

من مبرهنة الاستحالة لفان نيومان إلى التشابك الكمومي (1)

مفارقة "أب ر" (EPR) والمتغيرات الخفية

جمال ضو

أستاذ بقسم الفيزياء، كلية العلوم الدقيقة، جامعة الشهيد حمه لخضر، الوادي

مقدمة

بعد قرن تقريبا من ظهور ميكانيكا الكم، كنظرية علمية تتحكم في العالم الذري، لا يزال هذا العلم محاطا بنفس التساؤلات الوجودية التفسيرية التي صاحبت نشأته. فبالرغم من أن هذه النظرية استطاعت عبر قرن من الزمن أن تجتاز جميع الاختبارات التجريبية العملية وتثبت تماسكها الرياضياتي - بل جمالها وتناسقها إلى درجة قاربت الكمال الرياضياتي - فلم يزعم أحد من العلماء حتى اليوم أننا نمتلك إدراكا كاملا لحقيقة الظواهر الكمومية، أو أننا نمتلك تفسيرا متكاملًا للعالم الكمومي. فكما قال ريتشارد فايمان Feynman في محاضرة شهيرة ألقاها في جامعة "كالتيك" (Caltech) بكاليفورنيا: "أستطيع القول بأمان أن لا أحد يفهم ميكانيكا الكم!"

إن مسألة تفسير ميكانيكا الكم ليست مجرد إشكالية فلسفية أو ميتافيزيقية كما قد يتصور البعض. فلقد تبين مع تطور فهمنا للنظرية الكمومية والنسبية العامة أننا أمام إشكالية وجودية تقف حاجزا أمام فهمنا للطبيعة بأبعادها المختلفة، وربما أمام مفهوم الوجود والحقيقة والمعرفة مجتمعة.

إن الهدف من هذه المقالة ليس النقاش الفلسفي الذي كثيرا ما يستهوي البعض، ولكن الغاية منه هي تقديم سرد تاريخي علمي وموجز ومبسط قدر الإمكان لبعض المنعرجات البارزة التي نقلت النقاش حول تفسير ميكانيكا الكم إلى مرحلة معرفية موضوعية مختلفة عن تلك التي سادت من بدايات الثلاثينيات إلى بدايات الستينيات من القرن العشرين. ومن خلال هذا السرد سنأتي على قصة ذات دلالة مهمة، إذ إنها تعكس كيف أن بعض المسلّمات التي قد تبدو بديهية من منطلقات رياضياتية وفيزيائية -وتصدر عن عالم ذي قامة علمية كبيرة مثل فان نيومان Von Neumann- شوشت النقاش العلمي ووقفت حاجزا أمام كثير من العلماء. ذلك أن العديد منهم اعتبروا أن المسألة حُسمت رياضياتيا وتجنبوا، خلال دراساتهم ومحاولاتهم لإيجاد تفسيرات لميكانيكا الكم، العودة إلى مناقشة هذه المسألة ومناقشة مدى حجيتها. وقد تطلب الأمر مزيد من ثلاثة عقود حتى يكشف العالم والفيزيائي النظري الشهير جون بيل Bell مكنم الخطأ في مبرهنة فان نيومان. والواقع أن هذا هو الشائع بين عامة الفيزيائيين، ولكننا سنأتي في الجزء الثاني من المقالة على ذكر معلومة تاريخية ضاعت وسط ركام سطوة مدرسة كوبنهاجن.

نشير إلى أن المهم في هذه المقالة ليس تقديم قراءة تاريخية لتطور تفسير ميكانيكا الكم. فالكاتب ليس مختصا في تاريخ العلوم ولا يمكنه أن يقوم بهذه المهمة. كما أن الغرض ليس مساهمة في النقاش الفلسفي والفكري المحيط بالموضوع، إذ لا نعتقد أن النقاش الفلسفي سيساهم بقوة في يوم من الأيام في حلّ هذه المعضلة أو حسم النقاش. ولكن الهدف الرئيس هو فتح أعين الطلبة والقراء المهتمين من غير العارفين بهذه القضايا على مسائل تستحق الاطلاع حتى يدرك هؤلاء جانبا آخر لنظرية الكم. إنها نظرية تُعتبر من أعظم إنجازات العقل البشري وأكثرها غموضا في آن واحد.

نشير إلى أنه ونظرا لعدم إمكانية الاحاطة بالموضوع في مقالة واحدة، بحسب الحجم المسموح به في المجلة، فإننا اخترنا أن نعرض الموضوع في جزئين. كما ارتأينا أن نذكر بأهم المفاهيم الفيزيائية الأساسية التي قد يحتاج إليها القارئ ذو الخلفية العلمية وغير المتخصص في الفيزياء حتى يتسنى له فهم الأفكار الأساسية لهذه المسألة والإشكاليات العلمية المحيطة بها.

1. الضروري من الزاد في ميكانيكا الكم

يقوم ميكانيكا الكم على عدد من المسلّمات الأساسية. لن نتطرق هنا إلى كل هذه المسلّمات ومناقشتها، ولكن سنكتفي بالإشارة إلى ما يهمنا في سياق نقاش القضية التي نحن بصددتها:

وصف حالة نظام كمي (لنتصوره جسيما مثلا، إلكترون) يكون بإعطاء دالة تُعرف بدالة الحالة ψ ، والتي هي في الحقيقة عبارة عن شعاع من فضاء هيلبرتي. لتبسيط الفكرة يمكن اعتبار هذا الفضاء مجرد فضاء شعاعي مركب

(عُقدِي) بعده d مزود بالجداء السلمي المعتاد: إذا كان $\psi = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_d \end{pmatrix}$ و $\varphi = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_d \end{pmatrix}$ شعاعين من هذا

الفضاء فإن جداءهما السلمي هو $(\varphi, \psi) = \sum_i b_i^* a_i$ حيث يرمز b_i^* للمرافق المركب لـ b_i .

- بالإضافة إلى دالة الحالة فإن كل نظام كمي أو جسيم يمتلك عددا من الكميات الفيزيائية المرفقة به والقابلة للقياس، (موضع، طاقة، عزم حركي، إلخ). في ميكانيكا الكم، تعرف هذه الكميات بالملاحظات (Observables)، أي كميات قابلة للقياس. يرفق بكل مُلاحَظ مؤثر خطي هرميتي على فضاء هيلبرتي. للتبسيط أيضا يمكن تصوّر أن هذه المؤثرات مصفوفات هرميتية.
- معرفة دالة حالة النظام لا تمكّننا بشكل عام من التنبؤ بنتائج قياس، أي من هذه الملاحظات، ولكنها تزودنا فقط باحتمال الحصول على قيمة ما إذا ما قمنا بعملية القياس. نتائج القياس هي إحدى القيم الذاتية لهذا المؤثر (المصفوفة).
- فمن أجل ملاحظ كيفية A بقيم ذاتية $\{a_i\}$ ، معرفة دالة الحالة للنظام ψ تكفي لحساب احتمال الحصول على القيم المختلفة $\{P_i\}$. ومنه يمكن حساب القيمة المتوسطة للملاحظ بالشكل المعروف.
- إذا كانت حالة النظام عند لحظة ما هي ψ ، وقمنا بقياس ملاحظ A وحصلنا على قيمة a ، فإن حالة النظام بعد القياس مباشرة هي الشعاع الذاتي للملاحظ A المرفق بالقيمة الذاتية a . للتبسيط، افترضنا هنا أن القيمة بسيطة وغير منحلّة (غير مكررة). تعرف هذه الظاهرة بانهياب دالة الحالة.

الأمر المهم الآخر الذي تجدر الإشارة إليه هنا، كنتيجة لما سبق، هو أن كل ملاحظين فيزيائيين A و B مثلا، غير متبادلين (أي أن المؤثرين المرفقين بهما غير متبادلين $AB - BA \neq 0$) لا يمكن قياسهما في آن واحد. نشير إلى أنه قد نتمكّن من ذلك أحيانا من أجل بعض القيم الذاتية ولكنه لا يمكن القيام بالقياس مع كل القيم بشكل عام. بعبارة أخرى، إنه لا يمكن القيام بتجربة فيزيائية تمكّننا من الحصول على نتيجة دقيقة للملاحظين A و B في نفس الوقت. هنا يمكن للطالب أن يتذكر مبدأ هايزنبرغ الشهير للارتباب أو عدم اليقين.

2. تجربة ومفارقة "أب ر" (EPR)

دعنا أولاً نقف وقفة قصيرة لنلخص المشهد الذي عرضناها في الأعلى. في ميكانيكا الكم معرفة دالة الحالة تعطينا معلومات احصائية عن نتائج القياس، ولا تمكننا من التنبؤ بنتائج القياس لكل الملاحظات الفيزيائية المرفقة بالنظام. كما أنه لا يمكن بأي حال من الأحوال أن نتكهن من قياس ملاحظين غير متبادلين حتى لو علمنا دالة الحالة للنظام في تلك اللحظة.

من ناحية أخرى، إذا كانت حالة النظام عبارة عن تركيبة خطية بين حالتين ψ_1 و ψ_2 ، مثلاً

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_1 + \psi_2) \quad (1)$$

فإنه لا يمكن بأي حال من الأحوال القول إن النظام يوجد في الحالة الأولى أو الثانية، بل كل ما يمكن قوله إنه إذا قمنا بتجربة لمعرفة ذلك فإن احتمال أن نجد النظام في الحالة الأولى هو نصف، واحتمال أن نجده في الحالة الثانية نصف. وبمجرد أن نقوم بالقياس ونجد الحالة الأولى أو الثانية فإن دالة الحالة للنظام تتحوّل (تنهار) إلى تلك الحالة التي وجدناها. أما قبل عملية القياس فيعتبر من الخطأ أن نقول إن النظام موجود في الحالة الأولى أو الثانية.

هذه التفسير الذي يعتبر إلى حد كبير متناسفا رياضياتيا وتجريبيا، يعرف بوجهة النظر المحافظة، أو بتفسير مدرسة كوبنهاجن أو بور Bohr (ليس مهما هنا الخوض في كثير من التعقيدات والتفاصيل والنقاشات المحيطة بطبيعة هذا التفسير ومدارسه الفرعية أو تفسير تفسيراته).

لا شك في أن الذي اطلع على تاريخ نشأة ميكانيكا الكم يكون قد قرأ عن تلك النقاشات والحوارات الشهيرة التي دارت بين أينشتاين وبور حول مبادئ ميكانيكا الكم: كان بور يرى أن ميكانيكا الكم يعتبر نظرية كاملة وغير متناقضة بأي شكل من الأشكال معرفيا ووجوديا، بينما كان أينشتاين يرى أن النظرية الكمومية مجرد خطوة غير مكتملة، وتتضمن تناقضات داخلية.

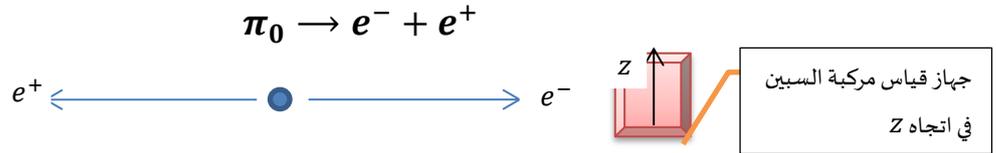
في هذه النقاشات، كانت الغلبة فيها دائما لبور حيث دحض كل حجج أينشتاين والتجارب الذهنية التي قدمها ليثبت بها تناقض مسلمات الكم (خاصة ما تعلق منها بعدم إمكانية قياس ملاحظين غير متبادلين في آن واحد). ولكن في سنة 1935 كتب أينشتاين رفقة عالمين آخرين، هما بودولسكي Podolsky وروزن Rosen، مقالة علمية قدموا فيها تجربة تصورية أو ذهنية (عمليا قابلة للإجراء، أصبحت تعرف بتجربة أو مفارقة "أب ر" EPR).

لقد بين هؤلاء العلماء في بحثهم أن النظرية الكمومية بشكلها الحالي لا يمكن أن تقدم وصفا مكتملا للحقيقة الفيزيائية، بل إن ظاهر تفسير تجربتهم يؤدي إلى إمكانية قياس ملاحظين غير متبادلين في نفس الوقت، وكذا إمكانية معرفة حالة نظام من دون قياسها. وهذا بالرغم من أنها كانت حالة مزيج خطي بين حالتين قبل القياس من شكل المعادلة (1)، خلافا لما تنصّ عليه أساسيات النظرية الكمومية كما أشرنا أعلاه. الأعلى. نشير إلى أن هذه التجربة التصورية والمقدمات والمعايير التي وضعها العلماء الثلاثة أينشتاين و بودولسكي وروزن لمفهوم الحقيقة الفيزيائية ربطت تفسيرات ميكانيكا الكم بمبادئ فيزيائية أساسية كالمحلية (locality) والسببية، مثلما سيتبين لاحقا.

تجدد الإشارة هنا إلى أن الثلاثي "أب ر" لم يناقشوا تفسير ميكانيكا الكم وتجربتهم إلا بعد أن وضعوا مجموعة من المعايير التي تحدد معنى الحقيقة الفيزيائية وما المقصود بنظرية فيزيائية متكاملة. لن نتعرض هنا إلى هذه المعايير، ولا إلى الجدل الذي أثير حولها لأن تبعات هذه المفارقة وما أفرزته -بصرف النظر عن الإشكاليات التي قد تعتبر فلسفية- باقية مهما كانت الاعتبارات والمنطلقات الفلسفية التي لا يبدو أنها ستحسم النقاش في يوم من

الأيام. والقارئ الذي يرغب في الاطلاع على هذه المعايير ونقاشها يمكن أن يعود إلى المقالة الأصلية للثلاثي "آب ر" أو أن يطلع على ما جاء في كتاب بوم Bohm، فهو أبسط وأكثر وضوحا خاصة بالنسبة للطلبة، والمصدران المذكوران ضمن قائمة المراجع.

يمكن تقديم مفارقة أو تجربة "آب ر" باختصار عبر نسخة معدلة وأكثر وضوحا وقابلية للتعامل تجريبيا من النسخة الأصلية التي ظهرت في مقالة المؤلفين "آب ر". تُعرف هذه النسخة المعدلة بنسخة بوم. لنتصور أن لدينا جسيما (π_0 مثلا- البايون) يتحلل أو يتفكك، في وضع السكون، إلى جسيمين، إلكترون (e^-) وبوزيترون (e^+).



يمثل الشكل أعلاه مشهدا مبسطا لما يحدث. حيث أنه في لحظة ما ينقسم الجسيم π_0 ، ويتجه الإلكترون نحو جهة والبوزيترون نحو الجهة المعاكسة، وذلك بسبب إنحفاظ الدفع الخطي أو كمية الحركة. ومن ناحية أخرى وبسبب إنحفاظ العزم الحركي وكون البايون لا يمتلك عزما حركيا ذاتيا، أي أن له سبين (spin) صفر- فإن الحالة النهائية المكونة من إلكترون وبوزيترون يجب أن تكون أيضا حالة بسبين صفر. وبما أن الإلكترون والبوزيترون كلاهما يملكان سبين نصف ($\frac{1}{2}$) فإن الحالة النهائية يجب أن تكون من الشكل التالي:

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{2}} [\psi_+(e^-) \psi_-(e^+) - \psi_-(e^-) \psi_+(e^+)]. \quad (2)$$

الحالة $\psi_+(e^-)$ تعني أن سبين الإلكترون في اتجاه ما (ليكن Z) هو $+\frac{1}{2}$ أو باختصار +، والحالة $\psi_-(e^+)$ تعني أن سبين الإلكترون في اتجاه Z هو $-\frac{1}{2}$ أو - . ونفس الشيء بالنسبة للبوزيترون.

الآن، ماذا تعني الحالة المعطاة بالمعادلة (2) من الناحية التجريبية؟

بحسب قواعد ميكانيكا الكم (التي اثبت صحتها تجريبيا) فإننا إذا قمنا بوضع جهاز لقياس مركبة السبين للإلكترون في اتجاه ما فإننا سنجد إما + أو - كما أشرنا أعلاه. لكن الأهم من ذلك هنا أنه إذا حصلنا على نتيجة موجبة + فإن أي عملية قياس لمركبة السبين نفسها للبوزيترون ستعطي حتما قيمة، والعكس صحيح. هذا يعني أن ميكانيكا الكم لا يحدد لك حالة السبين لأي من الجسيمين سلفا، ولكن يخبرك أن عمليات القياس ستكون مترابطة ترابطا وثيقا ودقيقا.

قد يبدو للوهلة الأولى أن لا شيء غير عادي يحدث هنا. وقد يشبه أحدهم المسألة بشخص لديه صندوق فيه قريصتان، واحدة سوداء والأخرى بيضاء، وقام بإخراج القريصتين، ووضع كل واحدة منهما في صندوق وأغلق عليهما، وأعطى صندوقا لأحمد وصندوقا آخر لعلي، وأفترق أحمد عن علي. صحيح أن أحمد لا يعلم ما في صندوقه ولا ما في صندوق علي، ولكن بمجرد أن يفتح أحمد صندوقه ويتعرف على لون القريصة التي في صندوقه فسيعلم مباشرة وعلى وجه اليقين أيضا لون القريصة الموجودة في صندوق علي من دون فتح صندوق هذا الأخير. ولا يبدو في هذا أي مشكل!

لكن لتتوقف لحظة، لأن التشبيه بالقريصات والصناديق غير صحيح في سياق ميكانيكا الكم. الإلكترون والبوزيترون الناتجان عن تحلل البايون اتجه كل واحد منهما في اتجاه وابتعدا عن بعضهما. وإذا قمنا بقياس مركبة سبين الإلكترون، $S_z(e^-)$ ، مثلا، وحصلنا على نتيجة موجبة فإننا لا نحتاج عمليا لقياس مركبة سبين البروزيترون $S_z(e^+)$ ، بل بمجرد حصولنا على نتيجة موجبة للإلكترون فإننا نعلم يقينا أن نتيجة القياس لسبين البروزيترون ستكون حتما سالبة، والعكس صحيح، وهو ما يناقض التفسير المحافظ. فحالة سبين البوزيترون لم تكن معلومة قبل القياس، ولكن بقياس سبين الإلكترون البعيد والمنفصل عنه (مسافات تصل إلى ما نشاء) أمكن معرفة نتيجة القياس من دون إجراء أي عملية القياس على البوزيترون. يعني ذلك بحسب "آب ر" أن سبين البوزيترون كان محددًا سلفًا بعكس التفسير المحافظ، أو أن عملية قياس سبين الإلكترون أثرت بشكل آني ومباشر على حالة سبين البوزيترون وجعلت حالته تنتقل أنيا إلى الحالة المعاكسة، وهو ما يعكس عدم محلية النظرية الكمية، أي إمكانية التأثير عن بعد بسرعة أكبر من سرعة الضوء. وفي كلتا الحالتين فإن ميكانيكا الكم بشكله الحالي وفي ظل التفسير المحافظ في مأزق.

هذه التجربة أو المفارقة تضع ظاهريا تفسير ميكانيكا الكم وقواعده أمام تحدٍ أكبر ذي صلة بالإشكالية السابقة. فلقد أشرنا أنفا إلى أنه لا يمكن قياس ملاحظين غير متبادلين في آن واحد، ولكن هذه التجربة تشير إلى أن هذا ممكن: بما أنه بقياس سبين الإلكترون يمكن معرفة اتجاه سبين البوزيترون فيمكن أن نقيس سبين الإلكترون من ناحية لنعرف سبين البوزيترون في اتجاه Z ، ثم نضع جهاز قياس أمام البوزيترون المركبة مثلا لسبين البوزيترون ونعرف قيمتها. ومن ثم نكون قد قسنا ملاحظين غير متبادلين في آن واحد S_z و S_x . وكما هو معلوم لدى طلبة الفيزياء فإن هذين الملاحظين لا يتبادلان. نشير هنا إلى أن عملية قياس S_z تحتاج عادة إلى إجراء تجربة مختلفة عن التجربة التي يمكن بها قياس S_x ، وإذا قمنا بقياس S_z وحصلنا على قيمة معينة فإن التجربة الموالية لقياس S_x تدمر المعلومات التي حصلنا عليها بخصوص المركبة S_z .

دعنا نلخص أهم دلالات تجربة "آب ر". أولا، فإن عملية قياس سبين الإلكترون التي جعلتنا عمليا نعرف حالة البوزيترون بشكل يقيني تشير إلى عملية تأثير عن بعد غريبة جدا. فكيف لتجربة أجريت على جسم ما يبعد مسافات كبيرة (كبيرة بالقدر الذي نريد) تؤدي إلى تحديد أو انهيار دالة الحالة لجسيم آخر (البوزيترون) وتحديد نتيجة قياس مركبة السبين مسبقا حتى وإن لم نقم بها؟ أطلق أينشتاين على هذه الظاهرة اسم "التأثير الشبحي عن بعد". وهذا ما يناقض مبدأ المحلية، والذي ينص في أحد نسخه على أنه لا يمكن لأي تأثير فيزيائي أن ينتقل بشكل آني، كما لا يمكن لأي تأثير أن ينتقل بسرعة تفوق سرعة الضوء. ثم إن الانتقال الفيزيائي بسرعة أكبر من سرعة الضوء يؤدي إلى خرق مبدأ السببية مثلما هو معلوم في النسبية الخاصة. في الحقيقة، يمكن البرهان على أنه لا يوجد في هذه التجربة بالذات انتقال حقيقي ومادي بسرعة تفوق سرعة الضوء بشكل يمكن أن يخرق مبدأ السببية (انظر المناقشة المبسطة الواردة في المرجع 5).

أما الدلالة البديلة فهي القبول بكون أن حالة السبين كانت محددة سلفا، وتمثل حقيقة فيزيائية، وأن القصور يكمن في كون دالة الحالة لا تعطي كافة المعلومات حول النظام الكمي. تجدر الإشارة إليه هنا إلى أن أينشتاين وبودلوسكي وروزن لا يقولون بخطأ ميكانيكا الكم، كما لم يصعدوا شكوكا حول ذلك، بل هدفهم الرئيس ومحور فكرتهم أن ميكانيكا الكم بشكله الحالي لا يمكن إلا أن يقدم وصفا غير مكتمل للحقيقة الفيزيائية.

لن نخوض في النقاشات الفلسفية والفكرية التي أحاطت بهذه المفارقة وهذه التجربة، ولكن نشير إلى أن بور قام بكتابة رد سريع على ما ورد في هذه المقالة يمكن للقارئ أن يطلع عليه في المرجع 3. والأهم بالنسبة لنا هو التبعات الفيزيائية والعملية لهذه التجربة الذهنية التي تبين أنها عميقة جدا وذات أبعاد وتبعات تتجاوز توقعات العلماء الثلاثة الذين اقترحوها .

3. المتغيرات الخفية

كما أشرنا أعلاه فلا أحد يمكنه أن يشكك في صحة ميكانيكا الكم، على الأقل كسلسلة أو مجموعة من الأدوات الرياضية المتماسكة والقادرة على التنبؤ بالنتائج التجريبية وتفسير العالم الذري. ولم يظهر لحد اليوم تناقض تجريبي لهذه النظرية. ولهذا، وفي محاولة للتوفيق بين التساؤلات أو التناقضات التي طرحتها تجربة "آب ر" وميكانيكا الكم، كان من الطبيعي أن يقترح عدد من العلماء المهتمين بتفسير ميكانيكا الكم حلولاً لهذه المعضلة، مقترحات وتصورات تحل هذه الإشكاليات التي تحيط بميكانيكا الكم القائم. وذلك من دون الإخلال بنجاحات هذا العلم في تفسير العالم الذري. ومن بين أشهر التصورات أو الحلول التي تم اقتراحها فكرة "المتغيرات الخفية". قبل التطرق لفكرة المتغيرات الخفية تجدر الإشارة إلى أن الأغلبية الساحقة للعلماء في الفيزياء انشغلوا بتطبيق ميكانيكا الكم على العالم الذري بأدواته الرياضية وتفسيراته المحافظة تقريبا دون الالتفات كثيرا لهذه التساؤلات، أو ما يسمى أحيانا بطريقة: "أحسب وأصمت".

يقوم تصور وجود متغيرات خفية على الفكرة الفيزيائية والرياضية التالية:

في ميكانيكا الكم، تمثل دالة الحالة المصدر الرئيس والمحوري للمعلومات حول النظام الكمومي، ومنها يمكن استقاء جميع المعلومات الممكنة حول النظام، والتي هي عبارة عن احتمال الحصول على نتائج قياس كافة الملاحظات المرفقة بالنظام، ومنه القيم المتوسطة لهذه الملاحظات، إلخ.

الآن، لتصور أن دالة الحالة ليست هي نهاية القصة بل هي مجرد تعبير عن جهلنا أو عدم قدرتنا على التعامل مع العالم الذري، وأن هناك متغيرات أخرى قادرة على تحديد ووصف العالم الكمي بشكل كامل وقييني، وهذا بشكل شبيه بما يحدث في الميكانيكا الاحصائية الكلاسيكي (أو لنقل النظرية الحركية للغازات). ففي ميكانيكا الاحصاء الكلاسيكي نستعمل الاحتمالات والاحصاء لدراسة سلوك الغازات مثلا، ولكن هذا لا يعكس أي سلوك احتمالي أصيل للذرات، فحركة الذرات منفردة تحكمها قوانين نيوتن اليقينية وليس الاحتمالات. بل الاحتمالات تمثل ظاهرة ناشئة عن عدم قدرتنا على التحكم العملي في سلوك الذرات بسبب عددها الكبير جدا وعشوائية حركتها إلى حد كبير، والذي يدفعنا إلى استعمال كمية أخرى هي متوسط الحركة العامة للذرات (دالة الكثافة في فضاء الطور مثلا).

تعتبر المتغيرات الخفية عن افتراض وجود دالة حالة أخرى هي "غير مبددة" (dispersion-free state)، والقصد هنا أن الحالة لا تتبدد (لا تضعيع) فيها أي معلومات حول النظام. الشرط الأساس الذي يجب أن تحققه هذه الحالة غير المبددة هو أن تقدم تفسيراً موضوعياً وواقعياً لنتائج ميكانيكا الكم؛ وتسترجع محلية الظواهر الفيزيائية التي يبدو أن تفسير ميكانيكا الكم قد ضيعها إذا ما أخذنا بنتائج تجربة "آب ر" ودلالاتها كما هي.

في الحقيقة، تعكس إمكانية وجود متغيرات خفية عدم كمال الوصف الكمي، وقد جذبت إليها عددا من العلماء المهتمين بتفسيرات ميكانيكا الكم، بينما كانت هناك فئة أخرى من العلماء ترى بأن هذه المسألة تمّ البتّ فيها من قبل فان نيومان الذي أثبت استحالة وجود مثل هذه المتغيرات الخفية أو الحالات غير المبددة، ومنه فإن ميكانيكا الكم نظرية كاملة وأن أي نظريات تعتمد على متغيرات خفية ستكون لها بنية مختلفة بشكل رئيس عن ميكانيكا

الكم، وهذا ما يدفعنا إلى الحديث عن مبرهنة الاستحالة لفان نيومان والتي أسالت كثيرا من الحبر بعد عقود عديدة من ظهورها.
ستكون مبرهنة الاستحالة لفان نيومان وتبعاتها ومتراجحة بيل Bell موضوع الجزء الثاني من هذه المقالة إن شاء الله.

المراجع

1. J. Bell : Speakable and unspeakable in quantum mechanics. Cambridge Univ. Press, Cambridge, (1987).
2. D. Bohm : Quantum Theory, Dover Pub.Inc, New York, Edition 1989, (Chapter 22).
3. N. Bohr (1935-10-13): Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?, Physical Review. 48 (8): 696–702.
4. A. Einstein; B. Podolsky; N. Rosen (1935-05-15) : Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?, Physical Review. 47 (10): 777–780.
5. D. Griffiths : Introduction to quantum mechanics, Prentice Hall,1995.