Higgs.

si on imagine l'existence d'un « anti-boson de Higgs » produit par une source quelconque ,qui aura pour mission de « déshabiller » la corpuscule de sa masse , dans ce cas notre sphère qui renferme l'individu , rendue par la relativité restreinte à une dimension d'un corpuscule , d'un diamètre égale à « zéro » sera de masse nulle comme un photon .

3°-propriété : charge électrique nulle

on suppose aussi du fait de la concentration d'un corps de 75 k dans un corpuscule, qu'au plus, sa dimension sera proche d'un atome d'hydrogène, le plus simple élément et premier apparu durant la période d'inflation du big bang (10^{-3} s) ; on suppose donc que notre corpuscule aura une charge électrique analogue à celle d'un atome d'hydrogène, étant constitué d'un proton et d'un électron ce qui donne une charge neutre, voire nulle.

4° propriété : Spin = 1

en supposant qu'un corps de 75 k est constitué uniquement d'atomes, intéressant nous aux Spins de ses constituants à savoir les spins des électrons, les protons et les neutrons

- le spin d'un électron peut être de $+\frac{1}{2}$ ou $-\frac{1}{2}$ (1)

- le spin d'un proton est de $\frac{1}{2}$ (2)

- le spin d'un neutron est de $\frac{1}{2}$ (3)

Soit S, la « somme » des spins de l'atome : $S = (1) + (2) + (3)$

$$S = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2}\right) + \left(\frac{1}{2}\right) + \left(\frac{1}{2}\right) = 1$$

on voit bien que le spin de notre corpuscule est le même que celui d'un photon et égale à 1.

Notre corpuscule, grâce à l'avènement de ces quatre propriétés que nous avons énuméré, sera analogue au photon, ce dernier pourrait accepter son visa d'avoir une interaction avec lui pour qu'il soit téléporté au deuxième photon intriqué.

Une fois la téléportation réussie à l'autre bout de l'espace notre individu n'a pas besoin de retrouver sa taille normale parce que pour un observateur placé à côté de lui, ils ne vivront pas ce changement, pour eux rien n'a changé. la même chose pour la masse, notre individu n'a pas besoin de retrouver sa masse de 75 kg, car celle-ci, ne lui sera indispensable que si il aura à se déplacer dans l'espace-temps, étant donné que c'est la masse qui déforme l'espace-temps pour tracer ses chemins et « autoroutes » pour que notre individu se déplace par rapport à d'autres masses environnantes il acquiert une liberté jusqu'au point du retour pour entamer la téléportation inverse vers le point de départ, dans ce cas notre individu interagira avec le même photon du départ, ou avec une autre paire de photons intriqués soit à l'endroit d'où il est venu, ou bien vers d'autres endroits de l'espace-temps selon ses choix tant qu'il pourra « acquérir » un ticket pour effectuer la téléportation, à toute endroits de l'espace-temps, y compris celui d'où il est parti au début de l'expérience.

pour conclure, j'aimerais introduire un événement historique célébré par les musulmans le jour 27 du mois de Rajab de chaque année, l'Isra' et le Mi'raj :

L'Isra' est, pour les musulmans, le voyage nocturne du prophète Mohamed (s.s) de La Mecque à Jérusalem. Il est suivi par le Mi'raj, moment où, selon la tradition musulmane, Mohamed (s.s) est monté aux sept cieux en compagnie de l'ange Gabriel (a.s) sur une monture appelée Bouraq.

j'avais essayé de voir si on pouvait expliquer ce voyage par la relativité restreinte, et je me suis arrêté quand j'ai calculé la vitesse du référentiel dans lequel devrait se trouver notre prophète Mohamed (s.s) cette vitesse ne devait pas dépasser, selon la relativité, celle de la lumière, dont voici un extrait de l'article (a3) :

lumière , le volume , le temps s'annulent dans un point matériel de masse infini , qui pour un observateur situé en dehors de tous ces référentiels , dont son intuition ébranlée puis atténuée quand il constatera en se posant la question comment se fait –il qu'à la vitesse de la lumière, l'espace-temps sera enfermé dans un point de singularité avec une masse infini , ce point –se rappelle-t-il – est similaire du point –zéro du Big-bang .

puis dès les années vingt , c'est l'avènement de la MQ ou l'observation devient probabiliste , plus question de connaître ,par exemple, avec précision la vitesse et la position d'une particule élémentaire simultanément c'est soit l'une , soit l'autre car elle doivent satisfaire les contraintes de l'inégalité de Heisenberg qui stipule que la précision certaine de la position implique automatiquement l'imprécision certaine de la vitesse ,voir l'impossibilité de la détecter , comme si l'observateur n'a qu'un seul choix à faire pour orienter sa conscience ,c'est soit vers la quantité du mouvement (la vitesse),soit vers la position de la particule .

* والله أعلم *

références :

thèse doc. Alain suspect (1 .02.1983)

<https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00011844/document>

a1 :par Jens Kröger

http://feynman.phy.ulaval.ca/marleau/pp/03epr/epr_2/epr_2.html

a2 : par A.Tardella

<https://www.ultraphylum.fr/refutation-du-theoreme-de-bell/>

https://drive.google.com/file/d/1p5VVGRViLDK0WKCM4N_MRiX9epHHLpnb/view

a3 :par M.Berkouk

<https://vixra.org/pdf/2010.0001v1.pdf>

BERKOUK Mohamed , le 22.11.2022