العالم الميكروسكوبي بين الصدفة و النظام

الدكتور:محمد تونسي
جامعة عمار ثليجي الاغواط –الجزائر
البريد الالكتروني: Tounsimod@gmail.com

ملخص المقال:

إن الفكرة القائلة أن الظواهر الكمومية في طبيعتها فوضوية و لا يمكن تفسيرها إلا بالاحتمالات، أدى إلى جدال كبير دار بين فيزيائي القرن العشرين، خاصة بين نيلز بور وألبرت أينشتاين ، هذا الاختلاف في الخلفية الفلسفية أعطى دفعا للجدل الذي لا زال مستمرا لحد اليوم، لقد دافع بور و و أنصاره عن فكرة أصالة اللاحتمية في العالم الكوانتي ، فهي ليست تبريرا لجهلنا ،بل هي جزء من تركيبة العالم الذري،كما أن القول باللاحتمية لا يعود إلى عجز وسائل التجريب ،إذ ليس في وسع أي تجربة أو تقنية أن تجبرنا على إعادة النظر في فكرة اللاحتمية ،فهذه الفكرة هي صفة موضوعية كشفتها التجارب ، من جهته ظل اينشتاين مصرا على أن علاقة الارتياب تعبر عن عدم اكتمال فهمنا للعالم الذري،و أن العالم الذري قابل للفهم على وجه أكثر وضوحا، لقد كان اينشتاين يؤمن أن الكون بكل مستوياته يخفي تنظيما محكما، و قد كان يرى في الصدفة نقصا لا يمكن أن يكتنف الطبيعة و لا في العلم .

Abstract

The idea that quantum phenomena is chaotic, and cannot be explained only by the probability, leading to considerable controversy between physicists of the twentieth century, and particularly between Niels Bohr and Albert Einstein, this difference

in philosophical background gave impetus to the controversy still continues to this day, Bohr and his supporters defended for originality of indeterminism in quantum world, they are not a justification for our ignorance, but are part of the composition of the Atomic world, as saying indeterminism is not due to the inability of experimental means, no experience or technique forces us to reconsider the idea of indeterminism, this idea is objective and proved by experience, Einstein has been insisting that the principle of uncertainty conduct to incomplete understanding of the Atomic world, Atomic world clearly understandable, Einstein believe that the universe cover a system at all levels, and has been seen in the considerable as shortage cannot be in nature and science.

1- فكرة عن نظرية الكم:

في الميكانيكا الكلاسيكية تمت صياغة نظام رياضي قائم على أساس قوانين نيوتن للحركة ، حيث يمكن حساب حركات الأجسام بدلالة الشروط المبدئية المعروفة، لقد رأى نيوتن أن اصغر جزيئات المادة تخضع لقوانين الحركة ،حيث تصطدم مع بعضها و تتسارع و تتفاعل مثلها مثل كرات البليارد ،وبرغم من نجاحات تطبيق الميكانيكا الكلاسيكية على مجال واسع من الظواهر الفيزيائية، إلا أن بدايات القرن العشرين أوضحت انه ليس جميع الظواهر يمكن تفسيرها بهذا العلم الميكانيكي، حيث اتضح أن الظواهر الذرية غير قابلة للتفسير بميكانيكا نيوتن، الأمر الذي دفع علماء الذرة إلى تطوير نظام جديد لعلم الحركة هو ميكانيكا الكم.

يتناول ميكانيك دراسة منظومات الجسيمات التي تتراوح بين المستوى الذري وما دون الذري ، وقد ظهر مصطلح " الكوانتم " أول مرة على يد الفيزيائي الألماني ماكس بلانك (1858-1947)،حيث توصل سنة 1900 إلى أن طاقة الموجات الضوئية تقفز بصورة غير متصلة. وأنها تنتقل على شكل كمات ،و الكم هو مقدار من الطاقة،

وقد وجدت هذه النظرية الجديدة في الطبيعة أن الطاقة تزيد أو تقل بكمات صغيرة لا يوجد أصغر منها من الطاقة، و قاد هذا الاكتشاف إلى فهم جديد للطبيعة و لآليات العالم الميكروسكوبي ،حيث توالت تطورات مهمة في الربع الأول من القرن العشرين على يد علماء لامعين أمثال نيلز بور و دوبروي و شرودنغر و هايزنبرغ ،حيث أضافوا لبنات لهذه النظرية الثورية .

من المعروف أنه في الميكانيكا الكلاسيكية توصف حركات الأجسام المادية بوساطة حساب مواضعها المعينة بإحداثياتها في المكان و في الزمن ، أما في الميكانيكا الموجية - التي ساهم في صياغتها كل من لوي دوبروي De Broglie (1892-1987) و اروين شرودينغرSchrödinger (1887-1961) - فلا يمكن حساب الإحداثيات بشكل دقيق، و إنما تكون هناك عدة إحداثيات محتملة، فلكل حالة ممكنة للإلكترون دالة موجية ، حيث تتعين حالة الجسيم بوساطتها كالسرعة و الموقع ، وتكتب الدالة عند تحديد الموقع لمنظومة متحولة مع الزمن ، و بما أن حالات تواجد الإلكترون الممكنة كثيرة،فلا بد أن تقابلها دوال موجية بحسب عددها،إن وجود الإلكترون موزع بين عدة أمكنة محتملة،و لأنه يتصرف على نحو جسيمي تارة ، وموجي تارة أخرى،فانه لا يمكن تحديد موقعه و سرعته في أن واحد.

من جهته شيد الفيزيائي الألماني فيرنر هايزنبرغ W.Heisenberg(1901-1976) آلية رياضية مختلفة للتعامل مع التحولات الميكروسكوبية عرفت باسم ميكانيك المصفوفات *.،لقد رأى هايزنبرغ أننا نفكر في العالم الذري بتصورات كلاسيكية ،مع أنه مختلف تماما نظرا لكونه متناهيا في الصغر ،فهل من المحتم اعتبار انتقال الإلكترون في الذرة وفقا لتصوراتنا التي استقيناها من عالمنا الماكروسكوبي،و لذا بدلا من اعتبار أن الإلكترون يقفز من مدار لآخر فعلينا اعتباره يمكن أن يظهر في أي مدار ، لأننا لا نتعامل مع مسارات متصلة بشان انتقال الإلكترون ،و إنما مع تحولات منفصلة أو قفزات كوانتية ، و بهذا يمكن أن نتعامل مع تغير المنظومة الذرية من

لحظة زمنية إلى أخرى[1] ،حيث يتغير وضع الالكترونات في المنظومة الذرية دون أن يكون هناك انتقال متصل من موضع إلى آخر،إضافة إلى هذا لا يمكن أن نعرف توزيع الالكترونات في المنظومة الذرية إلا بشكل احتمالي ،فلا يمكن الحديث عن موقع محدد للإلكترون و إنما مواقع تؤهلها الاحتمالات أكثر من غيرها.

رأى هايزنبرغ أن أي ملاحظة للعالم الذري معناه تدخل طاقة تعمل على تغيير الوضع ،و بالتالي فان ملاحظة الحادثة الذرية في حالتها الطبيعية ضرب من المستحيل، إن التقلبات الذرية الناجمة عن عملية القياس لا تسمح لنا بضبط موقع الجسيم و سرعته في آن واحد ، فعند ضبط موقع الإلكترون لا بد أن نسلط عليه شعاعا ضوئيا ،و لما كان فوتون الشعاع الضوئي يصطدم بالإلكترون ،يتحصل هذا الأخير على طاقة تعمل على تحريكه ،مما يؤدي إلى التباس في تحديد موضعه أو سرعته ،إن تدخل الملاحظة في الظاهرة يجعل من الصعب إعطاء وصف دقيق لما يجري ، و هذا ما يجعل السؤال الشهير : ما الذي يقع فعلا في أي حادثة ذرية؟، تصعب الإجابة عليه بشكل قاطع ، و علينا أن نتذكر أن ما نلاحظه ليس الطبيعة خالصة ،و إنما الطبيعة بعد أن تعرضت لمنهجنا في الملاحظة[2].

إن طبيعة العالم الذري تجعل أي محاولة لضبط موقع الجسيم تؤثر على سرعته، و أي محاولة لقياس سرعته تؤثر على موقعه ،لقد وضع هايزنبرغ علاقة سماها علاقة الارتياب la relation d'incertitude تتعلق بدرجة الخطأ في تحديد مواقع و سرعات الجسيمات في وقت واحد:

$$\Delta_p \times \Delta_v \geq h$$

حيث أن ($\boldsymbol{\Delta}_v$) الخطأ في تحديد الموقع مضروبا في ($\boldsymbol{\Delta}_p$) الخطأ في تحديد السرعة لا يمكن أن يقل عن (h) التي تدل على ثابت بلانك.

إن علاقة الارتياب لهايزنبرغ تشير إلى أن المجال الاحتمالي لقيم موضع الجسيم مضروبا في المجال الاحتمالي لقيم سرعة الجسيم لا يمكن أن يقل عن ثابت بلانك ،

و معروف عن قيمة ثابت بلانك أنها صغيرة جدا إذ تقارب قيمة الرقم 6.63 مقسوما على أكثر من مليار مليار مليار ،لكن مع صغر هذه القيمة ألا أنها تبقى رقم موجب ،بمعنى أن حاصر ضرب(Δ_p)*(Δ_v) يجب أن بكون دائما موجب ،فإذا اقتربت قيمة (الخطأ في تحديد الموضع) من الصفر يجب أن تكون قيمة(الخطأ في تحديد السرعة)اكبر بحث لا تنزل قيمة الاحتمال الاجمالية دون ثابت بلانك ،و العكس إذا قارب المجال الاحتمالي للسرعة الصفر سيكون لمجال احتمالات الموضع قيمة اكبر،و يمكن أن نعبر عن هذا انه كلما ارتفع (Δ_v) إلا و انخفض(Δ_p) ،و العكس كلما ارتفع (Δ_p) الا و انخفض(Δ_v) ،و هذا يدل بوضوح أن الاحتمال موجود موجود ،و لا يمكن تقليص مجالي احتمالات السرعة و الموضع في آن واحد ،و كأن الاحتمال متأرجح بين السرعة و الموضع و يستحيل أن يرفع عنهما في نفس الوقت.

إن التركيز على تقليل الخطأ في تحديد موضع الجسيم سيؤدي إلى زيادة الخطأ في قياس سرعته ،و العكس صحيح أي أن التركيز على تحديد السرعة يفقدنا الدقة في تحديد الموقع ،يقول هايزنبرغ: «تشير قاعدة عدم اليقين إلى درجة عدم التعيين في المعرفة المتاحة حاليًا للقيم المتزامنة للكميات العديدة التي تعالج بها نظرية الكم؛ إنها لا تنحصر، على سبيل المثال، في دقة تعيين المكان وحده أو في قياس السرعة وحدها، لذا افترض أن سرعة إلكترون حر تكون معروفة بدقة، بينما المكان غير معروف مطلقًا .عندئذ تنص القاعدة على أن كل ملاحظة تالية للمكان ستغير العزم بكمية غير معروفة وغير معينة بحيث إنه بعد إجراء التجربة فإن معرفتنا بالحركة الإلكترونية تكون مقيدة بعلاقة عدم اليقين.»[3]

لو نقارن هذه الصورة بما يحدث في العالم الماكروسكوبي ،تخيل جسم يتحرك بسرعة معينة ،وفقا للفيزياء الكلاسيكية إذ تم تزويدنا بموضع الجسم و سرعته في لحظة ما يمكننا أن نعرف موقعه في لحظات لاحقة أو حتى سابقة ،لكن إذ توفرت

لدينا قيمة السرعة فقط هل يمكننا تحديد الموقع ،عندها نقول أن الجسم يمكن أن يوجد في عدة أمكنة ،و إذ توفرت لدينا قيمة الموقع بدون قيمة السرعة يمكننا أن نقول أن الجسم يبعد في لحظة لاحقة بضعة سنتمترات أو ملايين الكيلومترات ، في العالم الماكروسكوبي يتيح لنا اجتماع قيم السرعة و الموقع في آن واحد التنبؤ،أما في العالم الميكروسكوبي فهذا الاجتماع المنشود مستحيل،و هذا ما يجعل التنبؤ بالحالة المستقبلية للكائنات الذرية شيئا بعيد المنال.

في العالم الماكروسكوبي نتعامل مع حركة الاجسام بمفهوم المسار، فعندما نرمي حجرا فإنه سيأخذ موضعا محددا في كل لحظة من نقطة إلى أخرى. بحيث يرسم بحركته خطا مستمرا هو مسار الحركة. وفي كل نقطة من هذا المسار يأخذ الحجر سرعة محددة ، لكن في الميكانيكا الكوانتية فإن مفهوم المسار لا يصلح ، حيث لا وجود للملاحظة المستمرة نظرا لوجود حوادث متقطعة و قفزات منفصلة، وهذا ما بمنعنا من تحديد موضع الجسيم المتحرك بنقطة هندسية في كل لحظة ، وبالتالي تحديد مسار معين، يقول هايزنبرغ: «إن ما نسجله فعلا هو تواترات الضوء الصادر عن الذرة و شداته و احتمال الانتقالات ،لا المسار الفعلي ،و بما أن من غير المعقول أن ندخل في النظرية إلا كميات يمكن أن ترصد مباشرة ،فان مفهوم المسارات الالكترونية يجب أن لا يوجد في النظرية.»[4]

يرى علماء الكم أن أقصى ما بوسعنا تحديده هو تمثيل انتشار الإلكترون وفق مواقع محتملة، فإذا أردنا رصد حركة إلكترون فلا نستطيع القول أنه موجود في النقطة كذا في الزمن كذا، وإنما نتكلم عن احتمال وجوده فقط، فهذا الارتحال هو انتشار لممكنات[5]، و عندما يرتطم باللوح يتحقق احتمال معين ، وتصبح باقي

الاحتمالات تساوي صفراً، أما قبل ذلك فان السؤال عن هذا الإلكترون، أين كان بالضبط ؟لا معنى له، و يتبن من هذا أن التحديد المكاني لسلوك الجسيمات الدقيقة و مواقعها ليس متاحا مثلما هو الأمر في العالم الماكروسكوبي، لأنه لا يمكن الكلام عن هذا الإلكترون بمعنى مستقل، وإنما هو علاقة في جملة القياس. لقد رأى نيلز بور أن الجسيمات ليست إلا تجريدات من صنعنا، ولا يمكن تحديد خصائصها إلا من خلال تفاعلها مع جمل أخرى.

في خريف 1926 اجتمع عدد من الفيزيائيين بكوبنهاغن لمحاولة إيجاد تفسير متماسك و منسجم لنظرية الكم ،لقد توصل نيلز بور N.Boher (1885-1962) وزملائه إلى انه لا يمكن التفكير حول الظواهر الذرية بمفاهيم الفيزياء الكلاسيكية المستوحاة من خبرتنا الحسية المألوفة ،و لذا لا بد من التفكير حول العالم الذري بمفاهيم مختلفة ،و إن كانت هذه المفاهيم غريبة فالغرابة منبعها الظواهر الذرية التي لا يلاحظها الإنسان في حياته اليومية .

حتى أن بعض الفيزيائيين بدأ يتكلم عن طبيعة الموجات التي تصحب الجسيم الذري بمدلول غير واقعي ، لقد ذهب الفيزيائي الألماني ماكس بورن و معه بور إلى أن الموجات هي موجات احتمال و ليست موجات واقعية ، فهي ليست موجات بالمعنى الفيزيائي الواقعي وإنما موجات تجريدية تعتبر ككيان رياضي أكثر منه واقعي، و معنى موجة الاحتمال هو أن الأجسام الذرية تتأرجح بين حالة الحدوث وبين عدمه، و كلما كان مقدار موجة الاحتمال اكبر كان احتمال وجود الإلكترون عندها اكبر[6] ،و قد عارض بعض الفيزيائيين - مثل شرودنغر و دوبروي و اينشتاين– هذا التفسير و رأوا أن الموجات ذات طبيعة واقعية و ليست احتمالية [7].

كذلك من بين المسلمات التي اعتنقها بور و زملائه هو اعتبار أن نظرية الكم تتعامل مع عملية قياس و ليس مع العالم الذري في حد ذاته ،فعملية القياس هو التي توجد الواقع، بمعنى أن عملية القياس هي التي تجيز لنا الكلام عن إلكترون له موضع أو سرعة، وبدون عملية قياس فأنه لا يبقى لوجود الإلكترون معنى، يقول هايزنبرغ في هذا الشأن:« إن القوانين الطبيعية التي نصوغها في نظرية الكم بعبارات رياضية لم تعد تخص الجسيمات العنصرية بحد ذاتها ، بل تخص المعلومات التي نستقيها عنها ، فمسألة البحث عما إذا كانت هذه الجسيمات موجودة في المكان والزمان لم يعد بمقدورنا أن نطرحها على هذا الشكل »[8]،أمام هذا التفسير الرادكالي بقي أينشتاين وبعض الفيزيائيين غير موافقين ،لقد كانوا يؤمنون بالوجود الموضوعي و المستقل للجسيمات الذرية .

2-اللاحتمية في نظرية الكم:

لقد كشفت نظرية الكم عن الجانب المضطرب الذي لم ينتبه إليه نيوتن و لابلاس، هذا العالم الذي سبب إحراجا كبيرا للميكانيك الكلاسيكي، و قد عبّر عن هذا عالم الفيزياء النووية فيتالي ريدنيك قائلا: " مع نهايات القرن التاسع عشر أضحت الميكانيكا النيوتونية في موقف متأزم و شيئا فشيئا اتضح أن تلك الأزمة تعنى سقوط الحتمية الكونية التي تسمى علميا مبدأ الحتمية الميكانيكية، و لم يعد الكون بسيطا إلى هذا الحد ، و لا باقيا على حاله إلى الأبد، فلم تجلب ميكانيكا الكم معها عرفانا جديدا فحسب، بل أعطتنا تفسيرا لظواهر العالم مختلفا اختلافا جذريا، ولأول مرة يعترف العلم اعترافا كاملا بالمصادفة ، وربما كان علينا أن ننحي باللائمة على الفيزيائيين لأنهم وقفا حيارى، و لكن كان عليهم فقط أن يتخلوا تماما عن فكرة

الحتمية الأبدية التي ابتدعوها هم أنفسهم، فقد ظنوا أن مثل هذه الحتمية إن هي انسحقت، فإن الفوضى المطلقة ستحكم الكون، و لن تعود الأشياء تطيع القوانين الفيزيائية، ومضى ردحا من الزمن قبل أن يجد الفيزيائيون مخرجهم من هذه الأزمة".[9]

لقد قلبت الميكانيكا الكوانتية تصورات قديمة عن الطبيعة و النظام الموجود فيها ،و بينت ان هناك جانب مضطرب من الوجود الفيزيائي لا يمكن التعامل مع إلا بشكل احتمالي ،حيث لا وجود للحتمية و لا يمكن استخراج انتظام سببي ،إن ميكانيك الكم تُسقط الصفة المقررة للعالم الميكروسكوبي، محولة ذلك العالم إلى مجموعة من الأحداث العشوائية الاحتمالية ، فلا يمكن أن نتحدث عن تيار سببي حاسم، وتبقى قضية السبب والنتيجة قضية احتمالية ، يقول بول ديفيس : « إننا لا نرى العالم ساكنا بل متحركا متطورا متغيرا من لحظة إلى أخرى على نحو رتيب بدا في الصورة النيوتونية محددا سلفا كتابع للكون في الماضي و الحاضر ،لكن ثورة الكم أبطلت هذا الاعتقاد ،و أتت لتقول أن المستقبل بطبيعته غير مؤكد أو محدد.»[10]

في العالم الكوانتي المضطرب يترتب عن عملية القياس عدد محتمل من النتائج، فالسبب الواحد يكون مرتبط بعدة نتائج محتملة ، و النتيجة التي تظهر في تجربة معينة قد لا تتكرر من نفس السبب في تجربة أخرى، في العالم الميكروسكوبي تختفي الرتابة التي اعتدناها في العالم المادي الكبير الذي اعتدناه،لقد رأى نيلز بور أن «ميكانيك الكوانتم تتطلب نكران المثال الكلاسيكي للعلية و التخلي عنه.»[11]

لقد علق دوبروي على علاقة الارتياب و ما أحدثته من تغيير في نظرتنا المألوفة للعالم ،حيث يقول: « إن رغبتنا في إدخال هذه الظواهر الأولية (الظواهر الذرية) في إطار المكان و الزمان الإطار الذي لا يصلح فعلا إلا عندما يتعلق الأمر بوصف إحصائي يعتمد على المتوسطات الحسابية لعدد هائل من الظواهر إن رغبتنا تلك قد جعلتنا نصطدم بعلاقة الارتياب المشهورة التي صاغها هايزنبرغ ،إن هذه العلاقات التي هي بمثابة العلامة التي تشير إلى الحدود الفاصلة بين قطاعين ،قد جاءت لترسم حدا لصلاحية المفاهيم القديمة التي ألفناها و اعتدناها ثم لتمنعنا من التمسك بذلك الاستقلال الذي كان يبدو لنا واضحا ،استقلال الزمان و المكان عن الخصائص الدينامية للكيانات الفيزيائية .»[12]

من جهته رأى برتراند راسل على علاقة الارتياب و يرى أنها تنص على أن : "الجزيء إما أن يكون له مكان ،أو قد تكون له سرعة مستقيمة.و لكنه لا يستطيع بالمعنى الدقيق أن يجمع بين المكان و السرعة ،و معنى ذلك انك إن عرفت أين أنت ،لم تستطع أن تعرف سرعة تحركك ،و إن عرفت سرعة تحركك،لم تستطع أن تعرف أين أنت .و هذا يهدم أساس الطبيعة التقليدية حيث المكان و السرعة عنصران أساسيان.فأنت لا تستطيع رؤية الإلكترون إلا حين يبعث بضوء.و هو لا يبعث بضوء إلا حين يقفز،فعليك أن أردت معرفة أين كان ،أن تجعله يتحرك إلى مكان آخر."[13]

تجدر الإشارة هنا إلى إن القول بعشوائية العالم الذري لا يعني انه لا يمكن الإحاطة به نسبيا وإنما " تبقى هذه الأحداث الغير حتمية تحكمها قوانين إحصائية"[14]، صحيح إننا لا نستطيع معرفة حركة كل جسم فردي في لحظة ما،

يمكننا التنبؤ بالسلوك العام لحشود الجسيمات بنفس الطريقة التي يتنبأ بها الإحصائي بعدد السكان في وقت ما ،إذا عرف معدل الوفيات والمواليد ،سوف يقدم لنا تغيرات التعداد في المستقبل دون إن يتنبأ بحالة الفرد الواحد من حيث الولادة والوفاة [15].

3-الخلاف بين بور و اينشتاين:

إن القول أن الظواهر الكمومية في طبيعتها لا يمكن ضبطها بالتحديد الزماني و المكاني الكلاسيكي ،و لا يمكن تفسيرها إلا بطريقة احتمالية*، أدى إلى جدال كبير دار بين اكبر فيزيائيي القرن العشرين، و خاصة بين نيلز بور وألبرت أينشتاين ،"إن الطبيعة المفارقية للوجود ،و الانقطاع و الصدفة المرتبطان بها، شكلت السمات الأساسية لنظرة بور للعالم ،بينما شكل الوضوح و الاستمرارية و التحديد الصارم سمات لنظرة اينشتاين للعالم "[16] هذا الاختلاف في الخلفية الفلسفية أعطى دفعا للجدل الذي لا يزال يلقي بظلاله لحد اليوم.

لقد كان اينشتاين حسب بور في كل مرة مصرا على معارضة الطبيعة العشوائية و المنفصلة للعالم الذري رغم ما تقدمه التجارب من إثباتات [17]، لقد دافع بور و هايزنبرغ و أنصارهم عن فكرة صميمية اللاحتمية في العالم الكوانتي،فهي ليست تبريرا لجهلنا بحالة النسق ،بل هي جزء من تركيبة و بنية العالم الذري،كما أن القول باللاحتمية لا يعود إلى قصور وسائل التجريب و الكشف ،إذ ليس في وسع أي تجربة أو تقنية ممكنة أن تجبرنا على إعادة النظر في فكرة اللاحتمية ،فهذه الفكرة هي صفة موضوعية كشفتها التجارب ،و ليست صفة ذاتية أضفاها الإنسان على العالم الذري .

إن علاقة الارتياب لهايزنبرغ أدخلت نوعا من الذهنية الجديدة التي تتناقض مع المفهوم الكلاسيكي القائل أن جميع خصائص المادة مبدئياً خاضعة للقياس الآني وبدقة ،لقد رأى فريق بور أن هذا لا يرجع إلى عجزنا أو عجز تقنياتنا على ضبط القيمتين،بل إن مبدأ الارتياب يعبر عن صميم الظاهرة الذرية، يقول بول موي معلقا على مبدأ الارتياب: «إن مبدأ اللايقين هذا (أو مبدأ اللاتعين) لا ينبغي أن يفهم بمعنى يدل على التحقير .فهو في الحق يمكن من الربط بين عدد كبير من الظواهر .و الحقيقة أنه أساس لعلم الطبيعة الذري.في وسعنا أن نعده –من نواح عديدة-إحدى مصادرات الميكانيكا الكمية. »[18]

لقد ظل اينشتاين مصرا على أن علاقة الارتياب تعبر عن عدم اكتمال فهمنا للعالم الذري،و أن هذا الأخير قابل للفهم على وجه أكثر وضوحا، لقد صرح في إحدى محاضراته: " لا يصدق بعض علماء الفيزياء و أنا واحد منهم أننا يجب أن نتخلى فعلا و إلى الأبد عن فكرة التمثيل المباشر للحقيقة الفيزيائية في الزمن و المكان أو أننا يجب أن نقبل الرأي القائل بأن الحوادث في الطبيعة تشبه لعبة الحظ"[19]،لقد كان اينشتاين يؤمن أن الكون بكل مستوياته يخفي تنظيما محكما ،و قد كان يرى في الصدفة نقصا لا يمكن أن يكتنف الطبيعة و لا العلم.

لقد وقف اينشتاين و بعض أنصاره ضد التصور الذي يعتبر أن العشوائية هي من طبيعة العالم الذري، وانه لا توجد ديناميكية خفية لم نكتشفها بعد ، فهو لم يكن مقتنعا بصلاحية الاحتمالات كقاعدة لنظرية متكاملة حيث قال ذات مرة : « إن ميكانيكا الكم مؤثر و لا شك ،لكنني على قناعة تامة بان الإله لا يلعب النرد»[20].

إن نظرية النسبية رسمت حدودا للارتباط بين السبب و النتيجة،لكن نظرية الكم تجد أنها لا تستطيع ربط السبب بنتيجة محددة ،و يمكن فقط رسمه بنتائج محتملة ، في ميكانيك الكم لا يمكن ربط السبب بالنتيجة بمسار زمكاني متصل،ولقد علق هايزنبرغ على هذه الصعوبة بالقول أن نظرية النسبية « لا تزال

توفي المتطلبات التقليدية للعلم مادامت تسمح بتقسيم العالم إلى موضوع وشيء (المُلاحِظ والمُلاحَظ)ومن ثم صياغة واضحة لقانون السببية .لكن هذه هي النقطة التي تبدأ عندها صعوبات نظرية الكم.»[21]

لقد كان اينشتاين يؤمن دائما أن الطبيعة يمكن أن تقدم لنا مفاتيح للمشكلات المتعلقة بفهمنا لها ،فهي بقدر النظام الموجود فيها قابلة للفهم ، و قد أشار اينشتاين إلى هذا في بحث نشره عام 1935 رفقة بوريس بودولسكي و جون روزن ،و قد عرف موضوع هذا البحث منذ ذلك الوقت بمفارقة EPR أي بالأحرف الأولى من أسماء العلماء الثلاث ، فحسب مفارقةEPR حين ينشطر جسيم إلى جسمين آخرين و يتجهان في مسارين متباعدين فان موقعي و سرعة الجسمين يبقيا متعالقين [22]،فإذا عرفنا موقع جسيم فإننا نعرف موقع الثاني في الجهة المقابلة ،و كذلك السرعة ،و قد رد هؤلاء على مبدأ الارتياب الذي قال به هايزنبرغ الذي ينص على استحالة قياس موقع و سرعة جسيم في آن واحد ،بأنه بالإمكان في حالةEPR قياس موقع إحدى الجسيمين و سرعة الآخر ما داما مرتبطين علائقيا و بذلك نحقق معرفة كاملة بهما .

ولقد رد نيلز بور على مفارقة EPR على أنها فصلت بشكل مصطنع بين قياس الجسيمين ،ذلك أن إجراء قياس على احدهما يؤثر على الآخر و يزيل وضوح الإطار المرجعي[23]،فلا يمكن معاملة الجسيمين كشيئين منفصلين بالرغم من أنهما يشغلان موضعين مختلفين و بعيدين في المكان،و ما دام أن هناك ارتباط بين الجسيمين فان أي محاولة لقياس موقع احدهما ستؤثر بشكل آني على سرعة الآخر ،و نصطدم بنفس الصعوبات التي عبرت عنها علاقة الارتياب.

رغم أن الفيزياء المعاصرة قد تطورت منذ الثلاثينات على المسار الذي اقترحه بور، و قد تم إحراز تقدم مبهر ضمن هذا المسار ،و زاد الاعتقاد أن نظرية الكم متكاملة داخليا و متماسكة ،علق اينشتاين حول إمكانية تماسك النظرية قائلا "

بالاعتقاد أن هذا ممكن منطقيا دون تناقض و لكن الامتناع عن البحث عن تصور أكثر تكاملا سيكون مناقض لغريزتي العلمية"[24]

لقد كان اينشتاين يؤمن بوحدة العالم ،و قد كان لتصوره هذا وجهان ،وجه انطولوجي يتضمن الاعتقاد بالأساس الواحد للعالم ،و وجه ابستمولوجي يظهر في السعي إلى البحث عن مبدأ موحد عام نعمل من خلاله على استنباط الحالات الخاصة.

4- بين النظام و الصدفة ؟:

هل العالم الذري هو عالم عشوائي بطبيعته حيث تسود فيه الصدفة ،أم نحن الذين عجزنا عن فهمه و رصده ولم ندرك حقيقته التي ربما يكون فيها من الانتظام ما يستبعد فكرة العشوائية تماما ،فقد تكون فكرة العشوائية تبريرا لعجزنا ؟ ألا يمكن إن ندرك يوما إن العلم الإنساني برر عجزه-في مرحلة من تاريخ العلم – بإضفاء صفات للعالم الذري ليست منه في شيء.

يمكن القول أن التفسير اللاحتمي للظواهر الذرية اجتاز مرحلتين: مرحلة اللاحتمية على المستوى المعرفي حيث تعبر عن عجز الذات العارفة عن فهم ديناميكية العالم الذري،و تحديده كلاسيكيا بسبب تدخل الذات في الموضوع ،ثم مرحلة اللاحتمية على المستوى الانطولوجي حيث الاعتقاد بأن اللاحتمية أضحت جزء من العالم الذري ،حيث انه العالم يشكل الجزء المضطرب من الوجود الفيزيائي،و هنا بدأت المشكلة و الخلاف.

يمكن إن نلمس هذا التساؤل في اختلاف المصطلحات حول العالم الذري عند الفلاسفة و العلماء ،فالبعض يفضلون عبارة "اللاتعين" مضفين عليها طابعا انطولوجيا ،بينما يفضل آخرون عبارة "الارتياب" مضفين عليها طابعا معرفيا في إشارة إلى فهمنا للعالم الذري و ليس لحقيقته .

رغم أن ميكانيك الكم حظي بالكثير من التأييد و الانتشار في أوساط المجتمع العلمي ،إلا أن بعض الفيزيائيين و الفلاسفة ظلوا متمسكين بمعارضة تفسير بور ، ورأوا أن العالم الذري تحكمه دينامكية لم نكتشفها بعد ، لقد مثل هذا الاتجاه كل من اينشتاين و بلانك و شرودنغر و دوبروي و بوهم و غيرهم من الفلاسفة و العلماء ،لقد أراد أصحاب هذا الاتجاه إرجاع الميكانيكا الكوانتي إلى الإطار العقلاني الواقعي ،لقد رأى أصحاب هذا الاتجاه أن نظرية الكم ليست مكتملة و أن العالم الذري تحكمه دينامكية لم نكتشفها بعد.

لقد رأى فيلسوف العلم كارل بوبر أن العالم الذري لا يزال يخفي أسرار أخرى ، وبالرغم من أن اللاحتمية حقيقة لا يمكن تجاهلها فانه لا يعتقد أن ميكانيكا الكم سيعني العالم الأخير في الفيزياء[25]. لقد كان بوبر يؤمن بأنه بالإمكان الوصول إلى نموذج عن الواقع، بمعنى تشييد نظرية تمثل الأشياء ذاتها وليس مجرّد احتمال وقوع هذه الأشياء.

من جهته رأى الفيلسوف الفرنسي ليون برونشفيك أن العالم الذري لا يمكن أن يكون خال من آلية سببية ، و ما يتكلم عنه العلماء حول اللاحتميّة على مستوى الكمي ، فيمكن النظر إليها كونها ليست سوى لاحتميّة ظاهرة تنجم عن الاضطراب بفعل القياس.

أما بول ديراك فرغم انه كان في البداية من مناصري تفسير بور، لكنه بعد مرور عقود تغيرت قناعاته و أصبح أكثر ميلا لرؤية اينشتاين ،لقد رأى أن الميكانيكا الكمية لم تصل بعد إلى صيغتها النهائية، فقد نضطر يوما ما إلى إضافة تعديلات إليها، و قد تكون هذه التعديلات عميقة، قد يأتي يوم نكتشف فيه صيغة خالية من اللانهايات. ولعلّ الميكانيك الجديد سيكون على النحو الذي أراده أينشتاين،لقد اعتقد ديراك انه من المرجح أن أينشتاين سوف يكون في نهاية المطاف محقا ، رغم ما يلقاه تفسير بور في الوقت الحاضر من قبول.

و أمام هذا يبقى البعض مقتنع أن العالم الذري عشوائي بطبيعته،ولا مجال للعثور على ديناميكية معينة تتحكم في حركة الجسيمات الذرية ،لقد علق الفيزيائي بانيش هوفمان P.Hoffman على الرأي الذي يعتقد بوجود مستوى خفي للعالم الذري قائلا : « من الحماقة والتهور إن نبتكر هذا العالم الخفي من السببية المحكمة الذي فكرنا فيه ذات مرة بشغف. »[26]، فنظرية الكم حسب هوفمان هي نظام متكامل لا يحتاج إلى سر يضاف من عالم أعمق خفي .

قد يتساءل البعض:إن نظرية الكم التي تستعمل القوانين الإحصائية عرفت قدرا هائلا من التطبيق في اغلب مجالات التكنولوجيا، وهذا دليل على صحة الطابع العشوائي للعالم الذري،لقد لاقت ميكانيك الكم نجاحاً كبيرًا في العديد من الاستعمالات مثل الليزر وشبه الموصلات، وقد نجمت عنها تطبيقات تقنية مهمة، مثل الترانزستور الذي يدير الحواسيب و الآلات الإلكترونية، و قد أدى نجاح ميكانيك الكم إلى تغيير جذري في قواعد الطب الحديث و الصناعة و الاتصالات، و الغريب أن ميكانيكا الكم الذي يبدو قاطعا و حاسما في تطبيقاته العلمية يقوم على الاحتمال.

لكن لو نمعن النظر في تطبيقات نظرية الكم، نلاحظ أنها لا تتعامل إلا مع حشود الالكترونات و الجسيمات الذرية، ولقد رأينا انه لا يمكن لن نتحدث إلا عن المنظومة الذرية ككل، و ليس حالة انتقال الإلكترون من مدار لآخر، ولهذا فالقانون الإحصائي يحدد لنا الحالات المرجحة الحدوث في لحظة من الزمن، بينما القوانين الديناميكية فالمنتظر منها تحديد الانتقال من حالة إلى أخرى عبر الزمن، أي التوقع الحتمي (بالمعنى النسبي للحتمية) للحالة اللاحقة بناءا على الحالة الراهنة.

رغم النجاحات التجريبية الكثيرة لميكانيك الكم ،إلا أن هذا لم يبدد الغموض الموجود فيها ،يبدو أن هذه النظرية لا تزال تنطوي على أسرار ربما تتجاوز تفكيرنا الحالي ، لقد رأى ستيفن واينبرغ بأن العلاقة بين استخدامات ميكانيك الكم

وتأويلاته الفلسفية هي علاقة ضعيفة. فبقدر ما يكون الاستخدام متاحاً بقدر ما يكون التأويل صعباً بحيث لا نستطيع استعابه ، إن صعوبة التأويل في نظرية الكوانتم مردها الاعتماد الكبير على الرياضيات و لذلك تمتاز بالصورية والغموض .

لقد رأى بعض الفيزيائيين من أنصار الاتجاه السببي أن ميكانيك الكوانتم تهتم بسلوك الجسيمات الذرية كمجموعات ،و لا تدرس سلوكها الفردي ،و من هنا قد يكون من الممكن « إنشاء نظرية جديدة تكون فيها الميكانيكا الكوانتية كحالة خاصة ضمن حالات أخرى ،نظرية تتجاوز نتائج الميكانيكا الكوانتية و تعمل على تفسير بنية و سلوك الجسيمات الأولية (حيث يكون) وراء القوانين الإحصائية التي تكشف عنها الميكانيكا الكوانتية ،قوانين دينامكية من شأنها إذا اكتشفت إن تفسر السلوك الفردي للأشياء الميكروسكوبية. »[27]،ومعنى هذا إن ميكانيكا الكم تهتم بالسلوك الجماعي للجسيمات الذرية ،لكنها لا تهتم بالسلوك الفردي للجسيمات الأولية ،و تتمكن من الكشف عن القوانين المسئولة عن هذا السلوك ،أو بعبارة أخرى اكتشاف ديناميكية هذه الجسيمات ، وبهذا تكون هذه النظرية الجديدة تهتم ببنية أعمق مما تدرسه نظرية الكم ،وهنا يبرز موقف مؤيد للاتجاه السببي بحيث يتعلق الأمر بمستويات تبرز فيها القوانين الإحصائية والقوانين الديناميكية حيث أن لكل مستوى خصائص معينة ، فالمستوى الذري تدرسه الميكانيكا الكوانتية يكون ذو طبيعة إحصائية ،بينما مستوى ما تحت الكوانتا niveau subquantique وهو المستوى الأكثر عمقا يعبر عن اطراد حتمي للوقائع الفردية ، ويمكن فهم الانتظام الذي يكمن وراء القوانين الإحصائية ، فربما تكون نظرية الكم سوى تعبير عن مستوى من المستويات الميكروسكوبية .

إن هذا الاتجاه الذي ساهم في دعمه كل من دوبروي و بوهم لا يتكلم عن تعويض ميكانيك الكم بنظرية أخرى ،بل إن المسألة تتعلق بمستويات و لكل مستوى خصوصية و قوانين معينة ،و بهذا المعنى هناك قبول لوجهة النظر اللاحتمية لكن

على مستوى ما تدرسه ميكانيك الكم ،لكن في المستوى الأعمق تكون قوانين تعبر عن اطراد و نظام ،حيث أن لكل مستوى خصوصية و لا يمكن إرجاعه لمستوى آخر،مثلما لا يمكن إرجاع قوانين الكم إلى المستوى الكلاسيكي.

كان الفيزيائي الأمريكي ديفيد بوهم D.Bohm (1917- 1992) من الذين يؤمنون بوجود مستوى أعمق من ميكانيك الكم ،حيث افترض وجود متغيرات خفية تؤثر على الظواهر الكمومية ،بحيث تتصرف الجسيمات و كأنه يربطها شيء مشترك ،لكن هذا الرابط خفي ،لقد فسر بوم ظاهرة اللاموضعية* بإيجاد تأويل قائم على فكرة وحدة الوجود ،حيث أن الكون ككل مرتبط في نسيج واحد و مشترك ،حيث ترتبط أجزاءه بعضها ببعض [28]،و أي تأثير يمس جسيم يؤثر آخر مهما كانت المسافة بينهما، أو أن الجزء يحمل الكل بشكل خفي، فكل شيء موجود في كل جسيم ،حيث أن هناك نظام مضمر ،أن مسرح الحوادث الدقيقة يمتد بعيداً بما يفوق قدرة أجهزة العلم ، فهناك في القاع العميق يتشارك الكل في نسيج هذا الكون، حيث أن هناك نظام مترابط implicate order . لقد اعتاد العقل البشري على أنماط الاتصال و الانفصال بين الأشياء و على إضفاء الرابط السببي ، فنظر إلى الأشياء على أنها مركبة من أشياء أصغر، ثم أصغر، يمكن تفكيكها إلى وحدات صغيرة تبقى تخضع لنفس المنطق، لقد رأى ديفيد بوم أن ميكانيكا الكم غير مكتمل ،حيث أن العالم الميكروسكوبي لا يزال يحوي بنية عميقة تكون فيها قوانين تعبر عن نظام ،و يتبين من خلالها أن الكون كله نسيج متصل من حوادث تعتمد على بعضها البعض.[29]

إن العلماء و الفلاسفة الذين يدافعون عن وجهة نظر اينشتاين ،مقتنعين أن الوجود بكل مستوياته ينطوي على نظام ، و ما على الإنسان إلا محاولة الكشف عنه ،لقد آمنوا أن ثمّة وجودًا لقوانين شاملة، و أن الإنسان يقدر على تحديد مستقبل أي نظام فيزيائي باستخدام هذه القوانين، إن حال الفيزيائي الذي يريد فهم سنن هذا الواقع كحال من يحاول أن يفهم آلية عمل ساعة مغلقة، فهو يرى

حركة عقاربها و يسمع صوتها، لكنه لا يملك وسائل فتح غلافها، و مع هذا فإنه يمكن أن يتصور لهذه الآلية تركيبا يجعله السبب في كل ما يرى، صحيح أن هذا التركيب يضل دون مقارنة مع الآلية الفعلية، لكن السبيل أمام الباحث كما يرى اينشتاين في أن " يوقن بأن تكاثر المعلومات التي تتجمع لديه عن طريق البحث تساعده شيئا فشيئا على إيضاح الصورة، و على تفسير ظواهر تنتمي إلى مجالات أوسع فأوسع من انطباعاته الحسية "[30].

إن المتأمل في هذا الوجود و للتنظيم البديع الموجود فيه ، ما يلبث أن يدرك أن عقولنا كبشر تبقى صغيرة و محدودة أمام هذه العظمة و هذا التقدير ،يكفي أن نقول انه لو تتغير قيمة من القيم الفيزيائية كموقع الأرض أو الشمس أو الضغط أو الجاذبية لما بقيت عقول تفكر في هذا الوجود ،فكيف لهذا النظام المعجز أن ينعكس من مستويات دون ذرية عشوائية ،لقد ذكرت الكتب السماوية مرارا و منها القرآن الكريم أن كل شيء في هذا الوجود موجود بمقدار ،و أن سنن الخالق في كونه لا تشذ عنها ورقة تسقط في ظلمات الأرض ،و لا حتى ذرة و ما دونها ،إن القول بالصدفة بدون إرجاعها لعجزنا ينطوي على اعتقاد بوجود عبثية في هذا الكون ، علينا أن نعترف أن القوانين الاحتمالية هي فقط ما هو متاح حاليا ،أي ما استطعنا إليه مع تطور عصرنا و عقولنا ،بدل أن نسارع إلى إضفاء أحكام إما أن تكون مثبطة لعزيمة الإنسان في سبر أغوار هذا الوجود ،و إما تضفي على هذا الوجود صفات جائرة ،إن الخالق الذي أوجد هذا الكون و اوجد عقولنا ،ثم دعانا للنظر في هذا الكون ، الكون بكل مستوياته،لا يمكن أن يحرمنا من سبل فهم هذا الوجود ،فكل تفصيل في هذا الوجود وجد معه سبيل لفهمه،فلا يمكن أن يدعونا الله لفهم شيء يستحيل فهمه.

الهوامش:

* بالرغم من أن الميكانيكا الموجية و ميكانيك الكم صياغتان رياضيتان مختلفتان ؛ إلا أنهما متوافقتان مع الملاحظات التجريبية ،فالميكانيكا الموجية تستخدم كائن رياضي يسمى دالة الموجة، يصف احتمال وجود جسيم في نقطة ما من الفضاء ،وميكانيكا الكم تصف الجسيمات على أنها مصفوفات تتغير مع الزمن، و لا تشير إلى دالة موجة .

1. – محمد عابد الجابري ، **مدخل إلى فلسفة العلوم** ، (ط4، بيروت ، مركز دراسات الوحدة العربية، 1998)، ص378

2. – فيرنر هايزنبرغ، **الفيزياء و الفلسفة** ، تر: أحمد مستجير، (ط1، القاهرة، المكتبة الأكاديمية،1993) ص40

3. –فيرنر هايزنبرغ،**المبادئ الفيزيائية لنظرية الكم** ،،تر: محمد صبري عبد المطلب،انتصارات محمد حسن الشبكي.(ط2.كلمة و كلمات عربية للترجمة و النشر،مصر و الإمارات،2011) ص27

4. –نقلا عن كتاب: ستيفن وانبرغ.**أحلام الفيزيائيين**.ترجمة ادهم السمان.(ط2.دار طلاس للدراسات و الترجمة و النشر .2006) .ص 143

5. –بول موي، **المنطق و فلسفة العلوم** ، ترجمة :فؤاد حسن زكريا،(دار نهضة مصر.القاهرة .د.ت)،ص335

6. – فيرنر هايزنبرغ ،**الفيزياء و الفلسفة**.ص28

7. –المرجع نفسه،ص ص 92، 100

8. – فيرنر هايزنبرغ ، **الطبيعة في الفيزياء المعاصرة** ، ترجمة: أدهم السمان، (ط2، دمشق ، دار طلاس للدراسات و النشر، 1994) ،ص20

9. – يمنى طريف الخولي ،**فلسفة العلم من الحتمية إلى اللاحتمية**،(القاهرة ،دار قباء للدراسات والنشر،2001)،ص319

10. –بول ديفيز .**العوالم الأخرى**، تر : حاتم النجدي ، (ط1، سوريا ، دار طلاس للدراسات و النشر، 1994)،ص 42

11. نقلا عن كتاب: رولان أومنيس ،**فلسفة الكوانتم**، ترجمة:احمد فؤاد باشا ،(سلسلة عالم المعرفة ، الكويت،2008).ص286

12. -نقلا عن كتاب **مدخل إلى فلسفة العلوم** ،لمحمد عابد الجابري، ص440.

13. - برتراند رسل، **النظرة العلمية** ،ترجمة : عثمان نويه.(ط1.دار المدى للثقافة و النشر.سورية.2008)،ص84

14. - جيمس جينس، **الفيزياء والفلسفة**، تر: جعفر رجب ، (القاهرة ، دار المعارف ، دون تاريخ)، ص205 .

15. - المرجع نفسه ،ص205.

* لاقت ميكانيك الكم نجاحاً كبيرًا في تفسير العديد من الظواهر مثل الليزر وشبه الموصلات، وقد نجمت عنها تطبيقات تقنية مهمة، مثل الترانزستور الذي يدير الحواسيب و الآلات الإلكترونية، و قد أدى نجاح ميكانيك الكم إلى تغيير جذري في قواعد الطب الحديث و الصناعة و الاتصالات، و الغريب أن ميكانيكا الكم الذي يبدو قاطعا و حاسما في تطبيقاته العلمية يقوم على الاحتمال.

16. – ريتانوف و آخرون، **اينشتاين و القضايا الفلسفية لفيزياء القرن العشرين**، تر: ثامر الصفار، (ط1، دمشق، الأهالي للطباعة و النشر، 1990) ،ص54

17. - Niels Bohr **,Physique Atomique et Connaissance Humaine**, trad;Edmond Bauer,Roland Omnes, Gauthier Villars,Paris ,1961).p39

18. – بول موي.**المنطق و فلسفة العلوم**. ص337

19. - ألبرت اينشتاين ،**أفكار و آراء**، ترجمة رمسيس شحاتة ،(الهيئة المصرية العامة للكتاب،مصر ،1986)،ص109

20. – ميشيو كاكو ،جونيفر ترينر ،**ما بعد اينشتاين** ، تر: فايز فوق العادة، (ط1,بيروت,لبنان,أكاديميا,1991).ص 68.

21. – فيرنر هايزنبرغ،**المبادئ الفيزيائية لنظرية الكم**.ص12

22. -Iraj Niksersht, **Physique quantique**. origines, interprétations et critiques,(Ellipses .paris .2005) ,p208

23. -Niels Bohr ,**Physique atomique et connaissance humaine** , pp59-60

24. – ريتانوف و آخرون، **اينشتاين و القضايا الفلسفية لفيزياء القرن العشرين**، ص 62

25. - Karl Popper. **The open universe** (Edi 6 , London and new York ,Rutledge, 1998) , p 41.

26. – بانيش هوفمان ، **قصة الكم المثيرة** ، ترجمة: أحمد مستجير، (دار الكتاب العربي للطباعة و النشر، مصر، د.ت)،ص191

27. – محمد عابد الجابري ، **مدخل إلى فلسفة العلوم** ، ص420

* هناك ظاهرة غريبة في العالم الميكروسكوبي،هي امتداد لمفارقة EPR و هو أن يكون جسيمين في حالة اتصال آني عن بعد ،و يشتركان في ردات فعل عدة مع أنهما بعيدان مكانيا ، لقد أثبتت التجارب أن الجسيمات تتواصل مع بعضها دون إشارات ،أو بإشارات تتجاوز سرعة الضوء. أي أن هناك نوعاً من التواصل المباشر بينهما ، فلو قمنا مثلا بتغيير اتجاه لف جسيم بعيد عن شقيقه الجسيم الآخر الذي يلف في الاتجاه المعاكس، فإن الثاني يغير اتجاه لفه أيضاً ، و قد سميت هذه الظاهرة ذات السلوك الغريب باللاموضعية non- localité

28. - David Bohm ,**Wholeness and the implicate order**, (2Edi,Routledge ,london and new york, 2005) ,p186

29. -Iraj Niksersht . **Physique quantique** . origins,interpretations et critiques .p210

30. –ألبرت اينشتاين ، ليوبولد انفلد ، تطور الأفكار في الفيزياء ، تر : أدهم السمان ، (دار طلاس للدراسات و النشر ، 1992).ص33