النسبية الخاصة نظرية غير صحيحة

د. جمال الدين أحمد إبراهيم عزام

النسبية الخاصة نظرية غير صحيحة

د. جمال الدين أحمد إبراهيم عزام- دكتوراة في الرياضيات التطبيقية

الخلاصة

يتناول هذا البحث ثلاثة أسباب تثبت أن نظرية النسبية الخاصة غير صحيحة. ففي تلك النظرية؛ سرعة الضوء كحد أقصى للسرعة مجرد فرض خالفه الواقع، كما أن السببية منتهكة، ومبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة؛ مجرد حيلة رياضية ابتكرت لانقاذها، ويؤدي بالضرورة إلى ازدواجية في المفاهيم الميكانيكية، وإلى عدم قدرة النظرية على التنبؤ بنتائج الميكانيكا التقليدية، كما أن هذا المبدأ يصدر تناقضات عديدة إلى ميكانيكا الكم، ويوضح البحث كيف أن تلك التناقضات تنتهي بعدم أخذه، وبالتالي نظرية النسبية الخاصة، في الحسبان.

مقدمة

في هذه المقدمة، مراجعة سريعة لبعض مفاهيم الميكانيكا التقليدية.

ما هي الكتلة؟

كتلة نظام ما هي كمية مادته. هذا التعريف هو أدق تعريف للكتلة.

وللكتلة خواص معروفة:

- تظل كتلة النظام المغلق[1] مقدارا ثابتا مع تغير الزمن، وهو ما يعرف بقانون حفظ الكتلة.
- كتلة النظام مستقلة عن الإطار المرجعي للرصد.
- الكتلة الكلية لنظام تساوي مجموع كتل أجزاءه.

ما هو الجسيم؟

الجسيم هو نموذج رياضي لتبسيط النظام الميكانيكي يجنبنا الدخول في تعقيدات تركيبه الداخلي؛ وهو اختزال للنظام في نقطة بلا أبعاد ولها كتلته، ويفترض دائما أنه ماكروي[2]؛ طالما كانت قوانين ميكانيكا الكم غير حاكمة[3].

فمثلا، لو كان النظام سيارة كتلتها $2000\,kg$، فإننا وفق نموذج الجسيم، نستعيض عن السيارة ككل بنقطة تمثل مركز ثقلها ولها نفس كتلتها.

وعندما يكون تركيب النظام الداخلي من أنظمة جزئية محل اهتمام، يمكن اختزال كل نظام جزئي في جسيم. وفي هذا البحث سيسمى النظام ذو مكون واحد جسيما، والمكون من عدة جسيمات نظاما.

ما هي كمية الحركة؟

كمية حركة جسيم $\vec{p}$ هي حاصل ضرب سرعته $\vec{\upsilon}$ في كتلته m؛ $\vec{p} = m\vec{\upsilon}$، وهي كمية اتجاهية غير مستقلة عن الإطار المرجعي للرصد.

وكمية الحركة مفهوم ميكانيكي ابتكر للتمييز بين حركة الجسيمات؛ فالسرعة وحدها ليست كافية لـ ذلك. فمثلا، القوة اللازمة لإيقاف قطار أكبر بكثير منها لإيقاف ريشة، وإن كانا يتحركان بنفس السرعة، والسبب اختلاف

---

[1] النظام المغلق هو نظام لا تنتقل منه أو إليه أية كمية من المادة.

[2] (نسبة إلى ماكرو) أي ينتمي للعالم فوق الذري.

[3] إذا كانت كتلته شديدة الضآلة فهو مايكروي (نسبة إلى مايكرو)؛ أي ينتمي للعالم الذري، ويخضع لقوانين ميكانيكا الكم.

الكتلة؛ التي هي عامل أساسي لا يمكن اهماله في تعريف كمية حركة الجسيم.

ولنظام مغلق، وفي غيبة القوى الخارجية، تظل كمية الحركة الكلية ثابتة؛ وهذا هو قانون حفظ كمية الحركة.

ما هي القوة؟

القوة $\vec{F}$ هي مؤثر ديناميكي يغير من حالة الجسيم الساكن أو المتحرك بسرعة ثابتة في خط مستقيم؛ فيكسبه عجلة $\vec{a}$ في نفس اتجاه تأثير القوة، وفق القانون الثاني للديناميكا:

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

أو بدلالة كمية الحركة:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

والقوة كمية اتجاهية تعتمد على الإطار المرجعي للرصد.

وقانون القوة هو التجسيد الفعلي لمبدأ السببية، فوفق التعريف المذكور؛ القوة المؤثرة على الجسيم هي السبب، والعجلة التي يكتسبها هي النتيجة؛ ولا معنى للسببية إذا لم تكن العجلة في نفس اتجاه القوة. ويظل الجسيم يتحرك بنفس العجلة في نفس الاتجاه طالما ظلت نفس القوة مؤثرة.

وللأسف، تم استخدام القانون الثاني لتعريف الكتلة بأنها خاصية مقاومة الجسيم للتغير في سرعته، وهذا تعريف غير دقيق؛ فكمية مادة الجسيم خاصية ذاتية فيه؛ ولا تعتمد في قياسها أو حسابها على سكونه أو حركته. والكتلة لا يمكن تعيينها عند انعدام الحركة، لا من قانون القوة، ولا قانون كمية الحركة، ولا قانون طاقة الحركة. فمثلا، في حال انعدام القوة تنعدم العجلة، وتصبح الكتلة حاصل قسمة معيار كل منهما؛ أي كمية غير معينة، وكذلك الأمر عند تطبيق قانوني كمية الحركة وطاقة الحركة في حالة انعدام كل منها.

ما هو الشغل؟

إذا أثرت قوة $\vec{F}$ على جسيم فأكسبته إزاحة ما $\vec{s}$، يقال إن تلك القوة بذلت شغلا W. والشغل كمية قياسية تعتمد على الإطار المرجعي للرصد، ورياضيا هو حاصل الضرب القياسي لمتجهي القوة والإزاحة:

$$W = \vec{F}.\vec{s} = Fs\cos\theta$$

حيث θ هي الزاوية بين متجهي القوة والإزاحة.

ومن التعريف، القوة التي لا تسبب إزاحة لا تبذل شغلا، وكذلك القوة العمودية على الإزاحة؛ فلابد أن تكون للقوة مركبة في اتجاه الإزاحة لتسبب الإزاحة. ويكون الشغل موجبا، إذا كانت القوة في اتجاه الإزاحة عند نقطة تأثير القوة، وسالبا إذا كانت القوة في عكس اتجاه الإزاحة عند نقطة تأثير القوة.

والشغل يعتمد على المسار الذي يقطعه الجسيم أثناء تأثير القوة، إلا إذا كانت الأخيرة محافظة، وفي تلك الحالة لا يعتمد الشغل سوى على نقطتي بداية ونهاية المسار.

ما هي الطاقة الميكانيكية؟

الطاقة الميكانيكية E لنظام هي مجموع طاقة حركته K؛ الناشئة عن حركة جسيم أو أكثر من جسيماته، وطاقة وضعه V؛ الناشئة عن موقع جسيم داخل النظام. ومن مبدأ الطاقة-الشغل:

"محصلة الشغل المبذول على جسيم بفعل القوى الخارجية مساوية لمقدار التغير في طاقته الحركية"؛

$$\Delta K = \int_{s_1}^{s_2} \vec{F}.d\vec{s}$$

حيث $\vec{s}$ هي الإزاحة التي قطعها الجسيم بين موقعين s_1 و s_2 نتيجة بذل القوة $\vec{F}$ للشغل.

وبالتالي، تكون طاقة الحركة مقدار الشغل المبذول على جسيم لتعجيله من السكون حتى يصل إلى سرعة ما؛

$$K = \int_{s_1}^{s_2} \vec{F}.d\vec{s} = \int_0^t \vec{F}.\vec{\upsilon}dt = m\int_0^{\upsilon} \vec{a}.\vec{\upsilon}dt = \frac{m}{2}\int_0^{\upsilon} \frac{d\upsilon^2}{dt}dt$$

$$K = (1/2)m\upsilon^2$$

أما طاقة وضع النظام؛ فهي سالب مقدار الشغل الذي بذل بقوة محافظة $\vec{F}_c$، تعرف بقوة الوضع، لجلب أحد جسيماته من اللانهاية إلى موقعه في النظام[4]:

$$V = -\int_{\infty}^{0} \vec{F}_c.d\vec{s}$$

وتكون طاقة الوضع سالبة إذا كانت قوة الوضع، عند جلب الجسيم من اللانهاية، في نفس اتجاه الإزاحة؛ وتكون موجبة إذا كانت هذه القوة في عكس اتجاه الإزاحة.

وتغير طاقة الوضع بين موقعين s_1 و s_2 لجسيم بالنسبة إلى نظام، هو سالب الشغل المبذول بقوة الوضع:

$$\Delta V = -\int_{s_1}^{s_2} \vec{F}_c.d\vec{s}$$

فإذا كان التغير سالبا، تكون طاقة الوضع مفقوده من النظام، والشغل المبذول بقوة الوضع ينقلها منه إلى الجسيم. أما إذا كان هذا التغير موجبا، تكون طاقة الوضع مكتسبة للنظام، والشغل المبذول بقوة الوضع ينقل الطاقة من الجسيم إليه.

---

[4] خلافا لطاقة الحركة؛ لا توجد طاقة الوضع لجسيم بل لنظام؛ فطاقة الوضع هي طاقة ناشئة عن قوة متبادلة بين مكونات نظام ما؛ ترتب هذه المكونات في مواقع ما. وتغير هذا الترتيب يغير هذه القوة؛ فتتغير تلك الطاقة. وللتبسيط، نعزل مكونا من النظام (جسيما) عن باقي المكونات (الجسيمات)، ونعد حقل قوتها المؤثرة عليه هو حقل قوة الوضع، ونقيس طاقة وضع النظام على أساس موقع هذا الجسيم.

وتخـزن طاقـة الوضـع المكتسـبة فـي حقـل قـوة الوضـع، ثـم مـا تلبـث أن تتحـرر، فـي غيـاب القـوى الخارجيـة، فـي صـورة طاقـة حركـة، وتعـود مكونـات النظـام لمواقعهـا الابتدائيـة تحـت تـأثير قـوة الوضـع؛ لـذلك تعـرف أحيانـا بقـوة الاسترجاع.

فمـثلا، إذا كـان النظـام هـو سـلك زنبركـي أفقـي مثبـت مـن طرفـه الأيسـر، بينمـا طرفـه الأيمـن مثبـت فـي ثقـل قابـل للحركـة عرضـيا، وقمنـا بشـد الثقـل مسـافة مـا، وتـم تثبيتـه؛ فـإن السـلك يكـون مكتسـبا لطاقـة وضـع بسـبب الشـغل النـاتج عـن قـوة الشـد الخارجيـة[5]؛ التـي نقلـت طـرف السـلك إلـى وضـع جديـد. وهـذه الطاقـة مخزنـة فـي حقـل قـوة المرونـة؛ التـي تعمـل علـى إعـادة طـرف السـلك إلـى وضـعه الابتدائي عند إزالة قوة الشد.

ولأن قـوة الوضـع محافظـة؛ أي لا تعتمـد (وبالتـالي الشـغل) علـى مسـار الحركـة، بـل علـى بـدايتها ونهايتهـا فقـط[6]؛ تكـون القـوة سـالب تـدرج طاقـة الوضع؛

$$\vec{F}_c = -\nabla V$$

وفي هذه الحالة، من مبدأ الطاقة- الشغل:

$$\Delta K = \int_{s_1}^{s_2} \vec{F}_c . d\vec{s} = \int_{s_1}^{s_2} -\nabla V . d\vec{s} = \int_{s_1}^{s_2} -dV = -\Delta V$$

ومنها:

$$\Delta E = \Delta K + \Delta V = 0$$

[5] مـع اهمـال كتلـة السـلك، واحتكـاك الثقـل بالسـطح أثنـاء الحركـة، يكـون النظـام واقعـا تحـت تـأثير قـوتين؛ قـوة داخليـة؛ هـي قـوة الوضـع المحافظـة؛ التـي هـي قـوة المرونـة، وقـوة خارجيـة؛ هـي قـوة الشـد. ولكـي تكـون القـوة الأولـى هـي الوحيـدة المـؤثرة علـى النظـام، يشـد الطرف الحر للسلك لحظيا ويترك؛ حتى لا تظل قوة الشد الخارجية مؤثرة.

[6] بغيـر ذلـك لا يكـون تعريـف دالـة الوضـع عنـد أيـة نقطـة فـي الفضـاء ممكنـا؛ لأنـه عنـد النقطة الواحدة سيكون لها أكثر من قيمة مع اختلاف مسار الشغل.

وبذا عندما تكون القوى الوحيدة المؤثرة على النظام محافظة[7] تكون طاقته الميكانيكية مقدارا ثابتا؛ وهذا هو قانون حفظ الطاقة الميكانيكية.

فمثلا، لنظام مكون من كرة تنس والكرة الأرضية، مع عد حقل قوة الوضع هو حقل قوة الجاذبية الأرضية، وقذف أحدهم بالكرة إلى أعلى، فإنه بإهمال قوى الاحتكاك ومقاومة الهواء[8]، ستنطلق من يده مكتسبة طاقة حركة ما[9] تظل تنقص لحساب طاقة وضع النظام حتى تصل الكرة لأقصى ارتفاع لها؛ فتصبح طاقة وضع النظام أقصى ما يمكن، وتنعدم طاقة حركتها، ثم في طريق العودة تتزايد طاقة حركة الكرة على حساب طاقة وضع النظام، حتى تصل إلى يد الشخص بنفس طاقة حركتها التي أطلقها بها، بينما طاقة وضع النظام في أقل قيمتها. ويظل مجموع طاقتي وضع وحركة النظام كما هو، في المسافة ما بين يد الشخص وأقصى ارتفاع ذهابا وإيابا.

ولابد من ملاحظة أنه عند التعرض للطاقة الميكانيكية، تهمل الطاقة الداخلية للنظام[10]. لذا عندما تذكر كلمة طاقة عموما أو طاقة الحركة أو طاقة الوضع، لابد أن يفهم أن المقصود طاقة ميكانيكية، ما لم ينص على غير ذلك.

---

[7] في غيبة القوى الخارجية يكون النظام معزولا، وتكون طاقته الكلية ثابتة. ولكن لكي تكون الطاقة الميكانيكية هي طاقته الكلية الثابتة؛ لا بد، بالإضافة إلى عزلة النظام، أن تكون القوى الوحيدة المؤثرة عليه محافظة.

[8] إذا لم تهمل هذه القوى لا تكون القوة الباذلة للشغل محافظة، ولا يمكن تعريف طاقة الوضع، ولا يتحقق قانون حفظ الطاقة الميكانيكية.

[9] لاحظ أن القوة التي قذفت بها الكرة لم تعد مؤثرة بعد تركها يد الشخص، وبالتالي قوة الوضع المحافظة؛ وهي هنا قوة الجاذبية، هي القوة الوحيدة المؤثرة على النظام.

[10] الطاقة الداخلية لنظام هي مجموع طاقة وضع المخزنة في حقل القوة المتبادلة بين جزيئاته، والطاقة الناتجة عن حركاتها الانتقالية والدورانية والذبذبية.

التحليل

وهم الحد الأقصى للسرعة

تعتمد النسبية الخاصة فرضين:

- قوانين الفيزياء متطابقة في جميع الأطر المرجعية القصورية.
- سرعة الضوء في الفراغ ثابتة بالنسبة لجميع الأطر المرجعية القصورية.

ومن الآن فصاعدا سأستخدم، للاختصار، مصطلح "الإطار المرجعي" دون إضافة كلمة "قصوري"، على أن يكون مفهوما أنه قصوري.

أولا، المبدأ الأول غير مصاغ بطريقة مانعة؛ فقوانين الفيزياء تعبير فضفاض؛ لأن قوانين الفيزياء المكانية؛ أي المنسوبة للمكان ثلاثي الأبعاد، ليست متطابقة في جميع الأطر المرجعية، بل الأطر المرجعية الذاتية؛ أي بالنسبة للراصدين الذاتيين. بمعنى أنه لو كان هناك معملين يتحركان بالنسبة لبعضهما بسرعة ثابتة، فإن التجارب الفيزيائية التي يجريها كلا من الراصدَين الذاتيين، كل في معمله، سيستخدمان فيها نفس القوانين الفيزيائية المكانية، وسيحصلان على نفس النتائج الكمية. لكن عند رصد أي منهما لمعمل الآخر، ستتغير صياغة القوانين المكانية، وستختلف النتائج. وهذا الإختلاف ينتهي إذا كانت قوانين الفيزياء مصاغة في فضاء منكوفسكي الزمكاني؛ لأن المرصودات ستكون في هذه الحالة منسوبة للزمكان رباعي الأبعاد كأطوال متجهات زمكانية؛ وهي ثابتة بالنسبة لجميع الراصدين بالفعل.

آخرا، الفرض الثاني يحتاج أن يفهم جيدا؛ فالثبات المقصود لسرعة الضوء ليس ثباتا مستقلا؛ فسرعة الضوء في النسبية الخاصة ليست لها قيمة ثابتة وحسب، بل هي أيضا من الـلا متغيرات اللورنتسية؛ أي أن قيمتها ثابتة بتعويض متبادل بين الزمان والمكان يفترض ضمنا نسبيتهما، وإلا لما كانت

النسبية الخاصة حلا لاتفاق جميع الراصدين على قيمة سرعة الضوء؛ أي عدم انصياعها لقانون نسبية السرعة التقليدي.

ونتيجة للفرض الثاني، وبالنسبة لراصد خارجي (غير ذاتي) النظام المتحرك بسرعة يعتد بها بالنسبة لسرعة الضوء، زمنه يبطىء كما أن طوله ينكمش في نفس اتجاه حركته، والمُعامل الذي يتحكم في ذلك هو معامل لورنتس:

$$\gamma(\vec{\upsilon}) = \frac{1}{\sqrt{1-(\vec{\upsilon}.\vec{\upsilon}/c^2)}}$$

حيث $\vec{\upsilon}$ هي سرعة الإطار المرجعي الذاتي بالنسبة لإطار مرجعي خارجي، و c ثابت هو سرعة الضوء في الفراغ.

ومعامل لورنتس هو العلامة المميزة للنسبية الخاصة، ويؤول إلى الوحدة؛ ومن ثم يصبح تأثيره في قوانين الحركة مهملا، عندما تكون سرعة النظام صغيرة مقارنة بسرعة الضوء.

كما أن معامل لورنتس غير معرف عند تجاوز سرعة النظام لسرعة الضوء؛ مما رتب نتيجة من أهم نتائج النسبية الخاصة؛ وهي عدم قدرة النظم مادية أو غير مادية تخطي سرعة الضوء في المكان. ولكن هل هذا صحيح؟ أي هل هذا القيد من نتائج النظرية؟

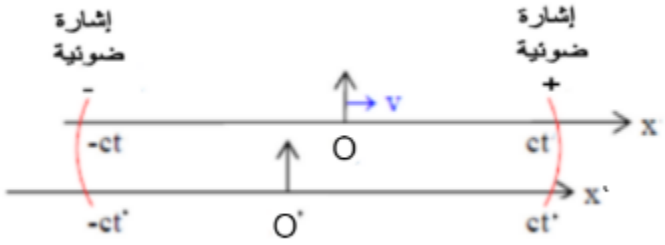
في حقيقة الأمر، هذا القيد متضمن في فرض النسبية الخاصة الثاني؛ الذي يعني بالضرورة أن النظم تتحرك في الزمكان بسرعة ثابتة هي سرعة الضوء، وهذا يعني بالضرورة أيضا ألا يتمكن نظام مادي أو غير مادي من تجاوز سرعة الضوء في المكان. فالنظام الساكن يتحرك في الزمان بسرعة الضوء، فإذا بدأ يتحرك في المكان انتقص من سرعته في الزمان[11] لصالح سرعته في المكان، بحيث تظل سرعته في الزمكان مساوية لسرعة الضوء. وهكذا فإن النظام يصل لأقصى سرعة له في المكان إذا أصبحت سرعته في

[11] وينعكس ذلك في صورة تباطؤ للزمن بالنسبة لراصد خارجي.

الزمان صفرا؛ أي إذا توقف مرور الزمن عليه وأصبحت سرعته في المكان سرعة الضوء. ولأن تحويلات لورنتس، وبالتالي معامل لورنتس، هو النتيجة الرياضية المباشرة للفرض الثاني، إذن عدم تخطي سرعة الضوء أساس في استنتاجه، وبالتالي ليس الأمر أن كمية الحركة، مثلا، تصبح غير معرفة عند تجاوز سرعة الضوء؛ لأن معامل لورنتس سيكون في تلك الحالة غير معرف، بل لا يمكن أساسا التعويض بسرعة أكبر من سرعة الضوء في معامل لورنتس؛ لأن استنتاجه ذاته تأسس على ذلك القيد.

وكذلك من المعروف أن أحد أهم نتائج النسبية الخاصة عدم قدرة النظم المادية الوصول في سرعتها إلى سرعة الضوء في المكان، حيث يصبح معامل لورنتس لا نهائي. ومن ذلك، ولإثبات انعدام تلك القدرة، تارة تستخدم نسبية الكتلة؛ التي تصبح لا نهائية عندما تصل سرعة النظام إلى سرعة الضوء؛ فتكون القوة اللازمة لتحريكه لا نهائية؛ لأن مقاومته للحركة أصبحت لا نهائية، وتارة تستخدم طاقة الحركة التي تصبح لا نهائية عندما تصل سرعة النظام إلى سرعة الضوء، وبالتالي تصبح الطاقة اللازمة لتحريكه لا نهائية.

وأيضا، ذلك القيد متضمن في فرض النسبية الخاصة الثاني الذي تأسس عليه استنتاج معامل لورنتس. فالتجربة العقلية لأينشتين، والتي استخدمت لاستنتاج تحويلات لورنتس، تفترض راصدا في منتصف عربة قطار تتحرك بسرعة ثابتة v، معتد بها بالنسبة لسرعة الضوء، بالنسبة لراصد آخر ساكن في منتصف رصيف محطة، وعلى الراصدين حينما يصبحان حذاء بعضهما تماما، أن يسجلا زمن وصول إشارتين ضوئيتين أطلقتا في نفس اللحظة من منتصف العربة إلى طرفيها.



الراصد في منتصف عربة القطار بإطاره المرجعي المتحرك O، بسرعة ثابتة بالنسبة إلى الإطار المرجعي O' لراصد في منتصف رصيف المحطة، يسجلان وصول إشارتين ضوئيتين أطلقتا في نفس اللحظة من منتصف العربة إلى طرفيها.

ومن ثبات سرعة الضوء بالنسبة للراصد داخل القطار، وأيضا بالنسبة للراصد الخارجي، استنتج أينشتين التحويلات. ولكن لكي يتم ذلك، وهو أمر لم ينتبه إليه، لابد للراصد الخارجي أن يرى وصول إشارتي الضوء إلى طرفي العربة، وذلك يستلزم أن تكون سرعة العربة بالنسبة له؛ أي سرعة الإطار المرجعي المتحرك بالنسبة للإطار الساكن أقل من سرعة الضوء $\upsilon < c$؛ لا تساويها ولا تزيد عنها.

ولتوضيح ذلك، إذا افترضنا اتجاه حركة القطار من يسار الراصد الخارجي إلى يمينه، واتخذنا الطرف الأيمن مثالا. لو أن سرعة العربة مساوية لسرعة الضوء؛ $\upsilon = c$، لظلت الإشارة الضوئية اليمنى (+) في منتصف العربة بالنسبة للراصد الخارجي، ولن يراها تصل لطرف العربة الأيمن أبدا. وبالتالي، بالنسبة له تقطع الإشارة الضوئية اليمنى مسافة $x' = 0$، بينما للراصد داخل العربة تقطع مسافة $x = ct$.

وكذلك، لو أن سرعة العربة أكبر من سرعة الضوء؛ $\upsilon > c$، لتخلفت الإشارة الضوئية اليمنى عن منتصف العربة بالنسبة للراصد الخارجي، ولن يراها تصل لطرف العربة الأيمن أبدا. وبالتالي، بالنسبة له تقطع الإشارة الضوئية اليمنى مسافة $x' = -ct'$، بينما للراصد داخل العربة تقطع مسافة $x = ct$.

وفي الحالتين استنتاج تحويلات لورنتس غير ممكن؛ فهو ممكن فقط إذا كانت المسافة المقطوعة بالنسبة للراصدين $x' = ct'$ و $x = ct$ ؛ أي عندما يرى كلاهما الإشارة الضوئية اليمنى عند الطرف الأيمن. ونفس الأمر بالنسبة للطرف الأيسر؛ لابد أن تكون المسافة المقطوعة بالإشارة الضوئية اليسرى (-) بالنسبة للراصدين $x' = -ct'$ و $x = -ct$.

وبالتالي ليس الأمر أن النظام المادي لا يمكنه أن يتحرك بسرعة الضوء لأن معامل لورنتس سيكون في تلك الحالة لا نهائي، وبالتالي الطاقة اللازمة لتحريك النظام ستصبح لا نهائية، بل لا يمكن أساسا التعويض بسرعة للنظام المادي تساوي سرعة الضوء في معامل لورنتس؛ لأن استنتاجه ذاته تأسس على ذلك القيد.

إذن، في الواقع لا يوجد قيد فيزيائي داخل النسبية الخاصة يمنع النظم المادية أو غير المادية من الوصول في سرعتها إلى سرعة الضوء أو تجاوزها؛ القيد مفترض ابتداء.

وبذلك القيد المفترض ضمنا، استنتجت تحويلات لورنتس، وأصبح التباطؤ الزمني والانكماش الطولي ممكنين[12]، وحلت مشكلة عدم تحقيق سرعة الضوء لقانون السرعة النسبية التقليدي، وأمكن تعريف المتغيرات الديناميكية في المتصل الزمكاني. وبالتالي، إذا انتهك هذا القيد المفترض بسرعة الضوء حدا أقصى للسرعة، أصبحت نظرية النسبية الخاصة غير ممكنة.

وهكذا تكون جميع الظواهر التي تتجاوز فيها سرعة النظم سرعة الضوء، وإن كانت لا تنتقل فيها طاقة أو مادة أو معلومات، كظاهرة تجاوز

[12] من التحويلات المستنتجة سينتج التباطؤ الزمني والانكماش الطولي؛ إذ لن يحدث في التجربة تزامن في وصول الإشارتين الضوئيتين إلى طرفي العربة بالنسبة للراصد الخارجي؛ حيث ستصل الإشارة اليمنى إلى الطرف الأيمن في زمن أقل من وصول الإشارة اليسرى إلى الطرف الأيسر، كما سيرصد نفس الراصد طولا أقصر للعربة في اتجاه حركتها.

سرعة طور بعض الموجات سرعة الضوء، وظاهرة التشابك الكمي، دليلا تجريبيا على عدم صحة النسبية الخاصة.

وهكذا، يجب أن يكون مفهوما أن ما تقول به النسبية الخاصة من انكسار السببية؛ أي انعكاس تعاقب السبب والنتيجة، عند تجاوز سرعة الضوء، هو أمر ترتب على افتراض النظرية أن سرعة الضوء هي الحد الأقصى للسرعة. وبالتالي، لا يوجد سبب فيزيائي يجعل تخطي تلك السرعة مخلا بالسببية. ولكن هل النسبية الخاصة خاضعة لمبدأ السببية أساسا؟

مبدأ السببية منتهك في النسبية الخاصة

ومع مراجعة أينشتين لقوانين نيوتن، في إطار فرضي النسبية الخاصة، وجد أن قانون حفظ كمية الحركة المكاني، وبسبب التباطؤ الزمني، سيختل عند تصادم جسيمين، في حال كانت سرعتيهما معتد بها بالنسبة لسرعة الضوء، إذا ظلت كمية الحركة خاضعة لـ نفس قانونها النيوتوني؛ $\vec{p} = m\vec{\upsilon}$ ، حيث $\vec{p}$ هي كمية الحركة، m هي كتلة الجسيم و $\vec{\upsilon}$ هي سرعته بالنسبة لراصد خارجي.

وقام أينشتين بحل المشكلة (في تصوره) بـ افتراض زيادة الكتلة مع السرعة؛ لتعويض النقص في كمية الحركة الناتج عن التباطؤ الزمني! وبالتالي، في إطار النسبية الخاصة تصبح كمية الحركة؛

$$\vec{p} = m\vec{\upsilon}$$

حيث،

$$m = \gamma m_0 = \frac{m_0}{\sqrt{1-(\vec{\upsilon}.\vec{\upsilon}/c^2)}}$$

هي الكتلة النسبية؛ وهي كتلة الجسيم المتحرك بالنسبة لراصد خارجي، و m_0 هي كتلته بالنسبة لراصد ذاتي؛ وأسماها الكتلة السكونية.

إذن وفق هذا الحل الرياضي لأينشتين، صار لدينا مفهوما جديدا، يفرض على الواقع تصورا فيزيائيا جديدا خطيرا، هو نسبية الكتلة. ونتج عن ذلك افتراض خرافة أن تصبح كتلة النظام (الجسيم) لا نهائية عند وصوله إلى سرعة الضوء، وفي تلك الحالة، بناء على تعريف، غير دقيق، للكتلة بأنها خاصية مقاومة الجسم للتغير في حركته (عجلته)، تكون القوة اللازمة لتحريكه لا نهائية، وهذا هو السبب في عدم قدرة النظام المادي المتحرك الوصول إلى سرعة الضوء!

بالطبع هذا غير صحيح، فلا دخل لكتلة النظام بالحد الأقصى للسرعة، كما أثبت في البند السابق، كما أن نسبية الكتلة تتنافى مع المنطق الفيزيائي إن لم يكن العام؛ فكيف تكون الزيادة في طاقة الحركة المكتسبة لنظام مضافة إلى مادة النظام نفسه! كيف تضاف كمية طاقة إلى كمية مادة، ويكون المجموع كمية مادة!

وهذا الأثر الفيزيائي غير المعقول هو نتيجة لمقدمة خاطئة؛ وهي التباطؤ الزمني والانكماش الطولي التلقائيين (المرصودين براصد خارجي)، فالزمن يتباطأ عملياتيا أثناء الحركة؛ كأن تبطئ تروس الساعة حركتها، وأينشتين لم يفسر ذلك فيزيائيا بل هندسيا؛ أن البعد الزماني نفسه هو الذي يتباطأ! وكذلك فسر الانكماش الطولي، في اتجاه الحركة، بانكماش البعد المكاني نفسه!؛ وبالتالي كلا من التباطؤ الزمني والانكماش الطولي غير مسببين فيزيائيا.

وهذا التفسير يخالف تفسيرا آخر كان قد تبناه بوانكاريه، وأيضا لورنتس، وقد تمسكا بنظرية الأثير[13]، بأن عدم تغير سرعة الضوء، الذي أثبتته تجربة مايكلسون ومورلي، يستلزم تباطؤا في الزمن العملياتي، وانكماشا طوليا للنظام في اتجاه الحركة، ولكن كلا منهما فيزيائي؛ أي بسبب مؤثر ديناميكي

[13] هي نظرية تفترض أن المكان؛ كل المكان، حتى الذي يظن أنه فارغ من أية مادة، مملوء بوسط مادي ينقل الموجات الكهرومغناطيسية وقوى الجاذبية، ولكن لم تتمكن تجربة إلى الآن من إثبات وجوده.

نـاتج عـن الحركـة فـي الوسـط الأثيـري، وقـد اسـتنتجت تحـويلات لـورنتس الشهيرة في ضوء ذلك.

إلا أن أينشـتين عـد تجربـة مايكلسـون ومـورلي دلـيلا علـى عـدم وجـود الأثيـر، واسـتنتج نفـس التحـويلات مرتكـزا علـى ثبـات سـرعة الضـوء فقـط، كمـا أوضـحت فـي البنـد السـابق، وهـو مـا أدى إلـى التفسـير الهندسـي للتبـاطؤ الزمنـي والانكمـاش الطـولي. ولأنـه لـيس هنـاك دليـل علـى وجـود الأثيـر، والتنبـؤات الرياضـية متطابقـة فـي غيـاب أو وجـود مـؤثر ديناميكي يـؤدي إلـى هـاتين الظـاهرتين، فضـل المجتمـع العلمـي نظريـة أينشـتين! ولا أعلـم كيـف تـم ذلـك؛ فلكـي يحـدث تغيـر فـي عمليـات ديناميكيـة مـا لابـد مـن مـؤثر ديناميكي؛ لابـد مـن سـبب فيزيـائي، وهـذا يجعـل الركيـزة الأساسـية للنسـبية الخاصـة تعـاني مـن اللاسـببية، ومـن المعـروف أن انعـدام السـببية يجعـل أيـة نظريـة علميـة خاليـة مـن المعنى.

الغريـب فـي الأمـر، أنـه إذا تـم تفسـير التبـاطؤ الزمنـي فيزيائيـا؛ مـن خـلال الكشـف عـن ذلـك المـؤثر الـديناميكي المتسـبب فيـه، سيتضـح أن سـبب عـدم تحقـق قـانون حفـظ كميـة الحركـة فـي التصـادم، عنـد السـرعات المعتـد بهـا بالنسـبة لسرعة الضوء، هو تأثير تلك القوة.

وقـد يقـول قائـل؛ لمـاذا يجـب أن تكـون السـببية فيزيائيـة؟! فتفسـير أينشـتين للتبـاطؤ الزمنـي والانكمـاش الطـولي لا ينتهـك السـببية؛ فالسـبب مختلـف وحسـب؛ السـبب هندسـي. حتـى لـو سـلمنا بهـذا المنطـق، لا تـزال السـببية منتهكـة فـي النظريـة؛ لأن كميـة حركـة التـي افترضـت للتمـاهي مـع التفسـير الهندسـي؛ سـتؤدي إلـى انتهـاك للسـببية الفيزيائيـة لا يمكـن تبريـره بهـذا التفسـير، ولا بـأي تفسـير آخـر. وسيتضـح ذلـك عنـد صـياغة القـانون الثـاني لنيـوتن فـي حالـة السرعات المعتد بها بالنسبة لسرعة الضوء.

مـن القـانون الثـاني، القـوة المـؤثرة علـى جسـيم هـي معـدل التغيـر الزمنـي لكمية حركته؛ $\vec{F} = d\vec{p}/dt$ ، وفي حالة الخضوع للنسبية:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(\gamma m_0 \vec{\upsilon})$$

$$\vec{F} = m_0 \frac{d\gamma}{dt}\upsilon + \gamma m_0 \frac{d\upsilon}{dt}$$

ويلاحظ أن معامل لورنتس $\gamma(\vec{\upsilon})$ ليس ثابتا بل هو دالة في متجه السرعة، وبالتالي:

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{d}{dt}\left(1 - \frac{\vec{\upsilon}.\vec{\upsilon}}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{-1}{2}\left(1 - \frac{\vec{\upsilon}.\vec{\upsilon}}{c^2}\right)^{-\frac{3}{2}}\left(\frac{-1}{c^2}\right)\left(\frac{d\vec{\upsilon}}{dt}.\vec{\upsilon} + \vec{\upsilon}.\frac{d\vec{\upsilon}}{dt}\right)$$

وحيث أن $\vec{a} = d\vec{\upsilon}/dt$ هي العجلة التي يتحرك بها الجسيم؛ فإن:

$$\frac{d\gamma}{dt} = \gamma^3\left(\frac{1}{c^2}\right)(\vec{\upsilon}.\vec{a})$$

وبالتالي:

$$\vec{F} = \frac{\gamma^3 m_0}{c^2}(\vec{\upsilon}.\vec{a})\vec{\upsilon} + \gamma m_0 \vec{a}$$

وهذا هو قانون القوة في النسبية الخاصة، وهو يختلف جذريا عن القانون الثاني للديناميكا التقليدية؛ لأن القوة في الأخيرة تولد تغيرا في الحركة في نفس اتجاه تأثير القوة، بينما القوة في النسبية الخاصة، كما هو واضح من المعادلة، ليست بالضرورة في اتجاه العجلة! فالأمر متوقف على حاصل الضرب القياسي لمتجهي السرعة والعجلة (في الحد الأول من الطرف الأيمن)، وبالتالي اتجاه الحركة يتوقف على علاقة اتجاه السرعة باتجاه العجلة! إذن في بعض الحالات، تكون القوة النسبية في غير اتجاه العجلة، ولا يوجد تبرير هندسي هذه المرة، ولا أي تبرير آخر لذلك؛ وبالتالي تنتهك السببية في النظرية.

ولكن غرابة الأمر تتعدى ذلك. فإذا قمنا بصياغة متجه العجلة في صورة مجموع متجهين؛ متجه عجلة في اتجاه متجه السرعة $\vec{a}_{II}$، ومتجه عجلة في اتجاه عمودي على متجه السرعة $\vec{a}_{\perp}$، نحصل على:

$$\vec{a} = \vec{a}_{II} + \vec{a}_{\perp},\ \vec{\upsilon}.\vec{a}_{\perp} = 0\ ,\ \ \vec{\upsilon}.\vec{a} = \vec{\upsilon}.\vec{a}_{II}$$

وبالتالي:

$$\vec{F} = \frac{\gamma^3 m_0}{c^2}(\vec{\upsilon}.\vec{a}_{II})\vec{\upsilon} + \gamma m_0(\vec{a}_{II} + \vec{a}_{\perp})$$

ولكن $\vec{\upsilon}(\vec{\upsilon}.\vec{a}_{II})$ هو متجه في اتجاه $\vec{\upsilon}$، وبالتالي في اتجاه $\vec{a}_{II}$، ومعياره $\upsilon^2 a_{II}$، إذن:

$$\vec{F} = \frac{\gamma^3 m_0 \upsilon^2}{c^2}\vec{a}_{II} + \gamma m_0(\vec{a}_{II} + \vec{a}_{\perp})$$

$$\vec{F} = \gamma^3 m_0\left(\frac{\upsilon^2}{c^2} + \frac{1}{\gamma^2}\right)\vec{a}_{II} + \gamma m_0\vec{a}_{\perp}$$

$$\vec{F} = m_L\vec{a}_{II} + m_T\vec{a}_{\perp}$$

ويلاحظ في طرف هذه المعادلة الأيمن كتلتين؛ $m_L = \gamma^3 m_0$، وعرفت بالكتلة الطولية، و $m_T = \gamma m_0$، وعرفت بالكتلة المستعرضة، ولها نفس قيمة الكتلة النسبية. وبالتالي إذا كانت العجلة الموازية للسرعة في اتجاه محور x؛ تكون العجلة العمودية في اتجاهي محوري y و z، ويكون متجه القوة:

$$\vec{F} = (m_L a_x, m_T a_y, m_T a_z)$$

وواضح أن للكتلة مركبتين! الكتلة متجه إذن!!

وتم تفادي ذلك بعد إلغاء الكتلة النسبية، وهو أمر غير ممكن دائما كما سنرى، وفي هذه الحالة يكتب متجه القوة:

$$\vec{F} = m_0(\gamma^3 a_x, \gamma a_y, \gamma a_z)$$

ولكـن القـوة والعجلـة لا زالتـا غيـر متفقتـين فـي الإتجـاه بالضـرورة، إلا إذا كانـت السـرعة صـغيرة مقارنـة بسـرعة الضـوء؛ أي إذا كـان معامـل لـورنتس الوحـدة تقريبـا، وفـي هـذه الحالـة لا نعـود فقـط لقيمـة معيـار متجـه القـوة النيوتونيـة[14]بـل أيضـا إلـى التصـور الفلسـفي وراءهـا[15]!! بضـرورة السـببية لتغييـر حالـة الجسـيم مـن السـكون أو الحركـة بسـرعة منتظمـة فـي خـط مسـتقيم؛ والتي تقتضي ضرورة اتفاق القوة والعجلة في الإتجاه.

بنـاء علـى مـا تقـدم، انتهـاك السـببية الفيزيائيـة فـي تفسـير التبـاطؤ الزمنـي والانكمـاش الطـولي، يـؤدي إلـى انتهاكهـا فـي بعـض حـالات القـوة؛ ممـا يجعـل نظرية النسبية الخاصة غير صحيحة.

مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة فرض يفشل في انقاذ النسبية

ورغـم اخـتلال قـانون القـوة فـي النسـبية الخاصـة، يواصـل أينشـتين بعنـاد تعريـف متغيراتـه الديناميكيـة، عنـد السـرعات المعتـد بهـا بالنسـبة لسـرعة الضوء؛ فمن مبدأ تكافؤ الشغل والطاقة، تكون طاقة حركة الجسيم:

$$K = \int_{s_1}^{s_2} \vec{F}.d\vec{s} = \int_0^t \frac{d}{dt}(\gamma m_0 \vec{\upsilon}).\vec{\upsilon} dt$$

$$K = \gamma m_0 \vec{\upsilon}.\vec{\upsilon}\Big|_0^t - \int_0^t \gamma m_0 \vec{\upsilon}.\frac{d\vec{\upsilon}}{dt} dt$$

$$K = \gamma m_0 \upsilon^2\Big|_0^t - m_0 \int_0^{\upsilon} \gamma \upsilon d\upsilon$$

$$K = m_0\left(\gamma \upsilon^2\Big|_0^t - c^2 \int_0^{\upsilon} \frac{2\upsilon/c^2}{2\sqrt{1-(\upsilon^2/c^2)}} d\upsilon \right)$$

[14] هـذا علـى فـرض تسـاوي الكتلـة السـكونية فـي قـانون القـوة النسـبية والكتلـة فـي قـانون القوة النيوتوني، وهذا ليس بالضرورة صحيحا كما سأوضح.

[15] هـذا يؤكـد أن التصـورات الفلسـفية الجديـدة فـي النسـبية الخاصـة مؤسسـة علـى الرياضيات؛ وهي منهجية خاطئة اتبعها أينشتين؛ فالرياضيات لا تصنع فيزياء.

$$K = m_0\left(\frac{\upsilon^2}{\sqrt{1-(\upsilon^2/c^2)}} + c^2\sqrt{1-(\upsilon^2/c^2)}\right)\Bigg|_0^{\upsilon}$$

$$K = m_0\left(\frac{\upsilon^2}{\sqrt{1-(\upsilon^2/c^2)}} + c^2\sqrt{1-(\upsilon^2/c^2)}\right)\Bigg|_0^{\upsilon}$$

$$K = \left(\frac{m_0c^2}{\sqrt{1-(\upsilon^2/c^2)}}\right)\Bigg|_0^{\upsilon}$$

وبالتالي طاقة الحركة النسبية هي:

$$K = (\gamma - 1)m_0c^2$$

وهنا تقع نظرية النسبية الخاصة في أزمة خطيرة؛ لابد أن ينهار بسببها بناء النظرية كله. ولكي نعرف السبب، سنذهب لفضاء منكوفسكي الزمكاني.

في فضاء منكوفسكي الزمكاني، متجه الإزاحة في بعد مكاني واحد(للتبسيط) هو:

$$X = (ct, x)$$

ومنه متجه السرعة الزمكاني:

$$U = \frac{dX}{d\tau} = \frac{dX}{dt}\frac{dt}{d\tau} = \gamma\frac{d}{dt}(ct, x) = \gamma(c, \upsilon)$$

حيث τ هو الزمن الذاتي.

فإذا أردنا الحصول على متجه كمية الحركة الزمكاني، لابد من ضرب متجه السرعة الزمكاني في الكتلة، ولكن أية كتلة؟ السكونية؟ أم النسبية؟ بالقطع الأخيرة لا تصلح؛ وإلا لن يكون طول متجه كمية الحركة الزمكاني من اللا متغيرات اللورنتسية. إذن لابد أن تكون الكتلة المضروبة في متجه السرعة الزمكاني هي السكونية، ولابد أن تكون من اللا متغيرات اللورنتسية، وبذلك يعرف متجه كمية الحركة الزمكاني:

$$P = m_0U = m_0\gamma(c, \upsilon) = (\gamma m_0c, \gamma m_0\upsilon)$$

ولكن من معادلة طاقة الحركة $K = (\gamma - 1)m_0c^2$:

$$m_0c = K/(\gamma - 1)c$$

وبالتالي، متجه كمية الحركة الزمكاني:

$$P = [\gamma K/(\gamma - 1)c/c, p]$$

ولكن في الإطار المرجعي الذاتي، كمية الحركة المكانية منعدمة، وطاقة الحركة منعدمة، و $\gamma = 1$، إذن:

$$P = (0/0,0)$$

أي أن المركبة المناظرة للشق الزمني في متجه كمية الحركة الزمكاني غير معينة، والسبب ظهور المقدار $\gamma - 1$ في مقام المركبة الزمنية للمتجه.

حسنا، فلنجرب طريقة أخرى لتجنب ذلك. من معادلة طاقة الحركة؛ $K = (\gamma - 1)m_0c^2$:

$$\gamma m_0c = (K + m_0c^2)/c$$

وبالتالي، متجه كمية الحركة الزمكاني:

$$P = [(K + m_0c^2)/c, p]$$

حيث $p = m\upsilon$ و $m = \gamma m_0$.

إذن المركبة الزمانية لمتجه كمية الحركة بها حد m_0c^2، لا نعرف معناه الفيزيائي، مضاف إلى طاقة الحركة.

والآن ما العمل؟

بمراجعة الخطوة قبل الأخيرة في استنتاج طاقة الحركة؛

$$K = \gamma m_0c^2 - m_0c^2$$

نلاحظ أن الحد الأول في الطرف الأيمن، والناتج عن التعويض في الكمية γm_0c^2 بحد التكامل الأعلى $\upsilon = \upsilon$، يصبح الحد الأخير، في نفس الطرف، والناتج عن التعويض في نفس الكمية بحد التكامل الأدنى $\upsilon = 0$؛ أي $\gamma(\upsilon) = 1$. ومن ذلك أسمى أينشتين الحد الأخير في الطرف الأيمن؛

$E_0 = m_0c^2$، الطاقة السكونية؛ أي طاقة الجسيم في الإطار المرجعي الذاتي، حيث طاقة الحركة $K = 0$، ورتب على ذلك أن يكون الحد الأول في نفس الطرف؛ $E = mc^2$، حيث $m = \gamma m_0$، هو ما أسماه الطاقة الكلية، وهي منسوبة لإطار مرجعي متحرك بالنسبة للإطار الذاتي بسرعة ثابتة υ. وعد أينشتين ذلك منطقيا؛ أن تكون طاقة الحركة هي ما يتبقى من طاقة الجسيم الكلية بعد طرح طاقته السكونية منها! وبالتالي بالنسبة لإطار مرجعي خارجي، الطاقة الكلية لجسيم هي مجموع طاقتيه السكونية والحركية[16]؛ أي:

$$E = E_0 + K$$

وبالعودة إلى متجه كمية الحركة الزمكاني $P = [(K + m_0c^2)/c, p]$، يصبح الآن للكمية m_0c^2 معنى فيزيائيا، ويكتب المتجه:

$$P = (E/c, p)$$

وفي الإطار المرجعي الذاتي، كمية الحركة المكانية منعدمة، وطاقة الحركة منعدمة، إذن $E = E_0$، ويصبح متجه كمية الحركة الزمكاني معرف:

$$P = (E_0/c, 0)$$

ويمكن إيجاد الكتلة السكونية بدلالة الطاقة الكلية وكمية الحركة المكانية؛ فطول متجه كمية الحركة الزمكاني:

$$|P| = m_0c = \sqrt{(E/c)^2 + p^2}$$

ومنه الكتلة السكونية:

$$m_0 = \sqrt{(E/c^2)^2 + (p/c)^2}$$

[16] وماذا عن طاقة الوضع؟!

وهنا لابد للطاقة الكلية (الزمنية) وكمية الحركة (المكانية) أن يتغيرا للحفاظ على عدم تغير الكتلة السكونية بالنسبة للأطر المرجعية جميعها؛ لأنها من اللا متغيرات اللورنتسية.

ويلاحظ في هذه العلاقة، أنه إذا انعدمت الكتلة نظل قادرين على إيجاد كمية حركة! ومقدارها:

$$p = E/c$$

ولكن هل ما قام به أينشتين استنتاج صحيح؟ بالطبع لا، فهناك تلبيس في الأمر؛ المعادلة $K = \gamma m_0 c^2 - m_0 c^2$؛ هي مجرد خطوة في حساب التكامل، وليست معادلة نهائية أو قانونا؛ فالحد الأول والأخير في الطرف الأيمن لا معنى لهما فيزيائيا على الإطلاق؛ الفارق بين الحدين هو فقط ما له معنى فيزيائي؛ وهو طاقة الحركة. وإذا كانت كمية كل حد مناظرة لسرعة $\upsilon = \upsilon$ ولسرعة $\upsilon = 0$، على الترتيب؛ فهذا لا يعني اطلاقا أن الأول طاقة ما في الإطار المرجعي الخارجي، والأخير طاقة ما في الإطار المرجعي الذاتي. فمثلا، عند حساب طول طاولة L، وكانت الخطوة قبل الأخيرة $L = 200 - 50$؛ فإن كلا من الكميتين 200 و 50، أيا كان سبب وجودهما، ليست طولا ولا جزءا من طول، وهذه المعادلة ليست قانونا لحساب الطول، ولو كتبت $200 = L - 50$، لايجوز افتراض أن 200 طول كلي.

والذي تم بالفعل هو <u>افتراض</u> وجود طاقة سكونية؛ $E_0 = m_0 c^2$، رتبت <u>افتراض</u> وجود طاقة كلية؛ $E = mc^2 = \gamma m_0 c^2$، لتتم إعادة تعريف طاقة الحركة النسبية؛ $K = (\gamma - 1) m_0 c^2 = E - E_0$، فذلك ليس نتيجة حساب التكامل كما تم الإيحاء بذلك، وهذه نقطة مهمة للغاية؛ فالطاقة السكونية (وبالتالي الكلية) مفترضة ابتداء، وهي ليست نتيجة حساب الطاقة في النسبية الخاصة كما يراد لها.

الأمر أشبه بشخص لديه ثلاث بطاقات حمراء، فأحضر عشرة بطاقات زرقاء، وأسمى مجموع البطاقات الحمراء والزرقاء البطاقات الكلية؛ وبذلك تصبح البطاقات الحمراء هي الفارق بين البطاقات الكلية والبطاقات الزرقاء، والتكلف واضح في الأمر.

إذن إذا كانت الطاقة الكلية لجسيم حر هي طاقة الحركة فقط، وهذا هو الأساس الذي حسب أينشتين عليه الطاقة، لا يمكن تعريف المتغيرات الديناميكية في المتصل الزمكاني. وبعناد، وبدلا من أن يراجع فروض نظريته التي أوصلتها إلى طريق مسدود، يخلق أينشتين معنى فيزيائيا للكمية m_0c^2؛ بأنها طاقة سكونية؛ ليتمكن من تعريف المتغيرات الديناميكية في الزمكان. لكن ذلك الإنقاذ الرياضي المحض للنسبية الخاصة، فرض على الواقع الفيزيائي $E_0 = m_0c^2$، وهي تعني أن الكتلة والطاقة شيئا واحدا، وهو فرض لفظه هذا الواقع بشدة، كما سنرى.

وهكذا، من الواضح تماما أن معادلة تكافؤ الكتلة والطاقة الشهيرة؛ $E_0 = m_0c^2$، ليست قانونا أنتجته النسبية الخاصة، ولا أية نظرية، وليست حدسا إبداعيا أعقب تفكيرا عميقا في علاقة الكتلة بالطاقة، بل هي مجرد فرض رياضي لحل أزمة واجهت أينشتين عندما محاولته الانتقال بنسبيته من الكينامتيكا إلى الديناميكا.

وقد نشر أينشتين بحثا مستقلا في عام 1905، بدا معه أنه كان يتأمل في علاقة الكتلة بالطاقة، وهو لم يكن سوى بحث تبريري لفرض، كان لا بد أن يفترضه لتستكمل نظريته مشوارها. كان عنوان البحث على هيئة سؤال، وهو حاسم إجابته سلفا؛ "هل تعتمد كتلة الجسم على ما يحتوي من طاقة؟".

افترض أينشتين في هذا البحث، أن جسما ساكنا له طاقة E_0 في إطار مرجعي ذاتي (أي طاقة سكونية)، تناظرها طاقة H_0 في إطار مرجعي متحرك بالنسبة له. وأن الجسم يشع نبضتين موجيتين مقدار طاقة كل منها

$T/2$، وبتطبيق قانون حفظ الطاقة، وصل إلى المعادلة تصف التغير في طاقة الحركة أثناء الإشعاع:

$$K_0 - K_1 = T\left(\frac{1}{\sqrt{1-(\upsilon^2/c^2)}} - 1\right)$$

حيث

$$H_0 - E_0 = K_0 + C \qquad \text{(قبل الإشعاع)}$$

$$H_1 - E_1 = K_1 + C \qquad \text{(بعد الإشعاع)}$$

و C مقدار ثابت.

ثم بأخذ النهاية عندما تكون سرعة الجسم أقل بكثير من سرعة الضوء يصبح التغير في طاقة الحركة:

$$K_0 - K_1 = \frac{1}{2}\frac{T}{c^2}\upsilon^2$$

وبمقارنة هذه المعادلة بمعادلة طاقة الحركة النيوتونية نحصل على:

$$m = \frac{T}{c^2}$$

ومنها استنتج أينشتين أنه إذا فقد جسما إشعاعا مقدار طاقته T؛ فإن كتلته ستنقص بمقدار ضئيل للغاية T/c^2، ومن ذلك أجاب على سؤال بحثه بالإيجاب؛ أن كتلة الجسم تعتمد على ما يحتوي من طاقة، وإن كان أثبت حقيقة أن كتلة الجسم هي طاقته!

واضح جدا أن منطق البحث دائري، على غرار؛ "أمجد أفضل طالب في الفصل؛ لأنه أفضل من جميع طلاب الفصل؛ لذا هو أفضل طالب في الفصل!". فإذا كان المآل التقليدي لمعادلة طاقة الحركة النسبية يؤدي إلى تكافؤ الكتلة والطاقة؛ أي المعادلة $T = mc^2$(برموز أينشتين)، فإن العكس صحيح أيضا؛ أي إذا افترضنا تحقق هذا المبدأ ابتداء، وعوضنا بالطاقة $T = mc^2$ في المعادلة النسبية لطاقة الحركة $\Delta K = T(\gamma - 1)$، وأخذنا

النهايــة عنــد الســرعات الصــغيرة بالنســبة لســرعة الضــوء، سنحصــل علــى صــورة قــانون طاقــة الحركــة التقليــدي. وذلــك الــدوران ســببه افتــراض وجــود طاقة سكونية بالأساس؛ فالبحث مصطنع لإثبات ما هو مفترض.

ثـم مـن قـال أن الحصـول بعـد التقريـب علـى المعادلـة $\Delta K = m\upsilon^2/2$، يعنـي الحصـول علـى قـانون طاقـة الحركـة التقليـدي. هـذا غيـر صـحيح، لأن الكتلـة فـي هـذه المعادلـة هـي الكتلـة السـكونية، وهـي ليسـت إطلاقـا الكتلـة النيوتونيـة؛ لا مـن حيـث التصـور ولا حتـى مـن حيـث الحسـاب؛ فقـد تكـون الكتلـة السـكونية أكبـر أو أقل من النيوتونية، بحسب طبيعة التركيب الداخلي للنظام كما سنرى.

وهنـا خطـأ منهجـي، أن يسـتخدم قـانون لنظريـة قديمـة، بإطارهـا التصـوري المختلـف تمامـا عـن المقترحـة، فـي إثبـات قـانون لتلـك الأخيـرة، بمجـرد إيجـاد تنـاظر رياضـي بـين القـانونين، فـي حالـة مـآل الأولـى للأخيـرة. وهـذه المنهجيـة البحثيـة الحسـابية، حيـث تتولـد قـوانين النسـبية مـن قـوانين نيـوتن؛ مـن خـلال التلاعـب الرياضـي، هـو سـر خلـق النسـبية لتناقضـات فـي وصـفها للواقـع الفيزيائي، كما سيتضح.

حسـنا، قـد يقـول أحـدهم؛ فلـيكن، فلنعـد تكـافؤ الكتلـة والطاقـة فرضـا، ولنـرى إن كانـت سـتثبته التجـارب. بـالقطع هـذا لا يصـح؛ فـالأمر متعلـق بتفسـير النظريـة للتجربـة، وهـذا يتطلـب أن يكـون بنـاء النظريـة المترتـب علـى هـذا الفـرض سـليما؛ ليكـون التفسـير تفسـيرا ممكنـا[17]. وفـي حالتنـا هـذا غيـر متحقـق؛ لأن هـذا الفـرض يـؤدي بالضـرورة إلـى ازدواجيـة فـي المفـاهيم الميكانيكيـة داخـل النسـبية الخاصـة، وإلـى عـدم قـدرتها علـى وصـف ميكانيكـا السـرعات المنخفضة بالنسبة لسرعة الضوء، والبند التالي سيوضح ذلك.

[17] فمـثلا، هنـاك تجـارب تثبـت التبـاطؤ الزمنـي مـع الحركـة بالنسـبة لراصـد خـارجي، لكـن لـيس معنـى ذلـك أنهـا تثبـت صـحة نظريـة النسـبية الخاصـة؛ فـالأمر متوقـف علـى تفسـير النظريـة لهـذه النتيجـة التجريبيـة؛ وهـو تفسـير تسـبب فـي انتهـاك النظريـة للسـببية؛ وبالتـالي هو غير صحيح؛ إذن التباطؤ كنتيجة تجريبية صحيح لكن النظرية غير صحيحة.

تداعيات فرض تكافؤ الكتلة والطاقة

تداعيات تكافؤ الكتلة والطاقة على النسبية الخاصة

أولا: ازدواجية المفاهيم الميكانيكية

انطلقت نظرية النسبية الخاصة من مفاهيم، كالجسيم والكتلة وكمية الحركة والقوة والشغل والطاقة، وجميعها مفاهيم واضحة محددة تماما في الميكانيكا التقليدية. بالطبع من حق الباحث أن يطور تلك المفاهيم، أو أن يستبدلها عند تعرضه لنظرية جديدة لتفسير الحركة الميكانيكية. ولكن يلزم أن تكون تلك المفاهيم واضحة ومحددة تماما أيضا؛ كيلا يتناقض بناء نظريته مع ذاته. وهذا ما لم يتمكن منه أينشتين؛ إذ تسبب في تضمين نظريته العديد من المفاهيم المزدوجة.

فمثلا، كمية الحركة بمفهومها التقليدي سارية في النظرية، ولكن ليس دائما؛ فبسبب مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة، لدينا كمية حركة لنظام بلا كتلة! فهل هذا تعريف آخر؟! وما سببه؟! أم هو مجرد نتيجة لفرض خاطئ.

وترتب على ذلك افتراض أينشتين، أن هـ ذا النظام بلا كتلة، وأسماه الفوتون؛ وهو حزمة موجية ولها أبعاد، جسيما! على أن يظل تعريف الأخير بنفس مفهومه في الميكانيكا التقليدية، كنقطة كتلة مادية بلا أبعاد، ساريا عندما تكون للنظام كتلة سكونية!! هناك إذن مفهومين للجسيم في النسبية الخاصة.

وكذلك الأمر بالنسبة للكتلة داخل النسبية الخاصة؛ هناك إزدواجية. ففي عام 1948 أرسل أينشتين خطابا لأحد أصدقائه ذكر فيه أنه ليس من "الجيد" استخدام العلاقات الرياضية التي تعبر عن الكتلة النسبية، والاكتفاء بمعادلات الطاقة وكمية الحركة، مع عد الكتلة هي الكتلة السكونية فقط، وهي لا متغير لورنتسي.

وبالتالي وفق هذه الرسالة؛ معادلات كمية الحركة والقوة والطاقة الكلية؛

$$\vec{p} = m\vec{\upsilon} \ ، \vec{F} = m_L \vec{a}_{II} + m_T \vec{a}_{\perp} ، E = mc^2$$

حيث $m = m_T = \gamma m_0$ الكتلة النسبية و $m_L = \gamma^3 m_0$ الكتلة الطولية، خطأ فلا توجد كتلة نسبية ولا طولية ولا مستعرضة، والمعادلات الصحيحة هي:

$$\vec{p} = \gamma m_0 \vec{\upsilon} \ ، \vec{F} = \gamma^3 m_0 \vec{a}_{II} + \gamma m_0 \vec{a}_{\perp} ، E = \gamma m_0 c^2$$

حيث m_0 هي الكتلة الوحيدة؛ وهي الكتلة السكونية أي في إطار مرجعي ذاتي بالنسبة للجسيم، وهي متفق عليها في جميع الأطر المرجعية.

وقد ألغى أينشتين الكتلة النسبية لأنها كانت شديدة الغرابة؛ إذ جعلت تحديد مقدار كتلة جسيم مرتبط بحركته الميكانيكية (بينما هي خاصية ذاتية متعلقة بتكوينه المادي)، كما سمحت أن تكون كتلته متجها.

ولكن، هذا الإلغاء ممكن دائما فقط عند وصف حركة جسيم، بينما هو ليس ممكنا دائما عند وصف حركة نظام. فمثلا، لو أن لدينا نظاما هو صندوق به غاز، وأردنا حساب كتلة النظام السكونية، فإننا سنحسبها في إطار مرجعي هو إطار مركز كمية الحركة؛ حيث في هذا الإطار، محصلة كمية حركة جزيئات الغاز منعدمة، ومركز ثقل النظام ساكنا. ووفق مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة، فإن الكتلة السكونية الكلية للنظام تكافئ طاقته السكونية الكلية، في هذا الإطار المرجعي، وهي هنا ليست مجموع الطاقات السكونية لمكوناته وحسب؛ أي ليست مجموع الطاقات السكونية لجزيئات لغاز والصندوق (المكافئتين لكميتي مادتيهما) وحسب، بل لا بد من إضافة طاقة حركة الجزيئات إليه، ولا يمكن إهمال الأخيرة إلا إذا كانت الجزيئات جميعها تتحرك في نفس اتجاه حركة الصندوق ككل، بالنسبة لراصد خارجي.

النظام المكون من كتلتين تتحركان معا في نفس الاتجاه، له كتلة سكونية كلية أقل من نظام مطابق تتحرك كتلتيه في اتجاهين متعاكسين؛ حيث هناك كتلة مكافئة لطاقة حركة إضافية داخل النظام، لابد أن تتضمنها الكتلة السكونية الكلية.

وكذلك، عند حساب الكتلة السكونية الكلية لنظام قد تضاف كتل مكافئة لطاقات أخرى؛ كطاقة الوضع المخزنة في حقل القوة المتبادلة بين مكوناته، والطاقة الحرارية الناتجة عن احتكاكها، وخلافه.

وهكذا، فإن الكتلة السكونية الكلية لنظام، تحسب بالطاقة الكلية النسبية للنظام (متضمنة الطاقة السكونية) وفق المعادلة $m = E/c^2$، حيث $E = \gamma E_0$ هي الطاقة الكلية النسبية؛ هذه الكتلة، إذن، هي كتلة نسبية! وينتفي معها منطق "الكل يساوي مجموع الأجزاء"؛ حيث مجموع الكتل السكونية للنظم الجزئية أقل أو أكبر من كتلة النظام الكلي السكونية؛ إذ لابد أن نأخذ في الحسبان الكتل المكافئة للطاقات المتضمنة فيه، والتي تضاف إلى أو تحذف من مجموع الكتل السكونية لمكوناته، حسب طبيعة تلك الطاقات[18]!!

ويمكن تشبيه الأمر بساعة متوقفة عن العمل. هنا مجموع كتل مكوناتها الساكنة من تروس وخلافه هو كتلتها السكونية الكلية[19]، لكن إذا كانت تعمل، فإن مجموع الكتل السكونية لمكوناتها أقل من كتلتها السكونية الكلية؛ لأن طاقة حركة تروسها، والطاقة الحرارية الناتجة عن احتكاك تلك التروس،

[18] يمكن أن تكون الكتلة السكونية الكلية للنظام أقل من الكتلة السكونية لمكوناته، إذا كانت طاقة الوضع المخزنة في حقل القوة المتبادلة بين مكوناته سالبة.

[19] مع إهمال طاقة الوضع داخلها، وإلا لابد أن تضاف ككتلة إلى كتلة النظام السكونية.

بالإضافة إلى طاقة وضع زنبركها، لابد من إضافتها ككتلة عند حساب الكتلة السكونية الكلية، على ألا تتغير الأخيرة إذا جريت بالساعة!

إذن في تكرار لمسلسل الإزدواجية؛ ليس من "الجيد" عند رصد حركة نظام متحرك الأجزاء، براصد خارجي، إضافة كتلة مكافئة لطاقة حركته إلى كتلته السكونية الكلية، بينما عند حساب الأخيرة لابد من إضافة كتلة مكافئة لطاقة حركة مكونات النظام (بالإضافة إلى طاقات أخرى)؛ بمعنى أن كتلة النظام السكونية الكلية كتلة نسبية، وتعامل معاملة الـ لا متغيرات اللورنتسية بالنسبة لراصد خارجي. من ذلك، وحتى لا يتم الخلط بين هذه الكتلة النسبية والكتلة النسبية المحسوبة براصد خارجي؛ وهذه هي التي ألغيت، ظهر مصطلح جديد وهو الكتلة اللامتغيرة (بالمعنى اللورنتسي)، ويقصد بها الكتلة المحسوبة في إطار مركز كمية حركة نظام عندما يكون متضمنا طاقة أو عدة طاقات غير طاقته السكونية. وبالتالي، ما زالت العوامل الخارجية داخلة في حساب الكتلة ولو على مستوى التركيب الداخلي للنظام، وما زالت الطاقة تضاف إلى كمية مادة ويكون المجموع كمية مادة.

واستمرار للتناقضات والإزدواجية. الفوتون ليس له كتلة سكونية، ولكن إذا حبسته في صندوق؛ فإن كتلة الصندوق ستزداد بمقدار الطاقة الكلية للفوتون! هل الفوتون له كتلة أم ليس له كتلة؟! هذا يؤكد أن الكتلة في النسبية الخاصة لنظام ما ليست خاصية ذاتية بل معتمدة على الظروف والملابسات المحيطة به.

وكمثال آخر يؤكد ذلك؛ في حالة معينة لوحدات القياس معادلة الطاقة-كمية الحركة تعطي:

$$m_0^2 = E^2 - p^2$$

ولنظام مكون من فوتونين:

$$m_0^2 = (E_1 + E_2)^2 - (\vec{p}_1 + \vec{p}_1)^2 = E_1^2 - p_1^2 + E_2^2 - p_2^2 + 2(E_1E_2 - \vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2)$$

$$m_0^2 = m_{01}^2 + m_{02}^2 + 2(E_1E_2 - p_1p_2\cos\theta)$$

ولكن كلا من m_{01} و m_{02} منعدمتين لأنهما كتلتي فوتونين، وبالتالي $p_1 = E_1$ و $p_2 = E_2$. إذن كتلة النظام المكون من فوتونين:

$$m_0 = \sqrt{2E_1E_2(1-\cos\theta)}$$

وبذلك لا تكون الكتلة السكونية للنظام المكون من فوتونين منعدمي الكتلة السكونية منعدمه هكذا إطلاقا! فالأمر يتوقف على إتجاه حركة الفوتونين!! فإذا كانت الزاوية بين متجهي كمية حركتيهما $\theta = 0$ كانت منعدمة، بينما لو كان يتحركان في إتجاهين متعاكسين؛ $\theta = \pi$، أصبحت لها قيمة؛ $m_0 = \sqrt{2E_1E_2}$!!

وعلينا أن نلاحظ أن حفظ الكتلة السكونية أواللامتغيرة، وفق مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة، أصبح مرهونا بحفظ الطاقة. وكما نعرف؛ فإنه في الميكانيكا التقليدية يكفي للنظام أن يكون مغلقا لتكون كتلته محفوظة؛ وذلك يلقي بظلال على شمول النسبية الخاصة للميكانيكا التقليدية. والبند التالي سيوضح أن الأمر ليس مجرد ظلال.

ثانيا: ميكانيكا النسبية الخاصة لا يمكنها أن تؤول للميكانيكا التقليدية:

من خلال مفكوك تايلور، الطاقة الكلية النسبية لجسيم حر تأخذ الصورة:

$$E = \gamma m_0c^2 = [1 + (1/2)\beta^2 + (3/8)\beta^4 + ...]\, m_0c^2$$

ولإيجاد هذه الطاقة عندما تكون سرعة الجسيم صغيرة مقارنة بسرعة الضوء، نقوم بإهمال الرتب الأعلى من الثانية للنسبة $\beta = \upsilon/c$ ، فتؤول الطاقة الكلية إلى:

$$E = \gamma m_0c^2 = m_0c^2 + (1/2)\beta^2\, m_0c^2$$

أي؛

$$E = E_0 + (1/2)\, m_0\upsilon^2$$

ما هذه المعادلة؟! إن من المفترض أن تؤول الطاقة الميكانيكية الكلية لجسيم حر في حالة السرعات الصغيرة مقارنة بسرعة الضوء إلى الطاقة

الميكانيكية الكلية النيوتونية لجسيم حر؛ وهي طاقة الحركة فقط؛ والتي لها صورة الحد الأخير في الطرف الأيمن، ولجسيم يتحرك في حقل وضع ناتج عن جسيم أو أكثر، تكون الطاقة الميكانيكية الكلية للنظام مجموع طاقتي وضعه وحركته. وبالتالي، لا ينبغي الانخداع بكلمتي "كلية" و"سكونية" المضافتين إلى طاقة، في الطرفين الأيسر والأيمن، على الترتيب؛ فنعد، كما يشاع، الطاقة السكونية E_0، في تلك المعادلة، طاقة وضع مخزنة في المادة. فأولا، الطاقة الكلية المحسوبة هنا لجسيم حر. فإن لم يكن حرا؛ كانت الطاقة الميكانيكية الكلية لنظام؛ وهي مجموع طاقة حركة الجسيم (بافتراض سكون باقي جسيمات النظام)، والطاقة السكونية المكافئة لكمية مادة الجسيم، بالإضافة إلى طاقة وضع النظام. وثانيا، طاقة الوضع مخزنة في حقل قوة الوضع، وليس في مادة النظام. وآخرا، الطاقة السكونية ليست مخزنة في المادة بل هي المادة!

وكذلك، لا يمكن تفسير الطاقة سكونية بأنها طاقة داخلية؛ فتلك الأخيرة هي مجموع طاقة وضع النظام الداخلية وطاقة حركة الجزيئات (الجسيمات) المكون منها، بينما الطاقة السكونية الكلية لنظام هي مجموع الطاقات السكونية لجسيماته؛ أي الطاقة المكافئة لمادة النظام، مضافا إليها طاقته الداخلية إن تطلب الأمر أخذها في الحسبان.

الخلاصة، E_0 ليست طاقة وضع، وإن تضمنت طاقة وضع عند حسابها[20]، وليست طاقة داخلية، ولا أحد يعرف، ولا أينشتين نفسه ما هي.

إذن، في المعادلة $E = E_0 + (1/2)m_0\upsilon^2$، نحن أمام مقدار غير مبرر فيزيائيا مضاف إلى ما يمكن عده طاقة الحركة التقليدية، التي هي الطاقة الميكانيكية الكلية لنظام حر. فكيف ننقذ الموقف؟ حسنا، يمكن عد الميكانيكا

[20] يمكن أن نضيف عند حساب طاقة سكونية كلية لنظام طاقة وضع داخله نتيجة وجود حقل قوة وضع يحدد مواقع مكوناته، ثم إذا تحرك النظام في حقل قوة وضع، لوجود نظام أشمل، لابد من اضافة طاقة الوضع الناتجة عن هذا الحقل عند حساب الطاقة الكلية لهذا النظام الأشمل.

التقليديـة قـد أخفقـت عنـدما لـم تأخـذ الطاقـة السـكونية فـي الحسـبان؛ فلـيكن سـنعدل الميكانيكا التقليدية بإضافته.

هذا في الواقع مستحيل.. لماذا؟

فـــي الحقيقـــة المعادلـــة؛ $E = E_0 + (1/2)m_0\upsilon^2$، وهميـــة؛ لأن النهايـــة التـــي أخـذت فـي اسـتنتاجها ليسـت صـحيحة؛ فالنهايـة تؤخـذ عنـدما $\beta = (\upsilon/c) \to 0$ بحيـث لا تـؤول السـرعة υ إلـى الصـفر. إذن، فـي الحقيقـة النهايـة تؤخـذ عنـدما $c \to \infty$. وبالتـــالي، لابـــد أن تؤخـــذ نهايـــة الحـــد الأول فـــي الطـــرف الأيمـــن؛ $E_0 = m_0c^2$ أيضا عندما $c \to \infty$. وبالتالي تؤول الطاقة الكلية النسبية إلى:

$$E = \infty + (1/2)m_0\upsilon^2 = \infty$$

فالطاقـة السـكونية عنـد هـذه النهايـة، وبالتـالي الطاقـة الكليـة لا نهائيـة! إذن فـي حـدود السـرعات الصـغيرة مقارنـة بسـرعة الضـوء، لا تـؤول الطاقـة الكليـة النسـبية إلـى الطاقـة الكليـة النيوتونيـة بـل إلـى طاقـة لا نهائيـة؛ أي أن الميكانيكـا التقليديـة لا يمكنهـا أن تكـون تقريبـا لميكانيكـا النسـبية الخاصـة. وهكـذا فـإن النسـبية الخاصـة بإطارهـا النظـري لا يمكنهـا أن تصـف كميـا ميكانيكـا السـرعات المنخفضة، والتي تحتل المساحة الكاسحة من واقعنا اليومي.

إن مـن المفتـرض للنظريـة الفيزيائيـة الجديـدة الأعـم أن تـؤول نتائجهـا كميـا إلـى نتـائج النظريـة القديمـة، فـي إطـار مبـادئ النظريـة الجديـدة، وإلا تكـون الأخيرة غير صحيحة، إذن النسبية الخاصة غير صحيحة.

ولكـن الـبعض يتحـايلون علـى الأمـر؛ ويقولـون فلنـرى إن كانـت طاقـة الحركـة النسـبية تـؤول إلـى طاقـة الحركـة التقليديـة حـال $\beta = (\upsilon/c) \to 0$، ولا داعـي لـذكر الطاقـة السـكونية، عنـد أخـذ النهايـة، لأنهـا لا تنتمـي للميكانيكـا التقليديـة!! وبالفعـل، تـؤول، فـي هـذه الحالـة، طاقـة الحركـة النسـبية إلـى صـورة طاقة الحركة التقليدية:

$$K = (1/2)m_0\upsilon^2$$

ولكن هذا القانون ليس قانون طاقة الحركة التقليدي؛ لأن التقريب لم يغير على مستوى التصور أو الحساب من الكتلة السكونية في هذه المعادلة.

وكمثال يوضح الاختلاف بين الكتلتين في نظرية النسبية الخاصة وفي الميكانيكا التقليدية؛ طاقتي حركة صندوقين لهما نفس السرعة وبهما نفس الغاز بنفس الكمية، ولكن أحدهما أعلى في درجة الحرارة من الآخر، لن تتطابقا، وفق تصور النسبية الخاصة، لاختلاف كتلتيهما السكونية، بينما ستتطابقان وفق تصور الميكانيكا النيوتونية؛ لأن طاقة الغاز الحرارية ليس لها دور إطلاقا في تحديد كتلة الغاز في أي من الصندوقين.

ولكن قد يقال أن الفارق بين الكتلتين السكونية والنيوتونية قابل للإهمال، وهذا ليس صحيحا دائما؛ فالكتلة السكونية للبروتون، مثلا، أكبر من ثمانين إلى مائة مرة من كتلته النيوتونية؛ أي مجموع كميات مادة الكواركات التي هو مكون منها، وذلك بسبب طاقتي الوضع والحركة الهائلتين لتلك الكواركات. معنى ذلك أنه وفق تصور الكتلة السكونية، طاقة حركة بروتون يتحرك بسرعة $\upsilon << c$ قد تكون مائة ضعف طاقة حركته النيوتونية!

والغريب في الأمر، أن أينشتين استخدم النهاية، عندما تكون سرعة الجسم أقل بكثير من سرعة الضوء، لإثبات أن $E_0 = m_0 c^2$؛ من خلال عقد تناظر بين الكتلة السكونية والكتلة النيوتونية! وكما رأينا؛ النهاية غير ممكنة فيزيائيا، وحتى إن كانت ممكنة، بتغاض غير مشروع عن الطاقة السكونية عند أخذ النهاية، تظل الكتلة النيوتونية ككمية مادة، والموجودة في القانون $(1/2)m\upsilon^2$، ليست فيزيائيا ولا حسابيا الكتلة السكونية (اللورنتسية)؛ فالأخيرة مستقلة عن الإطار المرجعي للرصد، ولكن بتعويض متبادل بين الطاقة الكلية وكمية الحركة، ويحدد مقدارها بالطاقة السكونية (أو الطاقة الكلية النسبية لنظام في الإطار المرجعي لمركز كمية الحركة)، والأولى كمية مستقلة عن الإطار المرجعي للرصد في ذاتها، ويحدد مقدارها ككمية مادة باستقلال تام عن الزمان والمكان المستقلين المطلقين.

أصل مشكلة الديناميكا في النسبية الخاصة، هو أنه لا يمكن تعريف المتغيرات الديناميكية في المتصل الزمكاني، إلا بافتراض أن تكون الكتلة السكونية من الـ لا متغيرات اللورنتسية، وهذا يعني أن طاقة النظام الكلية (بمفهوم النسبية) وكمية حركته يتغيران لتثبيت كتلة النظام السكونية[21]، مع التحول من إطار مرجعي إلى آخر، وهذا الفرض ليس ضروريا من الناحية الفيزيائية؛ لأنه عندما افترض أينشتين، في الكينماتيكا، أن سرعة الضوء من اللا متغيرات اللورنتسية، ليعالج مشكلة إخلال ثبات سرعة الضوء، بالنسبة لجميع الراصدين، بقانون السرعة النسبية التقليدي، كان يتعامل مع سرعة؛ أي تغير في المكان بالنسبة للزمان، وبالتالي يمكن أن يكون مفهوما تغيرهما لتثبيتها. أما كتلة النظام، فتحديد مقدارها مستقل عن الحركة، وليس على أي شيء أن يتغير لإبقائها مستقلة عن الرصد؛ أي ليس عليها من الناحية الفيزيائية أن تكون من اللا متغيرات اللورنتسية؛ ففزيائيا الزمان والمكان مستقلين إزاءها.

وافتراض اللاتغير اللورنتسي للكتلة، هو في حقيقته حصاد تفسير النسبية الخاصة الهندسي للتباطؤ الزمني والانكماش الطولي؛ والذي يعني حدوثهما بلا مؤثرات ديناميكية، لذا كان من المنطقي أن يكشف الانتقال من الكينامتيكا إلى الديناميكا هذا الخلل في السببية، والذي كان يستلزم مراجعة هذا التفسير، ولكن أينشتين اختار ألا يفعل؛ كيلا تنقض عرى النسيج الزمكاني الذي حبكه في الكينامتيكا، لذا كان من الطبيعي أن ينتقل إلى الديناميكا بافتراض مناف للفيزياء والمنطق؛ يجعل الكتلة والطاقة شيئا واحدا.

إن مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة لأينشتين لا يعني أن هناك طاقة داخل المادة، بل يعني أن الطاقة هي المادة. وفي حقيقة الأمر، الطاقة المشعة في بحث

[21] لا بد من ملاحظة الفارق بين اللاتغير اللورنتسي للكتلة، واللاتغير اللورنتسي للكتلة المحفوظة؛ فالأول، يعني اتفاق ما يرصده جميع الراصدين من كتلة، عند كل لحظة زمنية، أما الأخير، فيعني اتفاق ما يرصده جميع الراصدين لـ نفس الكتلة، عند كل لحظة زمنية.

أينشتين الشهير عام 1905 ليست خصما من مادة الجسم، بل هي تحول للطاقة من صورة لأخرى. وما حاوله النسبويون، لتبرير ذلك التكافؤ المدعى بين الطاقة والكتلة، بذلك المثال المتكرر الذكر، وهو مثال كتلة اليورانيوم الصغيرة التي تتحول إلى طاقة هائلة تنير مدينة، لا علاقة له بهذا التكافؤ المزعوم من قريب أو بعيد. فالذي يحصل في المفاعلات الذرية حقيقة ما هو إلا سلسلة من تحول الطاقة من صورة لأخرى، وليس فقدان للمادة في صورة طاقة. فالطاقة النووية داخل أنوية اليورانيوم المخصب تتحرر بالإنشطار وتتحول إلى طاقة حرارية، تتحول بدورها إلى طاقة حركية تدير التوربينات، ومن ثم تتحول إلى طاقة كهربية. والمادة لم تتغير كميتها لصالح أي من تلك الطاقات خلال كل تلك التحولات؛ قد تتفتت، تتبعثر؛ تتحول من صورة لأخرى لكنها تظل مادة، ولو تمكنا عمليا من جمعها سنجدها نفس الكمية التي بدأ بها التفاعل. أما سر أن كمية ضئيلة من اليورانيوم المخصب تنتج كمية هائلة من الطاقة، وهي ليست بالقطع في هول المحسوبة بمبدأ التكافؤ، هو أن الطاقة النووية هائلة بالأساس، كيف لا، وهي سبب عدم انفراط عقد تلك الأنوية شديدة الخطورة.

الطاقة والمادة متفاعلان ومتصلان ببعضهما في علاقات متعددة، لكن مع انفصال طبيعة كل منهما عن الآخر؛ فالمادة وحدات بناء، والطاقة هي ملاط تلك الوحدات لتشكلها في أنماط متعددة، وهي أيضا ما يتسبب في حركتها، والتوحيد بينهما، وإن بدا أنه أنقذ النسبية الخاصة، لكنه لا بد أن يصيب الواقع الفيزيائي بالشيزوفرنيا.

خلاصة الأمر، أن جميع تناقضات النسبية الخاصة سببها المنهجية المقلوبة التي اعتمدها أينشتين؛ منهجية التلاعب الرياضي بقوانين الميكانيكا التقليدية، التي هي ترجمة لتصورات معينة عن الواقع الفيزيائي، لمحاولة إنتاج قوانين جديدة، تصنع بدورها تصورات مختلفة عن الواقع الفيزيائي. فمبدأ الطاقة-الشغل، الذي استخدمه أينشتين، هو مبدأ نيوتوني نابع من زمان

ومكـان مسـتقلين مطلقـين، وبالتـالي، هـو ترجمـة لقـوة سـببية تغيـر حركـة الجسـم فـي نفـس اتجـاه تأثيرهـا. فـإذا بأينشـتين يعامـل القـوة كتعريـف رياضـي، ويعـوض فـي قانونهـا بكميـة حركـة تراعـي تبـاطؤا زمنيـا غيـر مسـبب فيزيائيـا؛ يفتـرض اتصـال الزمـان بالمكـان ونسـبيتهما، ليحصـل، كنتيجـة منطقيـة، علـى قـوة ليسـت بالضـرورة فـي اتجـاه عجلـة الحركـة، ولكنـه لايبـالي ويسـتمر رياضـيا، ويضـمن مبـدأ الطاقـة-الشـغل النيوتـوني كتلـة تختلـف جـذريا عنهـا فـي الميكانيكـا التقليديـة؛ فتحديـد مقـدارها يعتمـد علـى عوامـل خـارج النظـام، وقـد وجـد نفسـه مضـطرا لـذلك ليـتمكن مـن تعريـف المتغيـرات الديناميكيـة فـي المتصـل الزمكـاني؛ الـذي نشـأ نتيجـة حـل رياضي(هندسـي) أيضـا لأزمـة عـدم خضـوع سـرعة الضـوء لقانون السرعة النسبية التقليدي.

والرياضـيات أداة حسـاب ولغـة وصـف كميـة، لا يمكنهـا أن تنـتج فيزيـاء. وبالتـالي مـا حصـل أن أينشـتين ظـل ينتقـل مـن مرحلـة إلـى مرحلـة فـي نظريتـه، وهـو يفـرض فـي كـل مرحلـة شـيئا جديـدا علـى الواقـع الفيزيـائي؛ بمعنـى أنـه جعـل الرياضـيات تـأمر والواقـع ينفـذ. وكـان يحمـل لافتـة يسـكت بهـا الجميـع "النسـبية تتحدى حدوسنا عن المألوف"؛ فهي ثورة على مفاهيمنا وبداهتنا.

مـن الـوارد أن تصـطدم نظريـة جديـدة بحدوسـنا، ولكـن لكـي تكـون مخالفتهـا لحدوسـنا صـحيحة؛ لابـد أن تكـون نظريـة متسـقة البنـاء. صـحيح أن ثبـات سـرعة الضـوء لغـز، لكـن النسـبية الخاصـة ليسـت الحـل؛ لأنهـا حلـت اللغـز بـثمن فـادح؛ هـو صـورة مشـوهة للواقـع الفيزيـائي. فأينشـتين أشـبه بشـخص وجـد ثقبـا صـغيرا في سفينة، ثم ليسده ملأ جسم السفينة بالثقوب.

تداعيات تكافؤ الكتلة والطاقة على ميكانيكا الكم

الظاهرة الكهروضوئية وتفسير تم تشويهه

متـأثرا بحـل بلانـك لأزمـة اشـعاع الجسـم الأسـود، نجـح أينشـتين فـي تفسـير الظـاهرة الكهروضـوئية، عنـدما قـدم صـورة جديـدة للطاقـة الضـوئية علـى أنهـا

حـزم موجيـة كهرومغناطيسـية متقطعـة؛ كـل حزمـة تسـمى فوتونـا؛ وكـل فوتـون يحمـل كمـا محـددا مـن الطاقـة يعتمـد علـى تـردده[22]. وبالتـالي، لا دخـل لشـدة الضـوء السـاقط علـى سـطح بعـض المعـادن فـي تحريـر الإلكترونـات منـه؛ فـالإلكترون لا يتحـرر مـن سـطح المعـدن إلا إذا أكتسـب طاقـة فوتـون ذو تـردد محـدد تمكّنـه مـن الإفـلات مـن مـداره حـول نواتـه، والانطـلاق بكميـة حركـة خطية.

ولكـن لأن مبـدأ تكـافؤ الكتلـة والطاقـة، الـذي ابتكـره أينشـتين، يجعـل للفوتـون كميـة حركـة؛ تـم الإيحـاء بـأن الإلكتـرون يفلـت مـن مـداره ويكتسـب طاقـة الحركـة مـن تصـادم الفوتـون بـه تصـادما غيـر مـرن؛ والفوتـون بـلا كتلـة، فكيـف يمكنـه أن يصدم شيئا؟!

ربمـا مـا جعـل أينشـتين يلجـأ لعـد الفوتـون جسـيما فـي تفسـيره للظـاهرة الكهروضـوئية عـام 1905، أن نمـوذج بـور الـذري لـم يكـن قـد خـرج للنـور إلا فـي عـام 1913، والـذي اقتـرح أن الإلكتـرون يكتسـب الطاقـة ويفقـدها بطريقـة كميـة متقطعـة مـن خـلال امتصـاص أو اشـعاع موجـة كهرومغناطيسـية، يتحـدد ترددهـا بالفـارق بـين مسـتويي الطاقـة الـذي يتنقـل بينهمـا؛ وبالتـالي لكـي يفلـت إلكترونـا مـن مسـتوى طاقـة مـا، يكفيـه أن يمـتص مباشـرة تلـك الموجـة الكهرومغناطيسـية محـددة التـردد، أي الفوتـون. وكـان علـى أينشـتين أن يتراجـع عن طرحه لتصور الفوتون كجسيم بعد تطور الفيزياء الذرية.

والفوتـون لـيس جسـيما إطلاقـا وإلا تناقضـت فيزيـاء الموجـات مـع ذاتهـا، وخرافة أن للضوء خصائص جسيمية من تأليف أينشتين. وهذه هي الأسباب:

- الجسيم لا أبعـاد لـه ولـه كتلـة. والفوتـون حزمـة موجيـة لهـا أبعـاد مكانيـة، ولـيس لهـا كتلـة. ويمثـل رياضـيا بتركيـب خطـي لعـدد هائـل مـن الموجـات

[22] وفـق هـذا النمـوذج يبـدو الضـوء، علـى المسـتوى المـاكروي، فيضـا متصـلا بسـبب الكـم الهائـل مـن تلـك النبضـات أو الفوتونـات التـي يتكـون منهـا شـعاع الضـوء؛ فـلا تسـتطيع أعيننـا إدراك تقطعها.

الكهرومغناطيسية المستوية الأحادية، يصف تداخلا بناءً فقط في حيز مكاني محدود.

- الفوتون، كحزمة موجية، يتفكك تحت تأثير التشتت عند انتقاله من وسط لآخر، كما يحدث عند المرور بمنشور زجاجي، حيث تختلف سرعة كل موجة أحادية فيه عن الأخرى؛ لاختلاف معامل الإنكسار مع أطوالها الموجية المختلفة.

- الفوتون ينعكس وينكسر ويحيد، ويتداخل مع نفسه بعد انقسامه في تجربة الشق المزدوج؛ فهو ليس نقطة كتلة متماسكة؛ أي ليس جسيما.

- التعامل مع الفوتون كجسيم بدون كتلة وله كمية حركة، خروج فج على مفهوم كمية الحركة الذي يميز بين حركة الأجسام على أساس كتلتها.

تشتت كومبتون.. تصادم وهمي

ظاهرة تشتت كومبتون هي ظاهرة تشتت فوتون الأشعة السينية من سطح الجرافيت بتردد أقل من تردد سقوطه عليه، في مخالفة لقوانين التشتت التقليدية[23]. ومجددا، وبسبب اختراع تكافؤ الكتلة والطاقة، فسر كومبتون الظاهرة من خلال افتراض تصادم مرن بين الفوتون والإلكترون، وحاز جائزة نوبل على ذلك!!

ويمكن تفسير تلك الظاهرة دون عد الفوتون جسيما؛ فعندما يسقط فوتون الأشعة السينية على الإلكترون، يتشتت بتردد أقل لأن طاقته؛ $E = h\nu$، انتقصت بقدر ضئيل استهلك في تحريك الإلكترون، ولكن تلك الطاقة الحركية لم يكتسبها الإلكترون بسبب اصطدام الفوتون به اصطداما مرنا، بل من خلال قوانين الكهرومغناطيسية.

فإذا عُدّ الإلكترون ساكنا ابتداء (للتبسيط)، وحقله الكهرومغناطيسي كجسيم مشحون قابل للإهمال مقارنة بالحقل الكهرومغناطيسي للفوتون، فإن

[23] وفق قوانين التشتت التقليدية، ترددي الشعاع الساقط والمشتت متساويان.

الحقل الكهربي للفوتون عندما يسقط على الإلكترون سالب الشحنة سيحركه في عكس إتجاه تدفق هذا الحقل. ثم نتيجة لحركة الإلكترون في حقل الفوتون المغناطيسي، سيقع الأول تحت قوة عمودية على كل من إتجاه حركته وإتجاه تدفق الحقل المغناطيسي؛ بمعنى أن الإلكترون سيتحرك[24] في نفس اتجاه انتشار الموجة الكهرومغناطيسية للفوتون، مما قد يعطى انطباعا بحدوث تصادم. إذن ما فسره كومبتون كاصطدام، هو في الحقيقة حركة لجسيم مشحون تحت تأثير قوة لورنتس الشهيرة.

متباينة هايزنبرج.. منتهكة في الماضي والمستقبل أيضا

مجددا، وبسبب تكافؤ الكتلة والطاقة، تجربة هايزنبرج العقلية لإستنتاج متباينة الخطأ-الاضطراب[25] بسبب تأثير القياس (الراصد) غير صحيحة لأنها اعتمدت على تفسير كومبتون؛ الذي عد الفوتون جسيما يصطدم بالإلكترون.

ويمكن تفسير تفاعل الفوتون الراصد مع الإلكترون المرصود، والمتحرك في خط مستقيم، وفق قانون لورنتس؛ تماما كما سبق[26]، حيث يتشتت الفوتون بعد سقوطه على الإلكترون بتردد أقل، بعد أن استهلك قدرا ضئيلا من طاقته في اكساب الإلكترون كمية حركة إضافية على كمية حركته الإبتدائية، ولكن بطريقة متصلة. وبالتالي التغير الناتج في كمية الحركة

[24] افترض كومبتون في اسستنتاجه الرياضي لتردد الفوتون المشتت، أن الإلكترون تم تعجيله نتيجة تصادم الفوتون به إلى سرعة كبيرة معتد بها مقارنة بسرعة الضوء، ليتمكن من استخدام معادلة الطاقة-كمية الحركة النسبية، وهذا فرض متعسف لا نحتاجه في التفسير هنا.

[25] الخطأ في قياس أحد المرصودات، يتناسب عكسيا مع الاضطراب الناتج عن ذلك القياس، في مرصود آخر غير متوافق معه.

[26] أيضا مع عد حقل الإلكترون الكهرومغناطيسي الناتج عن حركته، قابل للإهمال مقارنة بالحقل الكهرومغناطيسي للفوتون الراصد.

بسبب قياس الموقع ليس فجائيا؛ بل قابلا للتنبؤ، مما ينتهك متباينة الخطأ- الإضطراب.

ولوتضيح الأمر أكثر، نفترض أن الإلكترون المرصود يتحرك ابتداء بكمية حركة خطية p_i ، مقيسة سلفا بنسبة خطأ اعتباطية Δp ، يمكن جعلها أصغر ما يمكن. ولنفترض أن موقع الإلكترون x قيس في لحظة ما t_0 ، بنسبة خطأ اعتباطية أيضا Δx ، يمكن جعلها أصغر ما يمكن، من خلال استخدام فوتون أعلى ترددا للرصد. بذلك، فإن موقع الإلكترون قبل اللحظة t_0 يمكن حسابه، ليصبح لدينا موقعا وكمية حركة محددين بنسبتي خطأ اعتباطيتين مستقلتين قبل لحظة القياس t_0 ؛ أي متباينة هايزنبرج غير متحققة؛ بمعنى أن $\Delta x\Delta p < \hbar/2$ ، وهذا يقره هايزنبرج؛ أن متباينته غير متحققة بالنسبة لماضي النظام.

ولكننا سنختلف مع هايزنبرج فيما بعد هذه اللحظة؛ فوفق تصوره، عند لحظة القياس t_0 ، سيغير الفوتون فور اصطدامه بـ الإلكترون كمية حركة الأخير بمقدار غير قابل للتنبؤ $\Delta p = \left|p_f - p_i\right|$ (p_f غير متوقعة) يتناسب عكسيا مع الخطأ في قياس الموقع، بسبب التناسب العكسي بين الطول الموجي للفوتون وتردده[27]؛ أي تتحقق المتباينة $\Delta x\Delta p \geq \hbar/2$ ؛ وبالتالي الموقع وكمية الحركة غير محددين آنيا بالنسبة لمستقبل النظام.

بينما بالتخلص من فكرة كمية حركة الفوتون، القادمة من مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة، لا يحدث تصادم ولا تغير فجائي في كمية حركة الإلكترون، بل تغير متصل ابتداء من اللحظة t_0 ؛ بسبب تأثير قوة لورنتس. وبالتالي، يمكن استخدام معلوماتنا عن كمية الحركة المحددة سلفا، والتي هي نفسها في هذا

[27] كلما نقص الطول الموجي للفوتون الراصد، ازدادت دقة تحديد الموقع، ولكن هذا النقص يعني زيادة في تردد الفوتون، وبالتالي طاقته وكمية حركته، مما يسبب اضطرابا أكبر في كمية حركة الإلكترون عند اصطدامه به (وفق تصور هايزنبرج).

التفسير عند اللحظة t_0، والموقع المقيس عندها أيضا (بنسبتي خطآ اعتباطيتين مستقلتين) للتنبؤ من خلال قانون نيوتن الثاني بالموقع وكمية الحركة في أية لحظة مستقبلية. إذن موقع وكمية حركة النظام محددين دائما؛ أي قبل القياس وبعده بنسبتي خطأ اعتباطيتين مستقلتين؛ وبالتالي متباينة هايزنبرج غير متحققة في ماضي النظام وفي مستقبله أيضا.

بالطبع التفسير الذي طرحت لا يصلح عند قياس جسيم متعادل، كالنيوترون مثلا، ولكنه مثال كاف على أن متباينة الخطأ-الاضطراب لهايزنبرج قابلة للانتهاك حتى بعد القياس.

ولابد من ملاحظة أن متباينة الخطأ-الاضطراب تفترض إمكانية قياس أحد المرصودين غير المتوافقين بنسبة خطأ تقترب من الصفر، وهذا يخرجها من الصياغة القياسية لميكانيكا الكم؛ التي تفترض عدم القدرة على معرفة ماضي النظام قبل القياس بسبب سياقية معادلة شرودنجر؛ أساس هذه الصياغة. ولذلك المبدأ الصحيح الذي يتسق مع الصياغة القياسية هو مبدأ عدم التوافق؛ والذي يعني عدم القدرة على إعداد تجمع إحصائي لأنظمة كمية متطابقة في مرصودين غير متوافقين؛ فليس لدقة القياس علاقة بالأمر بل لإمكانيته أساسا. وذلك لا يعني أنه ليس لتلك الأنظمة قيمتين آنيتين لمرصودين غير متوافقين، كما زعم بور ثم هايزنبرج على أثره؛ بل يعني عدم قدرتنا على إجراء مثل هذا القياس.

معادلة دُبْرُيّ وثنائية أتعبت الجميع

في أوائل العشرينات من القرن الماضي، دمج الدوق الفرنسي الشهير دُبْرُيّ ما بين مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة لأينشتين، والطاقة المكممة للفوتون كجسيم، حسب تصور أينشتين أيضا، من خلال المنطق التالي؛ بما أن طاقة الفوتون تتحدد بالتردد، وهذه الطاقة، حسب نسبية أينشتين، تتناسب طرديا مع الكتلة؛ فإنه من المنطقي أن تقترن مادة الجسيم (وهو مايكروي هنا حيث

قـوانين الكـم حاكمـة) ذو الكتلـة بظـاهرة موجيـة؛ بمعنـى أنـه كمـا للأمـواج خصائص جسيمية فإن للجسيمات خصائص موجية.

وبالتـالي لجسـيم ذو كتلـة سـكونية m_0 طاقـة متناسـبة معهـا حسـب قـانون النسـبية الخاصـة $E_0 = m_0c^2$. وطالمـا تجعـل النسـبية كتلـة الجسـيم وطاقتـه متكافئتـان، كمـا تجعـل نظريـة الكـم هـذه الطاقـة مرتبطـة بتـردد مـا. إذن يمكـن إقـران كتلـة الجسـيم m_0 بتـردد ν_0، عـده دُبْـرُيّ انعكـاس لظـاهرة ذبذبيـة داخليـة للجسـيم. وعلى ذلك، بالنسبة لراصد ذاتي للجسيم؛

$$E_0 = m_0c^2 = h\nu_0$$

فـإذا تحـرك الجسـيم بسـرعة منتظمـة $\upsilon = \beta x$، حيـث $\beta = \upsilon/c$، فـي إتجـاه راصـد آخـر ثابـت بالنسـبة لـه؛ أي إذا تحـرك الإطـار المرجعـي الـذاتي لهـذا الجسيم بـنفس سـرعته فـي إتجـاه إطـار مرجعـي آخـر سـاكن بالنسـبة لـه، فـإن هـذه الطاقـة التـي بـدأ بهـا الجسـيم مـن سـكون ستصـبح فـي هـذا الإطـار السـاكن، حسـب تحويل لورنتس:

$$E = E_0 \big/ \sqrt{1-\beta^2}$$

أو بالتعويض بالمعادلة أعلاه، فإن التردد الداخلي للجسيم سيزداد ليصبح:

$$\nu_0 \big/ \sqrt{1-\beta^2}$$

ولكـن بالنسـبة لـنفس الإطـار المرجعـي السـاكن، تـردد الحالـة الداخليـة للجسـيم أبطـأ حسـب نظريـة النسـبية الخاصـة. وبالتـالي، حسـب تحويـل لـورنتس لتبـاطؤ التغير في الزمن، سيصبح هذا التردد بالنسبة لهذا الراصد:

$$\nu_0 \sqrt{1-\beta^2}$$

إذن التـردد الـداخلي يـزداد ويـنقص فـي نفـس الوقـت بالنسـبة لـنفس الراصـد، فكان على دبري حل هذا التناقض.

ولكـي يفعـل ذلـك، إفتـرض أنـه فـي الإطـار المرجعـي الـذاتي للجسـيم توجـد موجـة خارجيـة مصـاحبة لـه، لهـا نفـس طـور الموجـة المعبـرة عـن الظـاهرة

الذبذبية الداخلية للجسيم، ونفس ترددها ν_0. وبما أن سرعة الجسيم في هذا الإطار منعدمة تكون هذه الموجة موقوفة؛ أي لها نفس الطور مع مرور الزمن الذاتي t_0. وتأخذ هذه الموجة الهيئة:

$$\sin 2\pi\nu_0 t_0$$

حيث $2\pi\nu_0 t_0$ هو طور هذه الموجة الموقوفة. ولكن بالنسبة للراصد الساكن الذي يتحرك الجسيم نحوه، إذا إفترضنا أن الموجة المصاحبة للجسيم لها طور ما؛ $2\pi\nu t-(2\pi/\lambda)x$، مساو لنفس طور الموجة الموقوفة التي تصف حالة الجسيم الترددية الداخلية في الإطار المرجعي الذاتي $2\pi\nu_0 t_0$؛ أي إذا ظل طور الموجة المصاحبة للجسيم ثابتا مع اختلاف الإطارين المرجعيين (أي إذا كان هذا الطور من اللامتغيرات اللورنتسية)، نحصل على؛

$$2\pi\nu t-(2\pi/\lambda)x=2\pi\nu_0 t_0$$

لكن الزمن بالنسبة لهذا الراصد الخارجي t، مرتبط بالزمن الذاتي t_0 حسب تحويل لورنتس:

$$t_0=\frac{[t-(\beta x/c)]}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

إذن:

$$2\pi\nu t-(2\pi/\lambda)x=\frac{2\pi\nu_0}{\sqrt{1-\beta^2}}[t-(\beta x/c)]$$

بمقارنة الطرفين، نجد أنه بالنسبة للراصد الساكن، الموجة المصاحبة للجسيم، والمطابقة في طورها لطور موجته الداخلية، ترددها هو $\nu=\nu_0/\sqrt{1-\beta^2}$، وطولها الموجي هو $\lambda=(c/\beta)(\sqrt{1-\beta^2}/\nu_0)$، وبالتالي $\upsilon_p=\lambda\nu=c/\beta$ سرعة طورها.

إذن وجود هذه الموجة المصاحبة للجسيم، بالنسبة للراصد الساكن، بهذا التردد وهذه السرعة، هو الشرط الذي يضمن تطابق طوري الموجتين الداخلية للجسيم والمصاحبة له في جميع الأطر المرجعية؛ هذا اللاتغير اللورنتسي عرفه دُبْرُيّ بقانون انسجام الأطوار.

ولكن كيف حل ذلك التناقض الذي واجهه؟ التناقض حل ببساطة؛ فطالما أن للموجتين نفس الطور، إذن يمكن للراصد الساكن أن يستعيض بالموجة الممتدة المصاحبة للجسيم عن الداخلية، والتي ترددها بالنسبة له $\nu = \nu_0 / \sqrt{1-\beta^2}$، وبالتالي يتجنب الصورة الأخرى للتردد $\nu_0 \sqrt{1-\beta^2}$ ؛ وينتهي التناقض.

ولكن سرعة الطور هذه الموجة المادية المصاحبة للجسيم بالنسبة للراصد الساكن تفوق سرعة الضوء؛

$$\upsilon_p = \frac{c}{\beta} = \frac{c^2}{\upsilon} > c$$

حيث υ هي سرعة الجسيم، وهذا لا ينتهك، وفق تصور خاطئ، حد السرعة في النسبية الخاصة لأن طور هذه الموجة لا ينقل طاقة[28].

وبالتعويض بالتردد $\nu_0 = m_0 c^2 / h$ ، يأخذ طولها الموجي الصورة:

---

[28] طور الموجة الفيزيائية ينقل طاقة، وطور موجة الضوء مثال. ولكن أحيانا تتراصف زمانيا ومكانيا سلسلة من الأحداث الذبذبية المستقلة عن بعضها، وتتحرك معا ككتلة واحدة كأنها أطوار موجة، فيكون لدينا ظاهرة شبيهة بالظاهرة الموجية عرفها دُبْرُيّ بـ "موجة الطور"، ولكن طورها لا ينقل طاقة أو مادة أو معلومات. فمثلا، لو أن لدينا قضيبا معدنيا علقت به أسلاكا زنبركية، يتدلى من كل منها نفس الثقل، وتتذبذب بنفس الطور والشدة، وتنزلق معا ككتلة واحدة أفقيا بسرعة ما بطول القضيب، فإنه رغم تشابه أطوار هذه الظاهرة مع أطوار موجة تتحرك أفقيا، إلا أن أيا منها لا ينقل طاقة؛ فتذبذب الأسلاك متراصف فقط، ولا تؤدي ذبذبة أي منها إلى ذبذبة الآخر. وقد استخدم دُبْرُيّ مثال مشابه لتوضيح أن موجة الطور (التي تصف الحالة الترددية الداخلية للجسيم من خلال تطابقها مع طور تلك الحالة) لا تنقل طاقة، وبالتالي تجاوزها لسرعة الضوء غير مخالف للنسبية الخاصة، وهذا ليس صحيحا؛ فقيد سرعة الضوء حدا أقصى للسرعة في النسبية الخاصة، فرض لا علاقة له بأي شيء فيزيائي، كما أوضحت من قبل.

$$\lambda = \frac{c}{\beta}\frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\nu_0} = \frac{c^2}{\upsilon}\frac{h\sqrt{1-\beta^2}}{m_0c^2} = \frac{h}{m\upsilon} = \frac{h}{p}$$

حيث $m = m_0/\sqrt{1-\beta^2}$ هي الكتلة بالنسبة لراصد خارجي ساكن.

وهذه هي المعادلة التي اشتهر بسببها دُبْرُيّ؛"الطول الموجي للموجة المصاحبة للجسيم المادي λ يساوي ثابت بلانك مقسوما على كمية حركة الجسيم p"؛

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

ورغم أن هذه الموجة المادية الأحادية أسرع من الجسيم، إلا أن سرعة حزمتها الموجية الحاملة للطاقة υ_g مساوية لسرعته υ، مما مكن دُبْرُيّ من عد الحزمة بديلا عن الجسيم!!

ولإثبات ذلك لابد من إيجاد العلاقة التشتتية؛ أي العلاقة بين التردد الزاوي للموجة المادية $\omega = 2\pi\nu$ وعددها الموجي $k = 2\pi/\lambda$. وبالتعويض عن التردد؛

$$\nu = \nu_0/\sqrt{1-\beta^2} = m_0c^2/h\sqrt{1-\beta^2} = E/h$$

يكون التردد الزاوي:

$$\omega = E/\hbar$$

حيث $\hbar = h/2\pi$.

وبالتعويض عن الطول الموجي $\lambda = h/p$، يكون العدد الموجي:

$$k = p/\hbar$$

ومن النسبية الخاصة نعرف أن:

$$E = \sqrt{p^2c^2 + m_0^2c^4}$$

إذن:

$$\upsilon_g = \frac{d\omega}{dk} = \frac{d(E/\hbar)}{d(p/\hbar)} = \frac{dE}{dp} = \frac{pc^2}{E}$$

ولكن سرعة طور الموجة:

$$\upsilon_p = \frac{c^2}{\upsilon} = \frac{\omega}{k} = \frac{E}{p}$$

إذن $\frac{E}{p} = \frac{c^2}{\upsilon}$ ، وبالتالي $\upsilon_g = \upsilon$.

ويجدر ملاحظة أنه إذا كانت حزمة الفوتون لا تعاني تشتتا في الفراغ، فحزمة الموجة المادية أسوأ حالا؛ إذ تتشتت بعد وقت قصير جدا حتى في الفراغ؛ فنحن إذن بصدد جسيم قصير العمر جدا!!

إن المعادلة التي تربط بين الطول الموجي لموجة وكمية حركة الجسيم؛ $\lambda = h/p$ ، صحيحة ومؤيدَة بالتجارب المتعددة التي أجريت على الجسيمات الكمية عند إطلاقها على شرائط رفيعة أو شق مزدوج[29]. ولكن الاستنتاج الذي قام به دُبْرُيّ للوصول إلى تلك المعادلة الصحيحة به أخطاء عديدة:

- الموجة الموقوفة في الإطار الذاتي $\sin 2\pi\nu_0 t_0$ ، من المفترض أن طورها ثابت مع الزمن، إلا أن هذا الطور يحتوي الزمن الذاتي t_0 أي يتغير مع الزمن.

- عندما طابق دُبْرُيّ طوري الموجة الداخلية للجسيم والمصاحبة له، مع اختلاف الإطارين المرجعيين حصل على العلاقة؛ $2\pi\nu t - (2\pi/\lambda)x = 2\pi\nu_0 t_0$ ، ثم استخدم تحويل لورنتس لإيجاد العلاقة بين الزمن الذاتي t_0 ، والزمن بالنسبة للراصد الساكن الذي يتحرك الجسيم

[29] هذا لا يعني أن للجسيمات خصائص موجية؛ فالنتيجة وإن طابقت تجريبيا ورياضيا نمط تداخل الموجات، إلا أن الذي يصل إلى شاشة الرصد في تجربة الشق المزدوج جسيمات، وبالتالي معادلة دُبْرُيّ يمكن استخدامها رياضيا لوصف نتيجة التجربة، وإذا عدت تفسيرا فيزيائيا بوجود موجة؛ فإنها مصاحبة للجسيم مع استقلال خواص كل منهما عن الآخر، كما سأوضح بعد ذلك.

نحوه t، لكنه لم يحول التردد الداخلي للجسيم ν_0، رغم أنه دالة في الزمن الذاتي $\nu_0 = \nu_0(t_0)$، وإلا ما كان ليخضع لقانون تباطؤ التغير الزمني مع الحركة $\nu_0\sqrt{1-\beta^2}$.

- طور الموجة المادية المصاحبة للجسيم؛ $2\pi\gamma\nu_0[t-(\beta x/c)]$، غير صحيح بالمرة فهو يحتوي زمنين؛ الزمن t والزمن t_0 من خلال ارتباطه بالتردد $\nu_0 = \nu_0(t_0)$، ولا يستقيم أن تتغير السعة الاضطرابية لموجة بتغير زمنين.

- سرعة الطور الموجة المادية المصاحبة لجسيم حر وفق استنتاج دُبْرُيّ $\upsilon_p = (c/\beta) = c^2/\upsilon$، حيث υ سرعة الجسيم، بينما سرعة طور نفس الموجة التي تصفها معادلة شرودنجر في الحالة غير النسبية لجسيم حر، هي $\upsilon_p = \upsilon/2$، وهنا تناقض. ومصدر هذا التناقض افتراض وجود الطاقة السكونية $E_0 = m_0c^2$، ومعادلة شرودنجر مستنتجة من معادلة هاملتون-جاكوبي، حيث الطاقة الكلية الميكانيكية للجسيم الحر هي طاقة حركته فقط؛ فهي معادلة ترضخ لنفس تصورات الميكانيكا التقليدية التي تتعامل مع الكتلة كخاصية ذاتية مستقلة عن الزمان والمكان، وبالتالي الكتلة في معادلة شرودنجر لها نفس هذا المفهوم؛ فكتلة الإلكترون، مثلا، هي كمية مادته، ولا دخل لحركته بمقدارها، ولما حاول شرودنجر تضمين مفهوم تكافؤ الكتلة والطاقة في معادلته، حصل على معادلة تعطي احتمالات سالبة فتراجع، وقد أصابه الإحباط لعدم مواكبته النسبية، موضة العصر. لكن بعد ذلك، قام كلاين وجوردن باستنتاج نفس المعادلة، ونشرت بتبجح واضح. وبدلا من اتهام مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة، عالج ديراك الأمر رياضيا باستنتاج معادلة ديراك، لتظل النسبية الخاصة قائمة في ميكانيكا الكم.

وهكذا، بات واضحا، أن ثنائية الجسيم-الموجة هي نتيجة طبيعية لمنطق أينشتين الغريب، الذي تبناه دُبْرُيّ، أن الجسيم كمادة هو طاقة، والطاقة

تحسب بتردد موجة؛ إذن للجسيم خصائص موجية! هذه الثنائية أثارت تناقضا وإرباكا في ميكانيكا الكم، والتي في حقيقتها تتعامل مع جسيمات مادية ولا تصف موجات.

إن دالة شرودنجر لا تصف موجة؛ فعندما حاول شرودنجر استنتاج معادلة تصف موجة دُبْرُيّ المادية حصل على معادلة؛ حلها في الحالة العامة هو دالة معرفة على فضاء الموقع التخيلي وليس فضاء المكان الواقعي[30]؛ هي تبدو كدالة موجة عند وصفها لجسيم واحد، لكن بورن أثبت بعد ذلك أنها أداة رياضية؛ أو حزمة موجية إحصائية؛ مربع سعتها يحدد توزيعا إحتماليا لأي من المتغيرات الديناميكية المرصودة، لتجمع إحصائي من الأنظمة الكمية؛ وعليه لا تصف تجربة الشق المزدوج الكمية تداخل موجات؛ فالذي يصل إلى شاشة الرصد جسيمات وليس موجات، وإن صنع توزيع هذه الجسيمات على الشاشة الرصد نمطا يشبه نمط تداخل الموجات.

لكن رغم ذلك صارت الثنائية مصدرا للإرباك والاختلاف بين المدارس العلمية؛ حيث تبنت أبرزها؛ وهي مدرسة كوبنهاجن لبور وهايزنبرج، الثنائية أساسا في تفسيرها لنتائج التجارب الكمية؛ فوفق تفسير كوبنهاجن، هناك افتراض (صاغه بور على أنه مبدأ؛ وعرف بمبدأ التكاملية) بأن الجسيم الكمي يسلك سلوك الجسيمات أو الموجات، وليس كليهما معا، والذي يحدد السلوك سياق القياس أو الرصد، وهذا يؤدي بالضرورة إلى مقايضة بين المتغيرات الكينامتيكية؛ كالموقع والزمن، والمتغيرات الديناميكية ككمية الحركة والطاقة؛ إذ لا يمكن، مثلا، الجمع بين تحديد الموقع وكمية الحركة

[30] رغم ذلك ظل دُبْرُيّ متمسكا بوجود موجة مادية تقود حزمة موجية تمثل الجسيم المادي، وعد دالة شرودنجر أداة إحصائية تعين التوزيع الإحتمالي لموقع الجسيم الذي تحدده الموجة المادية؛ لذا عرفت نظريته بالحل المزدوج، مع ملاحظة أن الحزمة الموجية هي نقطة شاذة (غير معرفة) متحركة في جسم الموجة المادية؛ إذ تشتد فيها سعة الموجة بشكل مفاجئ، وتحتاج إلى معالجة رياضية وربما فيزيائية. وفي حالة الجسيمات المتعددة، يصبح الحل المزدوج معقدا للغاية؛ حيث موجة شرودنجر معرفة على فضاء الموقع التخيلي، وتقترن بعدد من الموجات المادية، معرفة في الفضاء المكاني الواقعي، مصاحبة لنفس العدد من الحزم الموجية كنقاط شاذة.

آنيا؛ حيث إذا تم تحديد أحدهما لا يمكن تحديد الآخر، وذلك فتح الباب لتبني بور فكرة أن سياق الرصد يوجد المرصودات، وأنه لا معنى للحديث عن مرصود ما، بل ونظام ما، قبل الرصد، وذلك التصور كان مصدر جدال أينشتين مع بور، والذي جعل الأول يرفض السياقية محددا للواقع الفيزيائي، وفي حقيقة الأمر بضاعة أينشتين ردت إليه؛ فتكافؤ الكتلة والطاقة الذي افترضه هو ما ألهم بور بالسياقية!

وهكذا فإن مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة جعل المدخل لميكانيكا الموجات؛ العلم الذي أسسه دُبْرُيّ، شديد الارتباك، لأن التوازي الذي تأسس عليه اعتمد على خطأ عد الفوتون جسيما، بينما هو مجرد حزمة موجية تحمل كما من الطاقة، مما أوقعه في تعريف زائد هو الحالة الترددية الداخلية للجسيم "المادي" بسبب طاقته السكونية؛ أي بسبب تكافؤ الكتلة والطاقة، لنصل في النهاية، إلى ضرورة وجود موجة خارجية مصاحبة للجسيم، ولم يعد أحد يلتفت إلى الحالة الترددية الداخلية لكتلة الجسيم؛ لأنها في الحقيقة فعلا زائدة بمقدار زيادة تكافؤ الكتلة والطاقة.

ولكن هل يمكن استنتاج معادلة دُبْرُيّ دون أخذ مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة في الحسبان؛ أي هل هناك مدخل آخر لميكانيكا الموجات يتفادى هذا المبدأ الغير صحيح؟

في تصوري المدخل الصحيح لميكانيكا الموجات، هو عقد مقارنة بين معادلة هاملتون-جاكوبي للفعل، ومعادلة هاملتون في هندسة البصريات.

عند حل معادلة هاملتون- جاكوبي في حالة خاصة؛ وهي حالة النظام المحافظ، تصبح معادلة هاملتون- جاكوبي لجسيم واحد:

$$H(x,y,z,\partial S/\partial x,\partial S/\partial y,\partial S/\partial z)=E$$

حيث S دالة هاملتون الأساسية وتمثل فيزيائيا الفعل، و $E=-(\partial S/\partial t)=K+V$ الطاقة الكلية للنظام وهي مقدار ثابت، إذن:

$$E = K + V = \frac{1}{2m}(p_x^2 + p_y^2 + p_z^2) + V(x, y, z)$$

ولكن $\vec{p} = \nabla S$ ، إذن تصبح المعادلة:

$$\left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial z}\right)^2 = 2m(E - V)$$

ويمكن أن تكتب هذه المعادلة على الصورة:

$$|\nabla S| = |\vec{p}| = p = \sqrt{2m(E - V)}$$

هذه المعادلة توازي معادلة هاملتون في هندسة البصريات المبنية على مبدأ هَيجنس[31]؛

$$\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z}\right)^2 = \frac{n^2}{c^2}$$

حيث $n = n(x, y, z)$ معامل الإنكسار، و c سرعة الضوء في الفراغ، والطرف الأيسر هو مربع تدرج سطح ما؛ $\varphi(x, y, z) = C$، لنقاطه نفس طور الضوء، حيث الدالة $\varphi(x, y, z)$ تمثل فيزيائيا الزمن اللازم للضوء للوصول إلى النقطة (x, y, z) في الفضاء المكاني، من مقدمة ابتدائية يمثلها السطح $\varphi(x, y, z) = \varphi_0$ عند زمن ابتدائي ما. وبالتالي بين الأسطح $\varphi(x, y, z) = C$ التي تتحرك في الفضاء المكاني، كأنها موجة مستوية، فترات زمنية $dt = d\varphi$.

ويمكن أن تكتب هذه المعادلة على الصورة:

$$|\nabla \varphi| = n/c = \frac{1}{\upsilon_p}$$

[31] هو مبدأ يحدد شكل وموقع مقدمة الموجة عند زمن ما، بمعلومية شكلها وموقعها عند زمن ابتدائي، من خلال افتراض أن نقاط مقدمة الموجة التي لها نفس الطور هي مصادر لمويجات كروية تنتشر في جميع الاتجاهات، وأن السطح المماس لها عند زمن ما يمثل شكل وموقع المقدمة الجديدة، وهذا المبدأ يفسر ظاهرة حيود الضوء عند انتقاله بين وسطين.

حيث υ_p سرعة طور الضوء في الوسط.

وبمقارنة تلك المعادلة بمعادلة هاملتون-جاكوبي أعلاه، يمكن عد الفعل $S = S(x, y, z)$، بدون أية ثوابت كحل خاص، على أنه الفعل على طول المسار المقطوع بالنظام من سطح ابتدائي ما ساكن $S_0(x, y, z) = C_0$ إلى نقطة في الفضاء المكاني (x, y, z). ولأن النظام يحفظ الطاقة؛ نحصل من المعادلة $E = -\partial S/\partial t$ على $S(x, y, z, t) = S_0(x, y, z) - Et$ حيث E ثابت. وبالتالي، مع تثبيت الزمن، يمكن عد حيز من الفضاء المكاني مكونا من تلك الأسطح الساكنة $S_k = C_0 + j\varepsilon$، حيث $j = 1,2,...$ و ε مقدار متناهي الصغر. بمعنى أننا نختار سطحا ابتدائيا $S_0 = C_0$ ثم ننشيء سطحا مجاورا له $S_1 = C_0 + \varepsilon$ ثم سطحا مجاورا للأخير $S_2 = C_0 + 2\varepsilon$، وهكذا. ويمكن عد تلك الأسطح حقل جاكوبي الاستاتيكي، حيث يمر بأية نقطة، في الحيز الذي تشغله من الفضاء المكاني، سطح واحد وواحد فقط. وفي تلك الحالة الخاصة لحقل جاكوبي، ومن حساب التفاضل المتعدد، متجه تدرج السطح يكون عموديا على السطح؛ أي أن متجه كمية الحركة $\vec{p}$ المماس لمنحنى مسار الحركة، يكون في الاتجاه العمودي على أسطح الفعل $S_k = C_0 + j\varepsilon$.

والآن، وفي حالة نظام يحفظ الطاقة، وكان لدينا تجمع النقاط يصنع سطحا متحركا مع الزمن $S(x, y, z, t) = C$ (وربما يعاني تشوها)، فإنه يتحرك حسب المعادلة؛ $C = C_0 - Et$، وبالتالي عند لحظة ابتدائية ما t_0 سيتطابق السطح $S = C$ مع السطح الساكن $S_0 = C_0$، ثم عند أية لحظة t سيتطابق مع سطح من الأسطح الساكنة S_k. وحيث أن $\vec{p} = \nabla S = \nabla S_0$، نحصل على نظرية أن مسارات الحركة المحافظة التي تبدأ عمودية على سطح ما $S = C_0$، تظل عمودية على عدد لا نهائي من الأسطح $S = C$.

إذن عند كل لحظة t لدينا أسطح فعل متوازية، كل سطح نقاطه لها نفس الفعل، وتتحرك هذه الأسطح ككتلة واحدة، ومماسات مسارات حركة الجسيم الممكنة تكون في اتجاه عمودي على تلك الأسطح؛ في تشابه مع حركة مقدمات موجة؛ لكل مقدمة نفس الطور الموجي وخطوط انتشار الموجة متعامدة على تلك المقدمات[32].

ولكن لكي يكون التوازي المقترح توازيا بين حركة موجية الطراز وحركة ميكانيكية، لابد للأسطح $\varphi(x,y,z)=C$ أن تقترن بتردد ما؛ وإلا كانت مجرد أسطح لكل منها نفس الطور تتحرك في الفضاء المكاني. ومن ذلك، سنفترض أن سطحا $\overline{\varphi}(x,y,z)=C$ لموجة ترددها ν يحقق السعة الاضطرابية لموجة:

$$u = A\exp\{2\pi i[\nu t - \overline{\varphi}(x,y,z)]\}$$

حيث A شدة الموجة.

ولأن انتشار موجة يتطلب عدم تغير الطور، لابد أن تتحقق العلاقة:

$$d[\nu t - \overline{\varphi}(x,y,z)] = \nu dt - d\overline{\varphi}(x,y,z) = 0$$

ولكن $dt = d\varphi$، إذن:

$$d\overline{\varphi} = \nu d\varphi \quad \text{أو} \quad \overline{\varphi} = \nu\varphi$$

وبالتالي تؤول معادلة هاملتون $|\nabla\varphi| = \upsilon_p^{-1}$ إلى:

$$|\nabla\overline{\varphi}| = \lambda^{-1}$$

---

[32] حسب مبدأ فيرمات؛ الضوء يتخذ المسار الأكثر توفيرا للزمن بين نقطتين، وهو المسار العمودي على الأسطح $\varphi(x,y,z)=C$، ومن التوازي مع معادلة هاملتون-جاكوبي تكون المسارات العمودية على أسطح الفعل المتساوي محققة لمبدأ الفعل الموقوف، وبالتالي هي المسارات الفعلية للحركة.

إذن هـذه المعادلـة هـي الشـرط الـذي يجـب أن تحققـه مـا يشـبه مقـدمات موجـة[33]. وبالتـالي، لكـي يـتم التنـاظر بـين الحركـة موجيـة الطـراز والحركـة الميكانيكيـة، لابـد لسـطح الفعـل المتسـاوي $S(x,y,z,t)=C$ أن يتناسـب مـع زاوية طور تحقق هذا الشرط؛ أي لابد أن يكتب الفعل على الصورة:

$$S=\alpha\phi$$

ومنها:

$$\phi=S/\alpha$$

حيـث ϕ زاويـة الطـور و α ثابـت لـه وحـدات الطاقـة فـي الـزمن؛ لكـي تكـون تلك الزاوية بلا وحدات. وهذه الزاوية لابد أن تحقق الشرط أعلاه، وبذلك:

$$\lambda^{-1}=|\nabla\phi|=|\nabla S|/\alpha=\frac{p}{\alpha}$$

أي تتحقق المعادلة:

$$p=\frac{\alpha}{\lambda}$$

ولتعيـين الثابـت α نعـوض فـي الشـرط الكمـي؛ وهـو أن تكـون كميـة الحركـة الزاوية مضاعفات ثابت بلانك الصحيحة؛

$$pr=\frac{nh}{2\pi}$$

حيـث r نصـف قطـر مسـار دائـري (للتبسـيط). وهـذا يتحقـق إذا كانـت الموجـة المصـاحبة لحركـة الجسـيم موقوفـة، وبالتـالي يكـون لـدينا مسـارات دائريـة محـيط كل منها هو الطول الموجي ومضاعفاته؛ أي:

$$r=\frac{n\lambda}{2\pi}$$

وبالتعويض في الشرط الكمي نحصل على:

---

[33] فـنحن لسـنا بصـدد موجـة فيزيائيـة كظـاهرة اتجاهيـة تصـف اضـطرابا ينتقـل، بـل نحـن بصدد موجة هندسية تم بناؤها بطريقة تفاضلية؛ فهي موجة طور.

$$\frac{\alpha}{\lambda}\frac{n\lambda}{2\pi}=\frac{nh}{2\pi}$$

إذن:

$$\alpha = h$$

وبذلك نحصل على معادلة دبري[34]:

$$p=\frac{h}{\lambda}$$

وهي تربط بين كمية حركة جسيم والطول الموجي لموجة طور واقعية مادية في المكان تقوده.

وبالتعويض عن الطول الموجي $\lambda = \upsilon_p/\nu$ نحصل على:

$$p=\frac{h\nu}{\upsilon_p}$$

أو

$$m\upsilon\upsilon_p = h\nu$$

وفي هذه المعادلة، إذا كانت سرعة طور الموجة؛ $\upsilon_p = (1/2)\upsilon + (V/p)$، نحصل على:

$$\frac{1}{2}m\upsilon^2 + V = K + V = h\nu = E$$

وهنا يحدث تكافؤ بين كم طاقة بلانك؛ الذي يمثل الطاقة الكلية لحزمة موجية، والطاقة الكلية الميكانيكية للجسيم (بالنسبة لنظام)، وهو تكافؤ من منطلق فيزيائي مختلف تماما عن منطلق دُبْرُيّ؛ الذي أنشأ هذا التكافؤ ابتداء بفرضه اقتران بين ظاهرة ترددية داخلية للجسيم وطاقته السكونية؛ أي بتنيه مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة، الذي أثبتنا عدم صحته.

---

[34] ومن ذلك نحصل على المعادلة $\overline{\varphi} = S/h$، ولكي يتحقق الشرط الكمي لابد أن يكون التغير في طور الموجة كميات صحيحة؛ $\Delta\overline{\varphi} = n$ وبالتالي $\Delta S = nh$، وهذا هو الشرط الكمي بدلالة الفعل، والذي استنتجه أينشتين عام 1917.

ويلاحظ أن سرعة طور الموجة التي تحقق تكافؤا بين طاقة الجسيم الحر الكلية؛ أي طاقة حركته فقط، وطاقة الحزمة الموجية، هي $\upsilon_p = (1/2)\upsilon$، وهي نفس سرعة طور موجة شرودنجر الإحصائية، وهذا متوقع عندما صححنا المدخل لميكانيكا الموجات، وألغيت $E_0 = m_0 c^2$.

ولكن هل سرعة الحزمة الموجية مساوية لسرعة الجسيم؟ نعم، حيث:

$$\frac{\omega}{k} = \frac{\hbar\omega}{\hbar k} = \frac{E}{p} = \frac{p^2/2m}{p} + \frac{V}{p} = \frac{p}{2m} + \frac{V}{p} = \frac{\hbar k}{2m} + \frac{V}{\hbar k}$$

ومنها:

$$\omega = \frac{\hbar k^2}{2m} + \frac{V}{\hbar}$$

وبالتالي سرعة الحزمة الموجية،

$$\upsilon_g = \frac{\partial\omega}{\partial k} = \frac{\hbar k}{m} = \frac{p}{m} = \upsilon$$

هي نفس سرعة الجسيم.

وهكذا فإن معادلة دُبْرُيّ هي معادلة تصف ارتباط حركة الجسيم الكمي بظاهرة موجية، مع استقلال خواص الجسيم عن الموجة؛ أي استقلال المادة عن الإشعاع. والسرعة المتضمنة في كمية الحركة هي سرعة الجسيم، وفي نفس الوقت هي سرعة الحزمة الموجية المقترنة به. وليس الأمر كما ادعى دُبْرُيّ؛ أن الحزمة هي الجسيم وتصاحبه موجة ممتدة؛ فالجسيم ليس حزمة موجية؛ لأن مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة غير صحيح.

وبناء على إلغاء مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة، لا بد أن تكتب دالة شرودنجر بطريقة صحيحة؛ من خلال إبدال الطاقة الكلية بطاقة الحركة في حالة الجسيم الحر. وبالتالي، بما أن دالة شرودنجر في بعد مكاني واحد (للتبسيط) هي:

$$\psi = A\exp[i(kx - \omega t)]$$

ومن تكافؤ طاقة الحركة والطاقة الكمية:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi K}{h} = \frac{K}{\hbar}, \qquad \hbar = h/2\pi$$

ومن معادلة دُبْرُويّ:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{p}{\hbar}$$

إذن تكتب دالة شرودنجر لجسيم حر على الصورة الصحيحة:

$$\psi = A\exp[(i/\hbar)(px - Kt)]$$

بإبدال الطاقة الكلية بطاقة الحركة التقليدية.

والآن بإجراء التفاضل الجزئي بالنسبة للإحداثي المكاني:

$$\frac{\partial\psi}{\partial x} = \frac{ip}{\hbar}\psi \Rightarrow p\psi = -i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial x}$$

إذن مؤثر كمية الحركة هو $\hat{p} = -i\hbar(\partial/\partial x)$.

وبإجراء التفاضل الجزئي بالنسبة للإحداثي الزمني:

$$\frac{\partial\psi}{\partial t} = \frac{-iK}{\hbar}\psi \Rightarrow K\psi = i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t}$$

إذن مؤثر طاقة الحركة هو $\hat{K} = i\hbar(\partial/\partial t)$.

ولكننا نعلم أنه في الميكانيكا التقليدية $K = p^2/2m$ أو بلغة المؤثرات:

$$\hat{K} = \frac{\hat{p}\hat{p}}{2m} = \frac{[-i\hbar(\partial/\partial x)][-i\hbar(\partial/\partial x)]}{2m}$$

وبالتالي:

$$\hat{K} = \frac{-\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial x^2}$$

ولكن $\hat{K} = i\hbar(\partial/\partial t)$ ، إذن:

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t} = \frac{-\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial x^2}$$

وبالتالي:

$$i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t}=\frac{-\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}$$

وهذه معادلة شرودنجر لجسيم حر (في بعد مكاني واحد).

فإذا كان الجسيم غير حر الحركة؛ أي خاضع لدالة وضع $V(x)$، تكون طاقة النظام الكلية هي مجموع طاقتي الوضع والحركة، ويكون مؤثر الطاقة الكلي هو المؤثر الهاملتوني؛ $\hat{H}=\hat{K}+V(x)$ أو:

$$\hat{H}=i\hbar\frac{\partial}{\partial t}+V(x)$$

ولكن $\hat{K}=-(\hbar/2m)(\partial^2/\partial x^2)$ إذن المؤثر الهاملتوني:

$$\hat{H}=\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial x^2}+V(x)$$

ومعادلة شرودنجر لجسيم غير حر؛ $[i\hbar(\partial/\partial t)]\psi=\hat{H}\psi$:

$$i\hbar\frac{\partial\psi(x,t)}{\partial t}=-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2\psi(x,t)}{\partial x^2}+V(x)\psi(x,t)$$

كما أن معادلة شرودنجر لجسيم غير حر في الحالة الموقوفة؛ $\hat{H}\psi=K\psi$:

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi(x)}{\partial x^2}+[E-V(x)]\psi(x)=0$$

حيث $E=K+V$ هي طاقة الجسيم الكلية.

أما معادلتي كلاين-جوردن وديراك للجسيم في الحالة النسبية، فهما غير صحيحتان لتأسسهما على مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة غير الصحيح.

رغوة بلا داعي

واستمرارا لتداعيات تكافؤ الكتلة والطاقة الوهمي، ظهر ما يعرف بإفناء الإلكترون- البوزيترون. وهو تفسير خاطئ لظاهرة فيزيائية تحدث في تجارب المعجّلات؛ حيث يتم صدم إلكترون بمضاده البوزيترون (جسيم له

نفس كتلة الالكترون ولكن شحنته موجبة) فينتج عن التصادم وميض وحرارة، تم تفسيرهما أن كلا من الجسيمين يفنى بعضهما بعضا لصالح إنتاج فوتونين لأشعة جاما، وكل منهما له طاقة تساوي مقدار الطاقة السكونية لأي من الإلكترون أو البوزيترون؛

$$e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma$$

بينما التفسير الأكثر بداهة، والذي لا يتبع موضة تكافؤ الكتلة والطاقة؛ أن الجسيمين لأنهما مشحونين يتولد حولهما، نتيجة التعجيل الذي أكسبهما كمية حركة كبيرة، حقلين كهرومغناطيسيين، كما يكتسبان طاقة حرارية. ثم عند التصادم، وهو تصادم مرن، تتداخل الموجتان الكهرومغناطيسيتان وتنتجان طاقة ضوئية وتنطلق طاقة حرارية. والطاقتين الناتجتين تساويان تماما الطاقة الكهرومغناطيسية والحرارية المكتسبتان أثناء التعجيل. لسنا في حاجة إذن لإفناء كتلتي الجسيمين وتحويلهما إلى طاقة.

ومع اختراع افناء الإلكترون-البوزيترون، تفاقم أثر مبدأ تكافؤ الكتلة والطاقة، وخرج علينا ما عرف بالرغوة الكمية، والتي تتلخص في:

- بسبب متباينة هايزنبرج للتناسب العكسي بين الخطأ في قياس الزمن والاضطراب في الطاقة، خلال فترة زمنية تكاد تكون منعدمة، وفي مكان ذو أبعاد الكمية (في إطار طول بلانك) تأخذ الطاقة جميع قيمها الممكنة؛ وتظهر على هيئة تذبذب عنيف.

- من تكافؤ الكتلة والطاقة، الأخيرة تشوه الزمكان بعنف صانعة ما يشبه الرغوة. ومن هذا التكافؤ أيضا، ولتحقيق قانون حفظ الطاقة-الكتلة؛ تتحول الطاقة إلى مادة ومادة مضادة؛ إلكترون وبورزيترون، ثم يفنيان بعضهما ويتحولان إلى الطاقة التي أنتجتهما وهكذا، ليستمر النشوء والتلاشي والذي لا يظهر على المقاييس الكبيرة.

وهـذه الفكـرة اقترحهـا ويلـر عـام 1955. وبنـاء عليهـا، لا تصـلح النسـبية العامـة لوصـف الواقـع الفيزيـائي علـى المسـتوى الكمـي؛ لاضـطراب الزمكـان العنيف على هذا المستوى، وعليه جرت محاولات للتوفيق بين النظريتين!!

وكانـت إحـدى الاقتراحـات التخلـي عـن نمـوذج الجسـيم النقطـي، وعـد الجسـيم الكمـي وتـر ضـئيل متذبـذب لـه أبعـاد، وذلـك يجعـل للتصـغير حـدا أدنـى يتفـوق علـى تلـك الأبعـاد شـديدة الضـآلة، حيـث الزمكـان مضـطرب. فوسـيلتنا لاكتشـاف الواقـع الفيزيـائي أصـبحت جسـيمات ذات أبعـاد كبيـرة مقارنـة بطـول بلانـك، الـذي تحـدث فـي إطـاره الرغـوة الكميـة. لـذا لا تلـتقط الجسـيمات الوتريـة كمجسـات تلـك الاضـطرابات، كمـا لا تلـتقط أصـابعنا تفاصـيل الحبيبـات الخشـنة الدقيقـة عنـد تمريرهـا علـى سـطح نـاعم تـم صـقله. وبالتـالي نمـوذج الـوتر يوفّـق تمامـا بـين ميكانيكـا الكـم والنسـبية العامـة؛ بتقليلـه الشـديد مـن أثـر الرغـوة الكمية!!

بالتأكيد الرغوة الكمية ليست علما بل قصة خرافي لسببين:

- متباينـة هـايزنبرج للخطـأ-الاضـطراب المتعلقـة بالطاقـة والـزمن لا تنتمـي للصـياغة القياسـية لميكانيكـا الكـم، لافتراضـها امكانيـة قيـاس الطاقـة بخطـأ يقتـرب مـن الصـفر، فـي مخالفـة صـريحة لسـياقية تلـك الصـياغة. بالإضـافة إلـى أني أثبـت فـي هـذا البحـث أنـه، بغـض النظـر عـن ذلـك، فإنهـا قابلـة للانتهـاك لأنهـا مسـتنتجة مـن متباينـة الخطـأ-الاضـطراب للموقـع وكميـة الحركـة، المسـتندة إلـى تجربـة عقليـة افترضـت خطئـا جسـيمية الفوتـون. وقبـل كـل ذلـك تلـك المتباينـة تتطلب وجود نظام يجرى عليه القياس، وليس الزمكان الفارغ.

- حتـى مـع التسـليم بطريقـة تطبيـق المتباينـة المـذكورة، أوضـحت فـي هـذا البحـث أن تكـافؤ الكتلـة والطاقـة مجـرد اخـتلاق. وبالتـالي إفنـاء المـادة لمضـادها وتحولهمـا إلـى طاقـة وهـم، ومبـدأي حفـظ الكتلـة والطاقـة منفصـلين. والمنطـق السـوي يقـول إنـه لا يمكـن للفـراغ أن ينـتج لا كتلـة ولا طاقـة ولا رغـوة، ولا أي شـيء علـى أي مسـتوى تصـغير نختـاره؛ لأن العـدم بذاتيتـه لا ينـتج وجـودا.

وبالتالي نموذج الجسيم النقطي مازال صالحا للعمل، ونظرية الأوتار نموذج أنيق لوصف الواقع الفيزيائي لكنه في تصوري لا ضرورة له.

نتائج البحث

- لا يوجد سبب فيزيائي داخل النسبية الخاصة يجعل سرعة الضوء حدا أقصى للسرعة، وبالتالي، جميع الظواهر التي لا تنتقل فيها الكتلة أو الطاقة أو المعلومات، وتتجاوز سرعة الانتقال فيها سرعة الضوء، هي أمثلة لدحض النسبية الخاصة.

- التباطؤ الزمني والانكماش الطولي يفسران هندسيا في النظرية، وليس فيزيائيا، وذلك يجعل متجه القوة في بعض الحالات في غير اتجاه عجلة الحركة؛ مما يعني انتهاك السببية في النظرية.

- ما عرف بتكافؤ الكتلة والطاقة ليس قانونا، ولا مبدأ، ولا نتيجة مترتبة على فروض النسبية الخاصة، ولا نتيجة تجربة عقلية أو معملية، بل هو فرض غامض أقحمه أينشتين على الواقع الفيزيائي؛ ليتمكن من تعريف المتغيرات الديناميكية التقليدية في إطار تصور المتصل الزمكاني، وترتب عليه عدم اتساق في بناء نظرية النسبية؛ لإزدواجية المفاهيم الميكانيكية بها، وعدم قدرتها على وصف حركة الأجسام في السرعات المنخفضة بالنسبة لسرعة الضوء، كما أربك هذا المبدأ فيزياء الموجات بعد الحزمة الموجية جسيما، وأربك ميكانيكا الكم بثنائية الجسيم والموجة، وأنتج احتمالات سالبة عند دمجه بمعادلة شرودنجر.

بناء على ما تقدم، نظرية النسبية الخاصة غير صحيحة، وعليه:

- الزمان والمكان مطلقين مستقلين.

- سرعة الضوء ليست الحد الأقصى للسرعة، ولا يوجد مانع فيزيائي أن تصل سرعة النظم إلى سرعة الضوء أو تتجاوزها.

- الكتلة كتلة والطاقة طاقة؛ لا يتحول أيهما إلى الآخر؛ وقانوني حفظهما مستقلين؛ فالكتلة لا تتغير بتغير الطاقة المكتسبة أو المفقودة، وقانون حفظ الكتلة لا يشترط لتحققه أن يكون النظام معزولا، بل مغلقا فقط.

- لا توجد كتلة سكونية أو كتلة نسبية أو كتلة طولية أو كتلة مستعرضة؛ توجد فقط كتلة هي كمية مادة النظام، وهي مستقلة في تحديد مقدارها عن المؤثرات الخارجية.

- الطاقة الميكانيكية الكلية لجسيم حر هي طاقة حركته فقط، ولجسيم واقع في حقل وضع هي مجموع طاقتي حركة ووضع النظام؛ المكون من هذا الجسيم، والجسيم أوالجسيمات المؤثرة عليه بقوة الوضع.

- الفوتون هو حزمة موجية تحمل كما من الطاقة وليس جسيما، وبالتالي ليست له كتلة ولا كمية حركة، ولا يخضع لقوانين التصادم، ويمكن تفسير تفاعله مع المادة في الظاهرتين الكهروضوئية وتشتت كومبتون، من خلال قوانين الكهرومغناطيسية وكمومية الطاقة.

- متباينة هايزنبرج للخطأ-الاضطراب قابلة للانتهاك قبل وبعد القياس؛ لأن الفوتون الراصد في تجربة هايزنبرج العقلية ليس جسيما، ويتفاعل مع الإلكترون المرصود من خلال قوانين الكهرومغناطيسية وكمومية الطاقة.

- الجسيمات جسيمات والموجات موجات، وليس للأخيرة صفات جسيمية ولا للأولى صفات موجية، بل هناك افتراض باقتران حركة الجسيمات بموجات، مع استقلالية خواص المادة عن الإشعاع؛ لتفسير سلوك الجسيمات على المستوى الكمي.

- الحزمة الموجية المادية ليست جسيما، بل هي حزمة موجية مصاحبة للجسيم وسرعتها تساوي سرعته.

- الطـول المـوجي للموجـة المصـاحبة للجسـيم يتناسـب عكسـيا مـع كميـة حركتـه وفـق معادلـة دُبْـرْيّ، وهـي متحققـة للجسـيمات فقـط، أمـا الفوتـون فلـيس جسـيما ولا يحققها.

- الطاقــة الكليــة فــي دالــة شــرودنجر هــي طاقــة الحركــة فقــط لجســيم حــر، ومجمـوع طـاقتي الوضـع والحركـة لجسـيم متحـرك فـي حقـل وضـع، ولا وجـود لطاقة سكونية. وجميع معادلات شرودنجر وفق ذلك لم تتغير صياغتها.

- بسبب معادلة تكافؤ الكتلة والطاقة غير الصحيحة:

• معادلتي كلاين- جوردن وديراك غير صحيحتان.

• فنـاء الإلكتـرون-البـوزيترون لـيس صـحيحا، ويمكـن تفسـير الطاقـة الناتجـة عـن تصادمهما من خلال قوانين الكهرومغناطيسية.

• الرغوة الكمية غير صحيحة.

تعليق أخير

وأخيـرا، ربمـا هنـاك حـل آخـر، غيـر نظريـة النسـبية الخاصـة، للغـز ثبـات سـرعة الضـوء بالنسـبة لجميـع الراصـدين؛ ربمـا هنـاك مـؤثر ديناميكي موجـود دائمـا أثنـاء حركـة الأجسـام، ولكـن تـأثيره يظهـر بوضـوح عنـد السـرعات الكبيـرة، مسـببا الظـواهر التـي وصـفتها النسـبية الخاصـة مـن خـلال التفسـير الهندسـي للزمكـان. ربمـا هـذا المـؤثر مـرتبط بوجـود مـادة تمـلأ الفـراغ ولهـا خـواص معينـة، ربمـا نظريـة تشـبه نظريـة الأثيـر هـي حـل اللغـز، أو ربمـا هنـاك حلـول أخـرى لـم يـأت وقـت معرفتهـا بعـد؛ فإمكاناتنـا فـي القيـاس مـا زالـت محدودة وعلمنا ما زال ضئيلا.

***

المراجع

- الكون الأنيق لبراين جرين، ترجمة د. فتح الله الشيخ - المنظمة العربية للترجمة.

-Albert Einstein, “Does the Inertia of a Body Depend upon Its Energy Content”, Annalen der Physic 18, 639-641 (1905).

-L. de Broglie, Ph.D. Thesis, Ann. De. Phys. (10) **3**, 22 (1925).

-Muhyedeen B. R. J. "European Journal of Scientific Research, ISSN 1450-216X Vol.22 No.4 584-601(2008).

-Lev B. Okun, Energy and Mass in Relativity, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

-H. Chauhan, S. Rawal and R. K. Sinha, “Wave-Particle Duality Revitalized: Consequences, Application and Relativistic Quantum Mechanics”, https://arxiv.org/pdf/1110.4263.pdf (2011).

-Derivation of rest mass energy violates the logic of math https://studyres.com/doc/15311618/derivation-of-%E2%80%9Erest-mass-energy%E2%80%9C-e-%3D-m0-c2-violates-logic...

-Dionysios G. Raftopouulos, “The physics of reality : space, time, matter, cosmos”, “On the Maximum Speed of Matter”, proceedings of the 8th symposium honoring mathematical physicist Jean-Pierre Vigier, Covent Garden, London, UK, 107-110, (2012).

-Cornelius Lanczos, “The Variational Principles of Mechanics”, University of Toronto Press, Toronto, 264-278 (1952).