

النسبية العامة في مواجهة ميكانيكا الكوانتم

بقلم أ. عيسو راجح

قسم الفلسفة جامعة الجزائر-2

تمثل ميكانيكا الكوانتم أعظم انجازات العلم، وهي ذات مغزى مباشر وعملي بعيدا جدا، بكثير من النظرية النسبية، و مع ذلك فلها بع التنبؤات الغريبة. فتبدو ميكانيكا الكوانتم غريبة الأطوار، وأكثر غرابة أنها لا تزال حتى اليوم، بعد انقضاء عقود عديدة على تأسيسها، مستمرة في غرابتها ظاهريا حتى بالنسبة لأصحاب المهنة من العلميين الذين يتعاملون مع الموضوع يوميا، والذين يقرؤون ويعملون بثقة في إطارها. وتظهر دهشتهم على المستوى الفلسفي أكثر كثيرا مما تظهر على المستوى العلمي، حيث تثار أسئلة فلسفية عميقة، و لهذا قال نيلز بور: " أي شخص لا يصاب بصدمة من نظرية الكوانتم فإنه لم يفهمها" (1).

إن فكرة المتغير الخفي هي أن ميكانيكا الكوانتم غير مكتملة، وأن الواقع الكلاسيكي يسود على مستوى أعمق متعذر بلوغه حاليا. ولسوف تظهر فيزياء جديدة إذا استطعنا توضيح تلك المتغيرات عن طريق الملاحظة. حقيقة سوف يكون ذلك مثيرا. هناك وجهة نظر بديلة في اتجاه معاكس للمتغيرات الخفية، وهي بكلمات "فيجنر": «إن ميكانيكا الكوانتم ليست مهمتها أن تصف واقعا ما، بصرف النظر عما يعنيه المصطلح، وإنما تقتصر فقط على تكوين روابط إحصائية بين الملاحظات المتتالية»(1).

و هذا ما أدى بظهور التناقض من عدم التوافق بين ميكانيكا الكوانتم و النسبية العامة. من خلال الانحناء الهندسي الرقيق لشكل الفضاء و الناتج من النسبية العامة، و بين السلوك

المتذبذب القلق على المستوى الميكروسكوبي للعالم تبعا لميكانيكا الكوانتم. و هذا ما أدى إلى البحث و محاولة الجمع بينهما أو البحث عن نظرية جديدة، لحل هذا التناقض الذي هو المشكلة المحورية في الفيزياء الحديثة، فكيف يمكن حل هذا التناقض؟ و بالتالي جمع النسبية العامة بميكانيكا الكوانتم؟

1- نظرية مجال الكوانتم

خلال حقبة الثلاثينيات والأربعينيات من القرن العشرين، ناضل الفيزيائيون النظريون - "بول ديراك"، "باولي"، "ديسون" و "فينمان" - بلا هوادة ليكتشفوا صياغة رياضية قادرة على التعامل مع هذا الجموح المجهرى، وقد وجدوا أن معادلة موجة الكوانتم "شرودنجر" **Erwin Schrodinger** (1887-1961) في الواقع لم تكن إلا وصفا تقريبا للفيزياء المجهرية، لكنها تفشل بالتأكيد إذا حاول الفيزيائيون ذلك. والجزء المركزي في الفيزياء الذي أهمله "شرودنجر" في صياغته لميكانيكا الكوانتم هو النسبية الخاصة. فجمع آينشتاين القوانين التي تحكم الطبيعة ونسقتها في نظرية النسبية الخاصة، فالضوء المنبعث من جسم ما (سواء أكان منعكسا أو مباشرا) يسير بالسرعة ذاتها سواء أكان الجسم متحركا أو ثابتا، " فأنت لن تضيف سرعة إلى سرعة الضوء" و لا يوجد أي جسم مادي قادر على التحرك بأسرع من الضوء⁽¹⁾. و أكثر إيضاحا، اعتمد آينشتاين الفرضية الأساسية في أننا سنجد دوما الضوء يتحرك بالسرعة الثابتة نفسها مهما أوتينا من جهد في محاولة للحاق به⁽¹⁾. لنصغ لذلك من خلال لغة التناظر فنقول أن سرعة الضوء لا متغيرة بالنسبة إلى الجميع المراقبين. تقوم نظرية النسبية الخاصة لآينشتاين على مبدئين:

- مبدأ النسبية: جميع حالات الحركة المنظمة- و التي تدعي بجمل المقارنة العطالية متكافئة في ما بينها في ما يخص وصف الظواهر الفيزيائية.

- مبدأ ثبات سرعة الضوء : جميع المراقبين سوف يحصلون على القيمة نفسها لسرعة الضوء بواسطة أي تجربة قياس يجرونها في أي جملة مقارنة عطالية.
المبدأ الأول مستعار بساطة من غاليليو، بينما المبدأ الثاني هو نتيجة لتجربة فعلية (تجربة مايكلسون-مورلي) يتم فرضها الآن كمبدأ تناظري جديد تطبق على الطبيعة⁽¹⁾.

وفي الواقع حاول "شروندجر" أن يضمن النسبية الخاصة في النهاية، إلا أن معادلة الكوانتم الناتجة من ذلك، كانت تعطي تنبؤات ثبت أنها متناقضة مع القياسات التجريبية للهيدروجين. وقد ألهم ذلك "شروندجر" أن يتناول الأمور بالتقليد الذي يقدر فعل الزمن في الفيزياء، فيتناول قسما فقهما للتغلب عليها، تتضمن كل معرفتنا من العالم الفيزيائي من أجل وضع نظرية جديدة. فوجد "شروندجر" إطارا رياضيا يشتمل على ثنائية الموجة والجسيمة المكتشفة تجريبيا، لكنه تضمن النسبية في هذه المرحلة المبكرة من عمله. وسرعان ما أدرك علماء الفيزياء أن النسبية الخاصة بمثابة المركز للإطار السليم لميكانيكا الكوانتم. ويرجع ذلك إلى أن الغرابة المجهرية تتطلب أن الطاقة يمكن أن تتخذ أشكالا مختلفة- وهي مفهوم يأتي من النسبية الخاصة. وبإهمال النسبية الخاصة فإن منطق "شروندجر" قد أهمل قابلية التحول للمادة والطاقة والحركة⁽¹⁾.

وقد ركز علماء الفيزياء جهودهم الأولى لفتح الطريق أمام مزج النسبية الخاصة بمفاهيم كوانتم وذلك تطبيقا على القوى الكهرومغناطيسية وتداخلها مع المادة. ومن خلال سلسلة من التطورات الملهمة وضعوا علم الكهرباء الديناميكية الكوانتية. ومن مثال على ما

أصبح يسمى فيما بعد بنظرية مجال كوانتم النسبي أو بنظرية مجال الكوانتم اختصاراً. وهي كمية لأنها تتضمن كل الأمور المختلفة وغير المؤكدة منذ لحظة البداية، وهي نظرية مجال لأنها تمزج مبادئ الكوانتم في المفاهيم الكلاسيكية السابقة عن مجال القوة - وهي في هذه الحالة مجال ماكسويل الكهرومغناطيسي - وفي النهاية هي نسبية لأنها تتضمن كذلك النسبية الخاصة من البداية.

وقد ألهم النجاح الذي حققه "الإلكتروديناميك الكوانتية" علماء الفيزياء الآخرين خلال عقدي الستينيات والسبعينيات من القرن العشرين أن يحاولوا تطوير منطلق مشابه لفهم القوى الضعيفة والقوية والجاذبية من وجهة نظر ميكانيك الكوانتم. وقد ثبت أن هذه الطريقة مثمرة جداً بالنسبة إلى القوى الضعيفة والقوية. وكما في حالة "الإلكتروديناميك الكوانتية" - *dynamique Quantique Electro*، فإن علماء الفيزياء تمكنوا من وضع نظرية مجال الكوانتم للقوى القوية والضعيفة، أطلق عليها اسم "الكروموديناميكا الكوانتية" *Chromodynamique Quantique* و"نظرية الكهربائية الضعيفة الكوانتية" *Théorie Electrofaible Quantique* والاسم "الكروموديناميكا الكوانتية" أكثر بهجة عن الاسم الأكثر المنطقية "الديناميكا القوية الكوانتية"، غير أن ذلك مجرد اسم من دون أي معنى عميق.

2- النسبية العامة لمواجهة ميكانيكا الكوانتم

ماذا يحدث عندما يلتقي ميكانيك الكوانتم بالنسبية الخاصة؟ شيء لا يصدق.

خطرت ذات يوم من عام 1926 فكرة لفيزيائي نظري لامع هو بول ديراك **Paul Dirac** (1902-1984). يقول بمبدأ الانتقاء (الاستبعاد) لباولي بعدم إمكانية وضع إلكترونين في نفس حالة الحركة الكوانتية تماماً في الوقت نفسه. يعني هذا أنه فور قيام إلكترون ما يشغل

حالة حركة معطاة(حالة كوانتية)، فإن هذه الحالة تصبح مملوءة، و لا يمكن لإلكترونات أخرى الانضمام إليها (1).

- موقف بول ديراك

يعد "بول ديراك" العلم النظري الإنجليزي الوحيد الذي يمكن أن يوضع في صف نيوتن، فقد طور أكثر الصور احتمالاً لميكانيكا الكوانتم، ومع أن "هايزنبرج" قد أشار إلى خاصية عدم التبادل في متغيرات ميكانيكا الكوانتم -المصفوفات(1). فرأى "بول ديراك" صاحب نظرية الكوانتم الجديدة أن مجموعتي الأفكار المنفصلتين، نظرية الكوانتم الحديثة ونظرية النسبية كانتا صحيحتين. ولكن المشكلة كانت الجمع بين مجموعتي الأفكار هاتين واستنباط نظرية كوانتية خاضعة لمبدأ النسبية(1)، فالمزج بين نظرية كوانتم ونظرية النسبية الخاصة أدى إلى فتح الباب على مصراعيه لإمكانيات جديدة لم تكن متطورة من قبل. وحتى ذلك الوقت بقيت معادلة "شرودنجر" التي استخدمها فيزيائيون لوصف أمواج المادة غير متوافقة رياضياً مع مبادئ النسبية الخاصة، وهذا ما دفع "ديراك" إلى محاولة وضع صيغة بديلة تحقق التوافق المنشود لكنه وجد أنه لا يمكن الحصول على الصيغة المرضية باستخدام الوسائل الرياضية المتاحة آنذاك. ولذلك كان عليه أن يخترع مقداراً جديداً أسماه سبيناً Spin* للجسيمات دون الذرية ميزة أساسية هامة تتمثل في عزم الدوران أو الحركة المغزلية. فهذا السبين خاصية ميكانيكية كوانتية لا شبيه لها في الميكانيك غير الكوانتي. يأخذ سبين الجسم دوماً قيماً هي أضعاف صحيحة (غير كسرية) من وحدة قيمتها $\frac{1}{2} \frac{\hbar}{\pi 2}$ ، (حيث \hbar : ثابت بلانك و π تساوي 3,14). فمثلاً سبين الإلكترون يساوي $\frac{1}{2}$ ، وسبين الفوتون يساوي 1(1). أمكن معادلاته الجديدة من

حيازة نوع من التناظر الموجود أصلا في صلب النسبية الخاصة. في كثير من التطبيقات، لا تختلف نتائج استخدام معادلة "ديراك" عن النتائج السابقة لها إلا بشكل طفيف، إلا أن وضع هذه المعادلة أدى إلى ظهور سمتين أساسيتين وجوهريتين لا تقلان في غرابتهما عن غرابة ظواهر عالم الكوانتم الأخرى كافة.

السمة الأولى كانت تخص تصرف الجسيمات لدى تدويرها، تبعا لقوانين الكوانتم، هناك تنبؤات (احتمالية) محددة حول تصرفات الأجسام أثناء حركتها على مسارات منحنية أو دائرية، وقد وجد "ديراك" أن تماسك تلك القوانين يستدعي بالضرورة أن يدور الجسيم على نفسه على نحو ما. إن حركة الإلكترون حول النواة تشابه حركة دوران الأرض حول الشمس وحول محورها، إلا أن حركة دوران الإلكترون حول نفسه خاصته متميزة ومحيرة لا تظهر في دوران الأرض حول نفسها. تصور كرة تدور حول محورها الشاقولي باتجاه عقارب الساعة، وافترض أننا قلبنا محور الدوران رأسا على عقب. طبعا ستستمر الكرة بالدوران حول المحور نفسه لكنه بعكس اتجاه عقارب الساعة. إذا قلبنا الكرة مرة أخرى بحيث تعود إلى وضعها الأصلي فإنها ستعود إلى حالتها الأولى، وسيصبح الدوران باتجاه عقارب الساعة ثانية، بينما الأمر عند ذلك في الأجسام الصغيرة كالإلكترونات، فالإلكترون لا يعود إلى خاصته الأولى بعد تدويره حول محور عمودي على محور تدويره دورة كاملة، كما في مثال الكرة السابق، بل يحتاج إلى دورتين كاملتين. إن أصل هذه الطبقة المزدوجة للإلكترون يخص سلوك الموجة المقترنة به عند التدوير، إذ يعد تدويره دورة كاملة تتبادل قمم وقاع موجاته مواضعها، ولا تعود إلى حالتها الأصلية إلا بعد دورة كاملة ثانية. كل هذا يدل على أن حركة التدوير (المغزلية) للجسيم دون الذري تختلف فعلا عن الصورة الذهنية البسيطة لدوران الكرة⁽¹⁾.

السمة الثانية أن معادلاته - "ديراك" - لها حلول، فافتراض أن كل حل من حلول المعادلة يمثل وصفا لحالة فيزيائية ما. فمثلا لو تم استخدام المعادلة لاستقصاء حركة الإلكترون في مداره حول ذرة الهيدروجين، فإن كل حل لها يجب أن يطابق حالة ممكنة معينة من حالات الحركة. لكن معادلة "ديراك" كما كان متوقعا، تقبل عددا لانهايا من الحلول واحد لكل مستوى من مستويات طاقة الذرة، وفوق ذلك الحركات الإلكترونية عالية الطاقة التي تتحول بحرية تامة بعيدا عن أثر جذب نواة الهيدروجين لها. لكن الأمر المقلق في اكتشاف حلول ليس لها ما يقابلها في الواقع الفيزيائي، وقد بدت هذه الحلول عديمة المعنى للوهلة الأولى. لقد وجد أن مقابل كل حل يصف إلكتروننا ذا طاقة معينة، يوجد حل آخر، كأنه خيال للحل الأول في مرآة تصف إلكتروننا آخر ذا طاقة مساوية لكن سالبة (1).

فمعادلة "ديراك" تنبأت بوجود نوع جديد من المادة لم يعرف من قبل، فهي تصف جسما جديدا له شحنة كهربائية موجبة - أي شحنة مضادة لشحنة الإلكترون. وقد اعتقد "ديراك" في بادئ الأمر أن الجسيم المتوافق مع هذا الحل الجديد يجب أن يكون بروتون، وهو الجسيم الموجب الوحيد المعروف في ذلك الوقت (1). ولكن الأمر الذي يجعلنا نعود إلى المشاكل القديمة التي تقتضي بالبحث عن السبب الذي يحمي الذرة من الانهيار. الأكثر من ذلك، فإنه لا يوجد حد لعدد الحالات الديراكية سالبة الطاقة، الأمر الذي يهدد كامل المادة في الكون بالانزلاق نحو هاوية لا قرار لها في وسط يعج بكميات لا متناهية من أشعة "جاما" (1)Gama.

- موقف باولي فولفجانج

بعدما اقترح "ديراك" الفكرة التالية: لماذا لا يكون عدم انهيار المادة العادية في الهاوية التي لا قرار لها ناتجا عن كون مستويات الطاقة السالبة كافة محتلة أصلا من قبل جسيمات أخرى؟ ف جاء اكتشاف التعليل لهذه الفكرة على يد الفيزيائي الألماني "باولي فولفجانج" **Pauli Wolfgang (1900-1958)** عام 1925، حيث كان يدرس خواص الجسيمات الدوامة (ذات السبين)، لا إفراديا بل مجتمعة. إن الطبيعة الازدواجية في السبين ذات صلة وثيقة بأسلوب استجابة جسيمين أو أكثر للتقارب فيما بينهما. فكنتيجة للخواص الموجية يتحمس كل إلكترون وجود الآخر إلى جواره، لا بفضل القوة الكهربائية بينهما، بل بسبب تداخل قمم وقاع كل موجة مع نظيراتها في الموجة الأخرى. إن دراسة هذا المفعول رياضيا تبين وجود نوع من التنافر يحول دون أن يحتل أكثر من إلكترون واحد حالة كوانتية واحدة. وعلى وجه التقريب، لا يمكن لإلكترونين أن ينحشرا في بوتقة واحدة جد متجاورتين: فكأن لكل إلكترون مقاطعته التي لا يسمح لغيره بغزوها ⁽¹⁾. برهن باولي في الحقيقة أن مبدأ الانتقائي من أجل الجسيمات بتدويم (سبين) $-\frac{1}{2}$ إنما ينجم عن تناظرات "لورنتز" **Hendrik Lorentz (1853-1929)** و التناظرات الدورانية الأساسية في قوانين الفيزياء. يتضمن البرهان تفصيلا رياضيا لما يحصل للجسيمات بتدويم (سبين) $-\frac{1}{2}$ عند ما يتم تدويرها، إذ يكافئ تبديل جسيمين متطابقين في حالة كوانتية تصف منظومة ما تدوير هذه المنظومة عبر 180 درجة في فضاءات و تشكيلات معينة، و عندها يعطي سلوك التوابع الموجية الموافقة للجسيمات بتدويم $-\frac{1}{2}$ اشارة الناقص تلك ⁽¹⁾.

يتضمن مبدأ "باولي" مبدأ الانتفاء (أو عدم التعدي) أنه إذا كانت الذرة ذاتها التي قد تحتوي على عشرات الإلكترونات الموجودة على مدارات حول نواتها، فللهولة الأولى يبدو أن الإلكترونات كافة يجب أن تنزلق إلى أخفض مستوى طاقي

ممكّن،... ولو تيسر لها ذلك، لاختلطت الإلكترونات معاً بشكل عشوائي ولا أصبح من الصعب تصور وجود رباط كيميائي مستقر يضمن ترابط الذرات معاً لتشكيل جزيئات المواد الكيميائية المختلفة. لكن هذا لا يحدث، بل تنتظم الإلكترونات حول النواة في مدارات تغلق بعضها بعضاً، حيث يمنع الإلكترون في المدار الخارجي من النزول إلى المدار الداخلي وذلك بما ينسجم مع مبدأ الانتقاء، ولولا هذه الخاصية لانكشفت جميع الذرات الثقيلة إلى حطام⁽¹⁾.

نعود مرة أخرى إلى مشكلة حالات الطاقة السالبة التي تنبأ بها "ديراك" في معادلته، ولننظر كيف أن مبدأ "باولي"⁽¹⁾ و الذي أغفل أهميته أحياناً، لكنه في الحقيقة، مفهوم أساسي له تأثير بالغ يماثل تأثير النسبية، وله تطبيقات واسعة في الفيزياء⁽¹⁾. و هذا المبدأ يقدم الحل لذلك اللغز المحير: فكما أن الإلكترون لا يستطيع النزول إلى مستوى طاقة أخفض يحتلها إلكترون آخر، فإن الإلكترون الموجود في أخفض مستوى طاقي موجب لا يستطيع النزول إلى مستوى طاقي سالب، وبالتالي إلى الهوية التي لا قرار لها، إذا كانت مستويات الطاقة السالبة جميعاً ممتلئة بالإلكترونات. إنها فكرة بسيطة ورائعة، إلا أن فيها عيباً واضحاً، إذ أين هي تلك الإلكترونات (ومعها الجسيمات) ذات الطاقة السالبة التي تملأ هذه الهاوية؟ الأكثر من هذا وبما أن الهاوية بلا قرار، فإنه يجب أن يكون هناك عدد لانتهائي من الجسيمات لملئها، ويأتي جواب "ديراك"، الذي يبدو للوهلة الأولى مجرد خدعة، ليقول أن هذا العدد اللانتهائي من الجسيمات ليس محسوساً لنا، وأن ما نظنه عادة خلاء، مطلقاً ليس خلاء على الإطلاق بل هو مليء ببحر لامتناه من مادة ذات طاقة سالبة لا نشعر بها.

تنبأت معادلة "ديراك" بوجود جنس جديد كلياً من المادة، تعرف اليوم بالمادة المضادة. ففي الإلكترون **Karl Anderson** عام 1932 اكتشف الفيزيائي الأمريكي "كارل أندرسون" والذي شحنته موجبة - وسط وابل من الجسيمات الذرية Positron المضاد - البوزيترون الواردة ضمن الأشعة الكونية من الفضاء الخارجي، فالمادة المضادة - الضبابية في بعض

المراجع - لا تعيش طويلا، ذلك لأن الفجوة في بحر الطاقة السالبة تمثل مكانا مريحا يسعى إليه كل جسيم ذي طاقة موجبة - شحنة كهربائية سالبة - فلدى تلاقي إلكترون عادي مع مثل هذه الفجوة يقوم باحتلالها مباشرة ليختفي كليا من الكون تاركا مكانه مقدارا من أشعة يساوي الفرق بين طاقته الأصلية وطاقة الفجوة التي احتلها. إن هذه الحادثة "Gama جاما" هي العملية المعاكسة لخلق زوجي الجسيم (الإلكترون) والجسيم المضاد (بوزيترون)، ونرى عادة لدى تصادم إلكترون مع بوزيترون وما يتبعه من فئتهما المشترك وإصدار لأشعة "جاما". وهكذا⁽¹⁾، عندما تصطم المادة بالمادة المضادة فإن إحداها تقني الأخرى مع إصدار كثير من الطاقة (تحول مباشر للطاقة السكونية) على شكل خلق جسيمات أخرى. ببساطة يقفز الإلكترون هنا نحو ثقبه في "بحر ديراك" ، و تظهر الطاقة الصادرة في الغالب على شكل فوتونات أو غيرها من الجسيمات ذات الكتلة الضئيلة⁽¹⁾.

على الرغم من النجاح الذي لاقته نظرية "ديراك" حول البحر اللامتناهي من جسيمات الطاقة السالبة، إلا أنها بقيت كنموذج افتراضي يحتاج إلى معالجة رياضية أعمق لتستطيع تقديم تفسير شامل لنشوء المادة واختفائها.

3- الجمع بين النسبية العامة وميكانيكا الكوانتم

يجري استخدام النسبية العامة والتي بدأت بمجموعة فروض مصاغة صياغة رياضية، يمكن أن تشتق منها بطريق غير مباشر وقائع تقبل الملاحظة بفضل براهين رياضية معينة. تتناول النظرية النسبية تصورا جديدا للكون، كما أنها تقدم تفسيراً جديدا لحركات الأجسام وجاذبيتها، و تقدم فروض جديدة عن نشأة الكون⁽¹⁾، في الحياة العادية في المسافات الفلكية الهائلة وبالنسبة إلى مسافات هذا الشكل فإن نظرية "ألبرت آينشتاين" **Albert Einstein (1879-1955)** تعني أن غياب الكتلة معناه تسطح الفضاء، وللربط بين النسبية العامة وميكانيكا الكوانتم لا بد من الفيزيائيين من تغيير اهتمامهم بشكل حاد

واختبار الخواص المجهرية المكروسكوبية للمكان... وبتكبير مناطق صغيرة جدا في نسيج الفضاء، حتى يصل إلى مقاييس صغيرة الطول، فإن ميكانيكا الكوانتم ستغير هذه النتيجة جذريا. "فكل شيء" معرض للتأرجحات الكمية المتأصلة في مبدأ اللايقين - حتى مجال الجاذبية. لأن مجالات الجاذبية تظهر على أنها تقوس وانحناء - أو التواء و انعطاف أو انثناء و اعوجاج- في الهندسة بنية الزمكان بسبب وجود المادة. يولد السقوط الحر في مركبة فضائية تدور حول كوكب الأرض الذي يلوي و يثني المكان بجاذبية شعورا بانعدام الوزن، و بالتالي تكافئ هذه الحركة- من وجهة نظر المراقبين- حركة حرة في فضاء خال لا وجود لأجسام كبيرة فيه تولد تقوسا وانحناء للمكان. فإن التأرجحات الكمية تظهر نفسها تشوهات متزايدة العنف للفضاء المحيط. ومنه فيظهر تأرجح عشوائي كمي (كوانتي) في مجال الجاذبية ويقابله اعوجاج شديد في الفضاء بحيث لم يعد يمثل جسما هندسيا ذا انحناءات رقيقة كما في حالة الغشاء المطاطي الذي يتخذ شكلا رغويا هائجا ملتويا. وعلى مثل هذه المقاييس للمسافات الصغيرة فإننا نرى عدم التوافق الأساسي بين النسبية العامة وميكانيكا الكوانتم. وقد «حطمت التأرجحات الكمية العنيفة التي تظهر عند مقاييس المسافات الصغيرة مفهوم الشكل الهندسي الفضائي الهادئ الذي هو المبدأ المحوري في النسبية العامة». وعلى المقاييس فوق المجهرية فإن السمة المحورية لميكانيكا الكوانتم - مبدأ اللايقين - تتناقض مباشرة مع السمة المحورية للنسبية العامة⁽¹⁾.

وعمليا يقحم هذا التناقض نفسه في كل أمر أساسي. فالحسابات التي تمزج بين معادلات النسبية العامة وميكانيكا الكوانتم تؤدي بالضرورة إلى نفس الإجابة غير المنطقية: ما لا نهاية. وتشبه الإجابة بما لا نهاية أثرا حادا تركه معلم من الطراز القديم بأن الفيزيائيين ارتكبوا خطأ جسيما⁽¹⁾. وكيف يمكن أن يقبلوا بأن ما

لا نهاية ينسجم مع الطبيعة⁽¹⁾. ولا تستطيع معادلات النسبية العامة أن تتعامل مع الجنون الغاضب للرجوة الكمية (للمكان والزمان).

إذن محاولة دمج النسبية و الميكانيكا الكوانتية كان السبب في ظهور نظرية الأوتار الفائقة الطامحة نحو توحيد تام لجميع القوى الطبيعية، مما أدى إلى اعتمادها على وجود مصادفات سحرية و إلغاءات عجائبية، و رياضيات صعبة و معقدة(أي أنها قائمة على علاقات عالية التجريد، منها التناظر الفائق) وتتميز أيضا بالاتساق المنطقي القائم على الاستنباط العقلي، و هذا ما يجعلها مستعصية التحقق تجريبيا.

وتسمح لنا المبادئ الأساسية للنسبية العامة وميكانيكا الكوانتم بحساب المقاييس التقريبية للمسافات التي علينا أن ننزل إلى أصغر منها لتظهر الظاهرة الغريبة - وهي الاعوجاج في نسيج الفضاء - وتتضافر كل من صغر ثابت "ماكس بلانك" **Max** **Planck** (1858-1947) والضعف الذاتي لقوى الجاذبية ليعطينا ما يعرف اسم "طول بلانك" الذي طوله يساوي $10^{-33} \times 1,616$ سم. وهكذا، يصبح عدم التوافق بين النسبية العامة وميكانيكا الكوانتم واضحا فقط في جزء صغير من الكون (مستوى محدود من الكون). ولهذا السبب قد نتساءل عما إذا كان ذلك يستحق المعاناة؟ في الحقيقة هناك اختلاف بين الفيزيائيين فهم لا يتخذون موقف واحد عند تناول هذا الموضوع. ففي رأيهم أن عدم التطابق يشير إلى عيب أساسي في فهمنا للعالم الفيزيائي فحاول الفيزيائيين بمحاولات عديدة لتقحيح النسبية العامة أو ميكانيكا الكوانتم بشكل أو بآخر لتجنب هذا التناقض، إلا أنها باءت بالفشل.

