Journal of Nature, Life and Applied Sciences
Volume (5), Issue (3) : 30 Sep 2021
P: 53 - 73

AJSRP
ISSN: 2522-3356

مجلة العلوم الطبيعية والحياتية والتطبيقية
المجلد (5)، العدد (3) : 30 سبتمبر 2021م
ص: 53 - 73

Negative Mass

Edward S. Tannous

Abstract: This article presents a physical model, which describes the ideas of special relativity, in a more rational, logical, simple and understandable manner, while using basic mathematical tools. The model is based on Albert Einstein's formula, which describes the "rest" energy of a body with mass m, given by the formula $E = mc^2$. Based on this formula, and in accordance with the theory of special relativity, we present here a model of a body, moving at a constant velocity in space with speed equal to the speed of light in space-time, determined by an "energy angle" and negative mass. This model also presents a method for creating negative mass, a calculating method for the relative velocity, and a method for calculating energy and momentum, in a completely elastic collision and plastic collision, differing from contemporary nowadays methods, using classical and modern physics. In addition, the new model solves better the problems and paradoxes known in special relativity physics, such as the Twin Paradox and others.

All this in Part 1, in Part 2 we will discuss the application of the model to the body under the influence of gravitational forces and in Part 3 we will see how phenomena in quantum physics can be explained according to the same model.

Keywords: Energy Angle, Frame of Reference, Negative Mass, Special Relativity, Speed of Light.

الكتلة السالبة

أدوار صليبا طنوس

المستخلص: يقدم هذا البحث نموذجًا فيزيائيًا يصف أفكار النسبية الخاصة من خلال طريقة أكثر عقلانية ومنطقية وبسيطة ومفهومة، مع استخدام الأدوات الرياضية الأساسية. إذ يعتمد النموذج على صيغة ألبرت أينشتاين، التي تصف طاقة "الراحة" لجسم ذي كتلة m من خلال الصيغة $E = mc^2$.

بناءً على الصيغة المرفقة، ووفقًا لنظرية النسبية الخاصة، نقدم خلال هذا البحث نموذجًا لجسم يتحرك بسرعة عالية وثابتة في الفضاء مع سرعة تساوي سرعة الضوء في الزمكان "Space Time"، تحددها "زاوية الحركة" "والكتلة السالبة".

في الجزء الأول، يقدم هذا النموذج طريقة لإنشاء كتلة سالبة، وطريقة لحساب السرعة النسبية، والطاقة والزخم، في تصادم المرن مثالي وآخر غير مرن، يختلف عن الطرق المعاصرة في الوقت الحالي، باستخدامه للفيزياء الكلاسيكية والحديثة. إضافة لكون النموذج الجديد يحل المشاكل والمفارقات المعروفة في فيزياء النسبية الخاصة بشكل أفضل، مثل مفارقة التوأمين The Twin Paradox وغيرها.

في الجزء الثاني، يناقش البحث تطبيق النموذج على الجسم تحت تأثير قوى الجاذبية وفي الجزء الثالث الأخير يتضح كيف يمكن تفسير الظواهر في فيزياء الكم وفقًا لنفس النموذج.

الكلمات المفتاحية: زاوية الطاقة، الإطار المرجعي، الكتلة السالبة، النسبية الخاصة، سرعة الضوء.

المقدمة

تقود صيغة ألبرت أينشتاين التي تصف طاقة "الراحة" في نظرية النسبية الخاصة والعامة وفي فيزياء الكم وعلم الكونيات لجسم ذي كتلة m من خلال الصيغة $E=mc^2$ كما هو معروف اليوم في الفيزياء الحديثة، إلى أن m يتناسب طردا مع الطاقة والعكس صحيح [1].

تحدد هذه الصيغة إمكانية حساب الطاقة من خلال حساب الكتلة m مضروبة في تربيع سرعة الضوء ($c=3\times10^8$ m/s**)**. طبقا لما تقتضيه المعادلة فإنه إذا كان الجسم ثابتًا، فإن لديه طاقة داخلية، وهي طاقة "الراحة". أما عندما يكون الجسم في حالة حركة، فتكون طاقته الإجمالية أكبر من طاقة الراحة، وبالتالي فإن كتلته الإجمالية أكبر أيضًا من كتلة الراحة.

يبرز افتراض آخر يتعلق بسرعة الضوء ينص على أنه عندما يتحرك الجسم، يمكنه الحصول على الزخم والطاقة، ولكن عندما يقترب من سرعة الضوء، لا يمكنه تجاوزها، بغض النظر عن الطاقة الإضافية التي يتلقاها [1].

يتطلب افتراض غاليليو للنسبية مبدأ التكافؤ بأن قوانين الحركة هي نفسها في جميع الأطر المرجعية بالقصور الذاتي فيما يتعلق بالانتقال من إطار مرجعي بالقصور الذاتي إلى آخر [2]. أما فيما يخص تحويلات لورينتز، التي تظهر في نظرية النسبية الخاصة، فهي تحويلات خطية للإحداثيات بين إطارين مرجعيين يتحركان بسرعة ثابتة نسبية وتظهر كيف يتغير الوقت والمكان عند الانتقال من إطار مرجعي واحد إلى إطار مرجعي بالقصور الذاتي يتحرك بالنسبة إليه عند سرعة ثابتة وخط مستقيم [3].

تصف مخططات مينكوفسكي [4] ديناميكيات الزمان والمكان من منظور النسبية، وتجعل من الممكن الرسم بيانياً وإظهار كيفية تسمية حدث معين (أو مجموعة من الأحداث) بشكل فعال في إطارات مختلفة.

من المعروف أن هناك بعض المشكلات في نظرية النسبية الخاصة، بدون حل حالي أو حل موجود غير مفهوم بشكل بديهي. فمثلا، تعتبر مفارقة التوأمين، تجربة فكرية يتم فيها إنشاء اختلاف في العمر بين زوج من التوائم: ينطلق التوأم الأول بعيدا عن أخيه نحو الفضاء بسرعة عالية جدًا ويعود إلى الأرض، بينما يبقى الثاني على الأرض. عندما يلتقيان مرة أخرى، سيكون التوأم الذي غادر وعاد أصغر من شقيقه. السبب في الفترة الزمنية المختلفة التي عاشها التوأم هو أنهما قد مروا بمسارات مختلفة في الزمكان بين هذين الحدثين. إذ يعتمد "الوقت الذاتي" بين حدثين على المسار الذي يربط بينهما. لذلك، كل واحد منهم يقيس وقتًا ذاتيًا آخر. لذلك فإن الحل لمفارقة التوأمين صعب الفهم ولكن يمكن تفسيره من خلال النسبية الخاصة.

توجد مشكلة مفاهيمية أخرى في الفيزياء، بشكل عام وفي النسبية الخاصة على وجه الخصوص، تتمثل في أن الكتلة والطاقة والوقت يجب أن يكون لهما قيم إيجابية ولا يمكن أن يكون لهما قيمة سلبية. لذلك، لا توجد حاليًا طريقة معروفة لإنشاء كتلة سالبة، ولا توجد طريقة للعودة بالزمن إلى الوراء، ولا توجد طريقة معروفة لإنتاج قوى تنافر الجاذبية. كما تدعم القياسات الكونية الحالية ملاحظة أن الكون يتوسع وأن معدل تمدده آخذ في الازدياد.

توسع الكون هو مصطلح يصف نمو المسافات بين النقاط المتباعدة في الكون وفي الزمن. يعتمد أحد تفسيرات توسع الكون المتسارع على تخمين الطاقة المظلمة غير المرصودة، والتي لا تزال أصولها وخصائصها غير معروفة.

تهدف هذه الورقة إلى تقديم نموذج لجسم ذي كتلة يشرح بطريقة أعمق المشاكل المذكورة أعلاه. يعطي النموذج نفس نتائج النسبية الخاصة في الفيزياء الكلاسيكية والحديثة، ولكن بطريقة أبسط وأسهل للفهم، بما في ذلك تحويلات لورينتز [5]، والفاصل الزمني لمينكوفسكي [6]، وتأثير النسبية لدوبلر، ومفارقة التوأمين، وأشكال الطاقة، التصادمات المرنة والغير مرنة. كما يوضح هذا المقال وجود مفاهيم "زاوية الطاقة" والكتلة السالبة، والتي يمكن أن تغير فهم قوانين

الفيزياء كما هو معروف اليوم. هذا النموذج يجعل نظرية النسبية الخاصة مفهومة بطريقة أفضل وبديهية أكثر مما كانت عليه سابقا.

في الجزء الثاني، تم وصف النموذج الجديد وتعريفاته. وفي الجزء الثالث، يرد وصف لبناء النموذج وتطبيق الصيغ النموذجية في مختلف الميادين، بما في ذلك حل المشاكل المذكورة. كما ارد كل من المناقشة والموجز والاستنتاجات في الجزء الرابع.

نموذج جسم يتحرك في الزمكان

تعتمد الفرضية الأساسية لهذه النظرية الجديدة على أن كل جسم أو جسيم يتحرك في الزمكان بسرعة الضوء، هو مشتق من الصيغة $E = mc^2$.

في الفضاء، فإن جسم ذو كتلة m_1 يلاحظ الكون بطريقة وأبعاد وأوقات مختلفة مقارنة بجسم آخر ذي كتلة m_2، يتحرك بسرعة مختلفة. إذ يشعر كل جسم بالراحة في إطاره المرجعي الخاص به، حتى لو كانت سرعته قريبة من سرعة الضوء بالنسبة لجسم آخر.

تستند النظرية المقترحة إلى مبدأ التكافؤ الجاليلي أيضًا، الذي يدعي أن قوانين الفيزياء هي نفسها في جميع الأطر المرجعية بالقصور الذاتي. إلا أنه بدلاً من افتراض ثبات سرعة الضوء، فتنص النظرية هنا على أن طاقة كل كتلة m في أي إطار مرجعي ثابت، أي $E = mc^2$ وكل كتلة m يقاس في إطار الزمكان ذي أربعة أبعاد تتحرك بسرعة الضوءc.

عندما يكون الجسم في حالة راحة في الفضاء الإقليدي (x, y, z)، يمكن القول أنه يتحرك في البعد الرابع وهو محور الوقت t وسرعته هي سرعة الضوء. يسمى هذا المحور الزمني "محور الضوء الزمني" ونضع علامة عليه على أنه ct. هذا المحور متعامد مع المحاور الثلاثة للفضاء الإقليدي (x, y, z)

السرعة الوحيدة المطلقة لجميع الأجسام في الكون هي سرعة الضوء، وأي سرعة أخرى هي في الواقع إسقاط سرعة الضوء على المحاور المكانية، أو الفرق بين سرعات الضوء في اتجاهات مختلفة في محاور الإطار من الزمكان.

سيكون لكل جسم " المتجه لسرعة الضوء الذاتي " $\boldsymbol{C}$ ، عندما يكون لكل جسم ذو كتلة، سرعة الذاتية لاتجاه الضوء في فضاء رباعي الأبعاد من $\boldsymbol{C} = (c, 0, 0, 0)$ ولكل جسم اتجاه (أي زاوية α) مختلف لـ " المتجه لسرعة الضوء الذاتي " إذا لاحظناه من إطار مرجعي مشترك. لكن إذا كانا الجسمين في حالة راحة بالنسبة لبعضهما البعض. ففي هذه الحالة، ستكون " المتجه لسرعة الضوء الذاتي " متساوية تماما بالاتجاه، بغض النظر عن حجم كتلها.

تتميز " المتجه لسرعة الضوء الذاتي " بالخصائص التالية:

1- دائمًا ما يكون معامل " المتجه لسرعة الضوء الذاتي " مساويًا لسرعة الضوء: $|\boldsymbol{C}| = |\boldsymbol{C}'| = c$

2- في أي وقت Δt، "مسافة الضوء" $c\Delta t$ المقاس في الإطار المرجعي يساوي جميع الكتل في أي إطار: $|\boldsymbol{C}_1 \Delta t| = |\boldsymbol{C}_2 \Delta t| = \cdots$

3- يعطي إسقاط " المتجه لسرعة الضوء الذاتي " على محور سرعة الفضاء الإقليدي (x,y,z) سرعة $\boldsymbol{v}'$ ويعطي الإسقاط على محور الوقت سرعته الزمنية $\boldsymbol{v}_t'$ ، حيث $c^2 = \boldsymbol{v}_t'^2 + \boldsymbol{v}_x'^2 + \boldsymbol{v}_y'^2 + \boldsymbol{v}_z'^2$.

4- عندما يتحرك الجسم في إطار إقليدي مرجعي (x,y,z) بسرعة $\boldsymbol{v}' = (v_x', v_y', v_z')$ و" المتجه لسرعة الضوء الذاتي " $\boldsymbol{C}' = (v_t', v_x', v_y', v_z')$. "سرعة الوقت الذاتي" $v_t' = \dfrac{\mathrm{d}(ct')}{\mathrm{d}t}$ يمكن حساب الجسم المتحرك في إطار مرجعي من خلال: $v_t'^2 = c^2 - (v_x'^2 + v_y'^2 + v_z'^2)$ ، أو عن طريق إسقاط المتجه $\boldsymbol{C}'$ على ناقل الضوء الذاتي السرعة$\boldsymbol{C}$ من إطار مرجعي العطاء $v_t' = \dfrac{\boldsymbol{C} \cdot \boldsymbol{C}'}{c}$

5- "زاوية الطاقة" α هي الزاوية بين متجهين للضوء ذاتي السرعة للإطار المرجعي فيما يتعلق بالإطار المتحرك، لذلك: أين: $\sin\alpha = v/c$

$v_t' = c\cdot\cos\alpha$ أو $v = |\boldsymbol{v}'| = \sqrt{v_x'^2 + v_y'^2 + v_z'^2}$.

يتم الحصول على خصائص المتجه لسرعة الضوء الذاتي بواسطة رياضيات أساسية بسيطة، أي أنها تستند إلى تعريفها كمتجه يمثل السرعة.

تطور جسم يتحرك في الزمكان

في هذا الجزء، سيتم عرض تطور جسم يتحرك بسرعة الضوء في الزمكان، وفقًا لهذه النظرية الجديدة والنموذج المشتق منها. سيتم تفصيل الصيغ المشتقة من هذه النظرية الجديدة، وآثارها وتطبيقاتها في مختلف فروع الفيزياء، بما في ذلك حلول المشاكل الخاصة في الفيزياء.

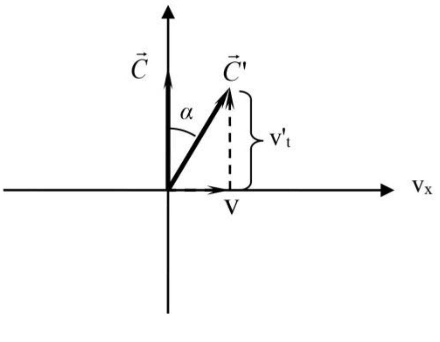
تطوير المعادلات حسب النموذج

يتم تقديم المعادلات المشتقة من هذه النظرية الجديدة. في البداية سنشير إلى جسم واحد ومناقشة علاقته بالأجسام الأخرى لاحقًا. سيتم التعامل مع تطور الجسم من حيث السرعة والطاقة وزاوية الطاقة α، ومن هناك كيفية الحصول على كتلة سالبة. بعد ذلك سيتم توضيح كيفية الحصول على الصيغ المعروفة في الفيزياء من خلال هذه النظرية الجديدة، والتي تتضمن صيغ الطاقة، خاصةً للتصادم المرن تمامًا والاصطدامات الغير مرنة.

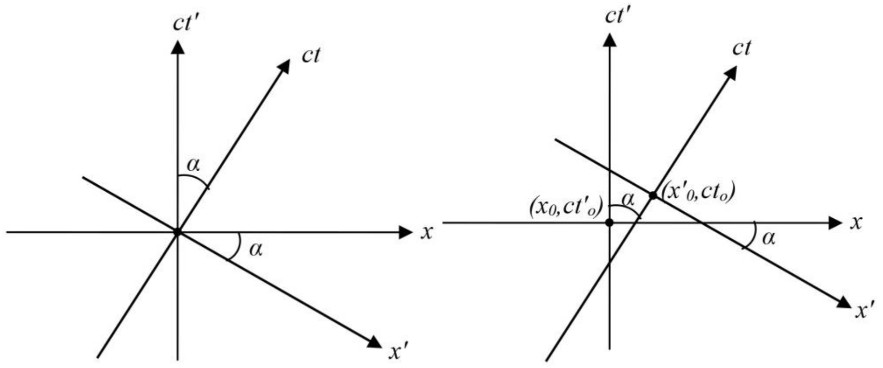
إطار مكاني أحادي البعد

بالسير على نفس الخطى، سيتم الرجوع إلى إطار مكاني أحادي البعد فقط -1D في x وx' محاور، متعامد ل ct و ct'، على التوالي. كما سيتم استخدام حالة 1D فقط لتسهيل فهم النظرية. ومع ذلك، تنطبق النظرية على حالة 3D أيضًا.

الشكل (1 أ) يوضح الإطار المرجعي للسرعة لجسم يتحرك بالنسبة إلى إطار مرجعي عند السرعة v في الاتجاه x، ويظهر المتجه لسرعة الضوء الذاتي للجسم المتحرك، ويتألف من عنصرين، السرعة v في اتجاه x , $v = v_x = \mathrm{d}x/\mathrm{d}t$ والسرعة على طول محور الوقت v_t' للجسم في اتجاه محور السرعة الذاتية لمتجه الضوء للإطار المرجعي. $\boldsymbol{C}$ هي " المتجه لسرعة الضوء الذاتي" في الإطار المرجعي و $\boldsymbol{C}'$ هو " المتجه لسرعة الضوء الذاتي" لجسم متحرك آخر. تصف الزاوية α زاوية الدوران بين الإطارين. إسقاط ضوء السرعة الذاتية للجسم المتحرك $\boldsymbol{C}'$ على المحور الأفقي v_x يعطي السرعة v في الاتجاه x.



(أ)



(ج) (ب)

الشكل (1 ا) مخطط السرعات لنموذج الجسم المتحرك بالنسبة لإطار مرجعي، مع C المتجه لسرعة الضوء الذاتي " في الإطار المرجعي للجسم و C' " المتجه لسرعة الضوء الذاتي " للجسم المتحرك.

تصف الزاوية α زاوية الدوران بين الإطارين؛

(1 ب) نموذج "إطار الزوجين المتكامل" (ICF)، وهو تكامل زمني. الزاوية α هي نفس الزاوية كما في الشكل **(1 ا)**.

(1 ج) حالة الجسم الأولية مصفرة.

يعطي إسقاطها على المحور C سرعة الوقت الذاتي $v_t' = \mathrm{d}(ct')/\mathrm{d}t$ وهي سرعة وقت الضوء للجسم المتحرك مقاسة في الإطار المرجعي.

إن المحور x أو x' متعامد على " المتجه لسرعة الضوء الذاتي " لكل إطار على حدة. وبالتالي، نحصل على أن الزاوية α بين " المتجه لسرعة الضوء الذاتي" هي نفس الزاوية بين المحورين x و x'

الشكل (1 ب) يصف نموذجًا يسمى "إطار الزوجين المتكامل" (ICF)، وهو إطار تكامل زمني بالمعنى التالي:

عملية تكامل بالزمن ل v_x يخلق المحور x واتجاهه.

عملية تكامل بالزمن ل C' يخلق محور ct واتجاهه.

عملية تكامل بالزمن ل V_t' يخلق المحور ct' واتجاهه.

كما تجدر الإشارة إلى أن المحور x' يتم تطبيقه بشكل عمودي ل " المتجه لسرعة الضوء الذاتي" للجسم المتحرك C'.

تعطي النتيجة إطارين بمسافات x,ct و x',ct' حيث في ct محور الوقت ليس متعامد بالنسبة للمحور x، ومحور ct' ليس متعامد بالنسبة لـ محور x'.

النقاط المعلمية x_0, x_0', ct_0, ct_0' هي الثوابت التي تم الحصول عليها من عملية التكامل ولها قيم يمكن حسابها وفقًا لقيم الحدود، أي الشروط الأولية.

يمكن وضع المحاور الرئيسية فوق بعضها البعض ويمكن إعادة ضبطها في الزمان والمكان كما هو موضح في الشكل (1 ج). المستوى الموضح هو مستوى سببي بالكامل ويمكن الوصول إلى أي نقطة في المستوى من أصل المحاور.

تحويل لورنتز

كما ذكرنا أعلاه، تعتمد قيمة الزاوية α بشكل متناسب على مقدار السرعة v:

$$v = c\sin\alpha \tag{1}$$

يمكن تحديد نسبة السرعة المعروفة بالنسبية β، هي النسبة بين السرعة v وسرعة الضوء c، من المعادلة (1) مثل:

$$\beta = \frac{v}{c} = \sin\alpha \qquad (2)$$

يمكن تعريف عامل لورنتز في نظرية النسبية لأينشتاين وعلاقته بزاوية الطاقة α هنا على النحو التالي:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1-\sin^2\alpha}} = \frac{1}{\cos\alpha} \qquad (3)$$

يصف الشكل (2) التغييرات في المسافات والوقت في الإطار المتحرك وإسقاطاتها في الإطار الثابت. اختلافات الإطار المتحرك المقاسة في الإطار المرجعي هي:

$$\Delta x = \frac{1}{\gamma}\Delta x' \quad \Delta t = \gamma \Delta t' \qquad \text{لذا} \qquad \Delta x = \cos\alpha \cdot \Delta x' \quad \Delta t = \frac{1}{\cos\alpha}\cdot \Delta t' \qquad (4)$$

في المعادلات أعلاه، تم الحصول على مفهومين، انكماش الطول وتمدد الوقت. يلاحظ المرء أن الطول $\Delta x'$ للإطار المتحرك المقاس من الإطار المرجعي Δx أقصر. في الواقع، لا يتغير طول ووقت الضوء، لكن إسقاطاتهم من إطار إلى آخر مختلفة.

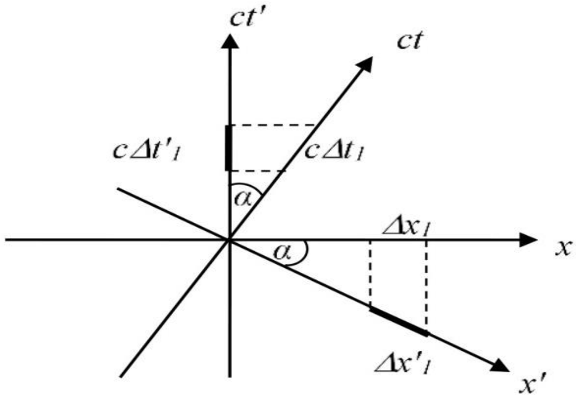
يصف الشكل (3) حدثين، e وk، في المستوى x, ct و x', ct' وإسقاطات الإحداثيات في كلا الإطارين. يتم الحصول على قيم الأحداث e وk عن طريق حساب إسقاطات إحداثيات الأحداث في إطار واحد على الإطار الآخر، وينتج عن الطرح بينهما المعادلات مع الاختلافات التالية:

بمعنى آخر $\Delta x = x_e - x_k$ و $\Delta x' = x'_e - x'_k$ و $\Delta ct = ct_e - ct_k$ و $\Delta ct' = ct'_e - ct'_k$.

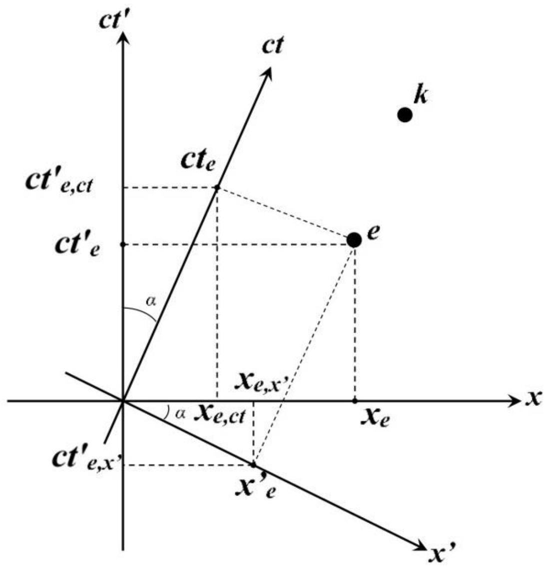
ونحصل بذلك على:

$$\Delta x' = \cos\alpha\cdot\Delta x - \sin\alpha\cdot c\Delta t' \quad c\Delta t = \cos\alpha\cdot c\Delta t' + \sin\alpha\cdot\Delta x \qquad \text{والعكس صحيح} \qquad \Delta x = \cos\alpha\cdot\Delta x' + \sin\alpha\cdot c\Delta t \quad c\Delta t' = \cos\alpha\cdot c\Delta t - \sin\alpha\cdot\Delta x' \qquad (5)$$

يجوز لنا استبدال المعادلة (1) و(3) في تعويضها بالمعادلة (5)، مما يؤدي إلى تحول لورنتز:



الشكل (2). التغيرات في المسافة ووقت الضوء في الإطار المتحرك وإسقاطاتها في الإطار الثابت.



الشكل (3) الحدثان e وk في المستوى x, ct والمستوى x', ct' وإحداثيات الإسقاطات لكلا الإطارين.

$$\Delta x' = \gamma(\Delta x - v\Delta t) \quad \text{والعكس صحيح} \quad \Delta x = \gamma(\Delta x' + v\Delta t') \qquad (6)$$

$$\Delta t' = \gamma\left(\Delta t - \frac{v}{c^2}\Delta x\right) \qquad \Delta t = \gamma\left(\Delta t' + \frac{v}{c^2}\Delta x'\right)$$

لإثبات معادلات لورنتز باستخدام جانب مختلف، ولإظهار كيفية الحصول على محور الزمن غير المتعامد ومحور المسافة، نستخدم المعادلات التالية:

$$(7) \qquad x' = \gamma(x - vt)$$

$$t = \gamma\left(t' + \frac{v}{c^2}x'\right)$$

بضرب المعادلة الثانية بـc، نحصل على:

$$(8) \qquad x' = \gamma(x - vt)$$

$$ct = \gamma\left(ct' + \frac{v}{c}x'\right)$$

يمكننا استبدال المعادلة (1) و(3) في المعادلة (8)، مما يقود إلى:

$$(9) \qquad x' = \frac{1}{\cos\alpha}(x - \sin\alpha \cdot ct)$$

$$ct = \frac{1}{\cos\alpha}(ct' + \sin\alpha \cdot x')$$

كما يمكن كتابة نفس المعادلات على النحو التالي:

$$x = \cos\alpha \cdot x' + \sin\alpha \cdot ct \qquad (10)$$

$$ct' = -\sin\alpha \cdot x' + \cos\alpha \cdot ct$$

وعند كتابة هذه المعادلات كمصفوفة، نحصل على:

$$\begin{pmatrix} x \\ ct' \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha \\ -\sin\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix}}_{R} \begin{pmatrix} x' \\ ct \end{pmatrix} \qquad (11)$$

المصفوفة R في المعادلة 11, هي عبارة عن مصفوفة دورانية بين الإطار المرجعي x, ct' للإطار المرجعي x', ct ، كما تم الحصول عليها في نموذج ICF "الزوجين المتكامل" الموضح في الشكل (3). هنا نثبت أن معادلات لورنتز تتوافق مع النموذج الموصوف في هذه الدراسة. لذلك، يمكن كتابة تحويل لورينتز بطريقة مضغوطة، في الزمكان، وبأربعة أبعاد، مع فصل إحداثيات كل إطار مرجعي:

$$(12)\begin{pmatrix} ct' \\ x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\cos\alpha} & -\tan\alpha & 0 & 0 \\ -\tan\alpha & \frac{1}{\cos\alpha} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ct \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} ct \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\cos\alpha} & \tan\alpha & 0 & 0 \\ \tan\alpha & \frac{1}{\cos\alpha} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} ct' \\ x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}$$

حيث استخدمنا المعادلة (1) $\sin\alpha = v/c$.

إذا كانت المسافة بين الحدثين e و k هي l، فيمكن الحصول على صيغة مينكوسكي للفاصل الزمني مباشرةً دون استخدام محور زمني وهي:

$$l^2 = (c\Delta t)^2 + \Delta x'^2 = (c\Delta t')^2 + \Delta x^2$$
$$\Downarrow$$
$$\Delta s^2 = (c\Delta t)^2 - \Delta x^2 = (c\Delta t')^2 - \Delta x'^2$$

في الفضاء الإقليدي x,y,z:

$$\Delta s^2 = (c\Delta t)^2 - \Delta x^2 - \Delta y^2 - \Delta z^2 = (c\Delta t')^2 - \Delta x'^2 - \Delta y'^2 - \Delta z'^2$$

ثبات سرعة الضوء في الإطارين

كما أشرنا سابقا فإن هذه النظرية تستند إلى فرضية واحدة، وهي أن كل جسم يتحرك في الزمكان بسرعة الضوء. هنا سوف نوضح أن فرضية أينشتاين، التي تنص على أن سرعة الضوء متساوية في جميع الإطارات، تم الحصول عليها بالفعل من فرضيتنا فيما يتعلق بطاقة الجسم المتحرك.

الشكل (4 أ) يصف الفوتون الخارج من أصل الإطار الثابت في الوقت المناسب $t = t' = 0$ ويشق طريقه إلى النقطة x_1. الزاوية التي يتقدم فيها الفوتون في المستوى x, ct هي β، وهو منصف المحورين، أي $\beta = (\pi/4 - \alpha/2)$.

الشكل (4 ب) يصف نقطة وصول الفوتون x_1، حيث يتقدم الإطار الثابت بمرور الوقت إلى قيمة ct_1. قيم x وct متساوية في هذه المرحلة. يقيس كل من الإطارات الثابتة والمتحركة سرعة ضوء تساوي c، على الرغم من أن المسافات والأوقات غير متساوية.

نسبة المسافات التي يقطعها الضوء في الإطارات الثابتة والمتحركة هي:

$$\frac{x'}{x} = \frac{ct'}{ct} = \tan\beta = \frac{1-\sin\alpha}{\cos\alpha} \qquad (13)$$

مما يدل على تأثير دوبلر للحالة النسبية.

الشكل (5) يصف متجه سرعة الفصل $\boldsymbol{V}_{ax}$، وهو فصل أصل المحاور للإطار المتحرك $(x', y', z') = (0,0,0)$ من أصل المحاور للإطار الثابت (المرجعي) $(x, y, z) = (0,0,0)$ في الزمكان.

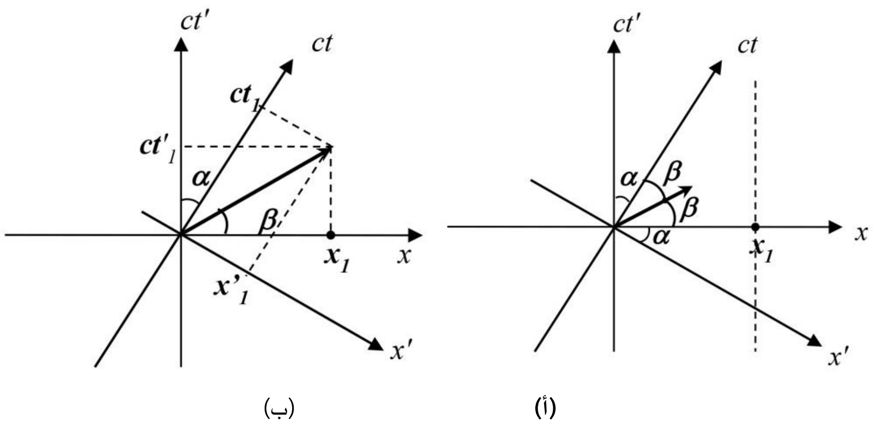
سرعة الإطار المتحرك هي الفرق المتجهين لسرعة الضوء الذاتي لكلا الإطارين مع $\boldsymbol{C}_1$ و $\boldsymbol{C}_2$.

الأتجاهات في الوصف القطبي (r,θ) تكون:

$$\boldsymbol{C}_2 = \left(c, \frac{\pi}{2} - \alpha\right) \text{ و } \boldsymbol{C}_1 = \left(c, \frac{\pi}{2}\right)$$

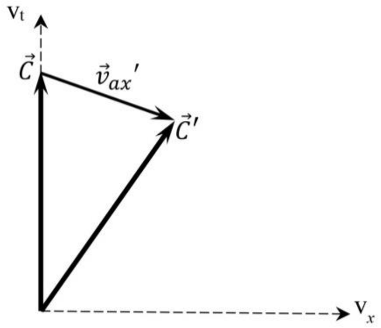
الذي يكون تمثيله في الشكل الديكارتي:

$$\boldsymbol{C}_2 = (v, v'_t) = v\hat{v}_x + v'_t\hat{v}_t \text{ و } \boldsymbol{C}_1 = (0, c) = c\hat{v}_t$$



الشكل (4 أ): مخطط الفوتون الخارج من أصل الإطار الثابت ووصف المسافات والأوقات في الإطارات.

(4 ب): وصول الفوتون إلى نقطة x_1 ووصف المسافات والأزمنة في الإطارات.



الشكل (5) متجه سرعة فصل الإطار المتحرك عن الإطار الثابت.

حيث أن: $\hat{v}_t$ هو متجه لوحدة قياس للسرعة في اتجاه محور "زمن الضوء" ct، و $\hat{v}_x$ متجه لوحدة قياس للسرعة في اتجاه المحور x. $\boldsymbol{V}_{ax}$ وهو متجه سرعة فصل بين الجسمين في الزمكان، واتجاهه هو حركة أصل المحاور للإطار المتحرك (x')=(0) D1 بالنسبة إلى أصل المحاور للإطار الثابت (0)=(x).

استخدام $v = c\sin\alpha$ و $v_t' = c\cdot\cos\alpha$

يؤدي إلي:

$$\boldsymbol{V}_{ax} = c\sin\alpha\hat{v}_x + c\left(\cos\alpha - 1\right)\hat{v}_t$$

باستخدام $\cos\alpha = \cos^2(\alpha/2) - \sin^2(\alpha/2)$ و $\sin\alpha = 2\sin(\alpha/2)\cos(\alpha/2)$

سوف يقود الى: $\boldsymbol{V}_{ax} = 2c\sin(\alpha/2)\cos(\alpha/2)\hat{v}_x + c\left(\cos^2(\alpha/2) - 1 - \sin^2(\alpha/2)\right)\hat{v}_t$

أخيرا باستخدام $\cos^2(\alpha/2) - 1 = -\sin^2(\alpha/2)$ سيعطي:

$$\boldsymbol{V}_{ax} = 2c\sin(\alpha/2)\cos(\alpha/2)\hat{v}_x - 2c\sin^2(\alpha/2)\hat{v}_t$$

$$\boldsymbol{V}_{ax} = 2c\sin(\alpha/2)\left(\cos(\alpha/2)\hat{v}_x - \sin(\alpha/2)\hat{v}_t\right)$$

في التمثيل القطبي، يعطي التعبير العلوي الصيغة التالية:

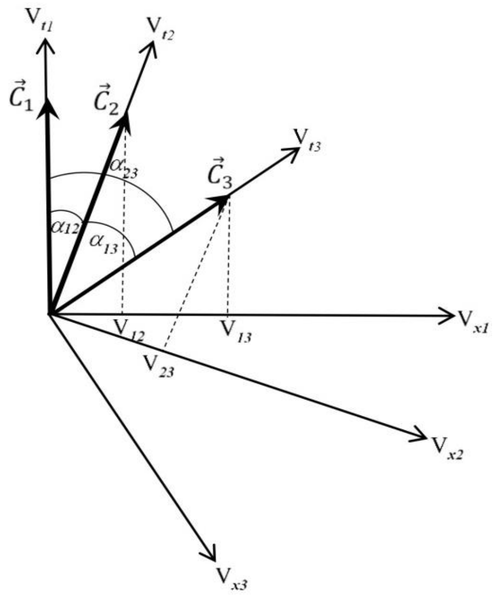
$$\boldsymbol{V}_{ax} = \boldsymbol{C}_2 - \boldsymbol{C}_1 = \left(2c\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right), -\frac{\alpha}{2}\right) \quad (14)$$

إسقاط متجه السرعة على المحور x يعطي السرعة v باستخدام المعادلة التالية (1):

$$\boldsymbol{V}_{ax}\cos\frac{\alpha}{2} = 2c\sin\frac{\alpha}{2}\cos\frac{\alpha}{2} = c\sin\alpha = v \quad (15)$$

عندما يصل الإطار المتحرك إلى السرعة $v=c$، ستكون قيمة ال $\boldsymbol{V}_{ax}$ أكبر من سرعة الضوء، في الزمكان، وزاويته $-45°$. من خلال هذا تكون $\alpha = \pi/2$ ونحصل $\boldsymbol{V}_{ax} = \left(\sqrt{2}\cdot c, -\frac{\pi}{4}[\text{rad}]\right)$. وهذه النتيجة لا تتعارض مع قوانين الفيزياء المعروفة في الوقت الحاضر وهي أن لا يمكن أن تتجاوز نقل الطاقة أو الكتلة سرعة الضوء في الإطار الإقليدي (x, y, z) أو (x', y', z'). في الواقع، هذه السرعة في الزمكان، ومن خلال إسقاطاتها على كل من المحاور الثلاثة، يتم الحصول على سرعة لا تزيد عن سرعة الضوء.

يصف الشكل (6) نموذج حساب السرعات النسبية لثلاثة أجسام 1، 2، 3 بسرعات مختلفة. يتم التعامل مع الجسم الأول كإطار مرجعي 1 مع x_1, ct_1 ، بمعنى آخر $v_{11} = 0$ ، حيث تكون سرعة الجسم 1 بالنسبة للإطار 1 معدومة. والمتجه لسرعة الضوء الذاتي $\boldsymbol{C}_1 = \left(c, \frac{\pi}{2}\right)$.



الشكل (6) مخطط نموذجي لحساب السرعات النسبية أثناء وصف إطارات لثلاثة أجسام بسرعات مختلفة، ويعمل الجسم الأول كإطار مرجعي.

يتحرك هيكل الجسم الثاني x_2, ct_2 بسرعة v_{12} بالنسبة للإطار الأول والزاوية α_{12} هي $\sin\alpha_{12} = v_{12}/c$ مع المتجه لسرعة الضوء الذاتي $\boldsymbol{C}_2 = \left(c, \frac{\pi}{2} - \alpha_{12}\right)$ الذي تم إسقاطه على المحور x_1 هو v_{12}.

سرعة الجسم الثالث بالنسبة للإطار الثاني هي v_{23} (نفترض أن السرعة في الاتجاه الموجب لـ x) بالزاوية α_{23} اي $\sin\alpha_{23} = v_{23}/c$ إعطاء المتجه لسرعة الضوء الذاتي: $\boldsymbol{C}_3 = \left(c, \frac{\pi}{2} - \alpha_{23}\right)$. سرعة الجسم الثالث v_{13} بإسقاط السرعة الذاتية للضوء $\boldsymbol{C}_3$ على المحور x_1 للإطار المرجعي هو:

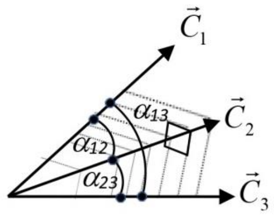
$$v_{13} = c\sin\left(\alpha_{12} + \alpha_{23}\right) \qquad (16)$$

بسرعات أصغر بكثير من سرعة الضوء نحصل عليها $v_{13} = v_{12} + v_{23}$ ، حيث:

$$\lim_{\alpha_{12}, \alpha_{23} \to 0} \sin\left(\alpha_{12} + \alpha_{23}\right) = \sin\alpha_{12} + \sin\alpha_{23}$$

يمكن أيضًا حساب سرعة الإطار الثالث في الإطار المرجعي إذا كانت السرعة v23 في اتجاه $y2$ محور الإطار الثاني. لذلك نحصل على التعبير التالي: $\cos\alpha_{13} = \cos\alpha_{12} \cdot \cos\alpha_{23}$. كما من الممكن حساب v_{13} بواسطة المعادلة (1): $v_{13}^2 = v_{12}^2 + v_{23}^2 - \frac{v_{12}^2 v_{23}^2}{c^2}$. بذلك بسرعات صغيرة نحصل على $\lim_{v_{12}, v_{23} \ll c} v_{13}^2 = v_{12}^2 + v_{23}^2$ وهي إضافة إتجاه للسرعات وفقًا لنظرية فيثاغورس.

يقدم الشكل (7) المتجه لسرعة الضوء الذاتي لثلاثة أجسام، حيث يتحرك الجسم 2 في اتجاه المحور x والجسم 3 يتحرك في إتجاه المحور y.



الشكل (7) وصف المتجه لسرعة الضوء الذاتي للأجسام الثلاثة.

الطاقة

في هذا النموذج، يتحرك الجسم دائمًا بسرعة الضوء في الزمكان، وسرعة الجسم في الفضاء الإقليدي (x, y, z) لا تغير قيمة المتجه لسرعة الضوء الذاتي، بل تغير اتجاهه فقط، أي الزاوية α.

وفقًا لذلك، تبلغ طاقتها الإجمالية m_0c^2 (m_0 كتلة الجسم). المتجه لسرعة الضوء الذاتي في الفضاء ذي البعد الرابع هي: $\boldsymbol{C}' = \left(\frac{\mathrm{d}(ct')}{\mathrm{d}t}, \boldsymbol{V}\right)$، والتي تتكون من جزأين، السرعة الذاتية للضوء $v_t = \frac{\mathrm{d}(ct')}{\mathrm{d}t}$ وسرعة الجسم بالنسبة للإطار المرجعي في الفضاء الإقليدي $\boldsymbol{V}$.

تتكون الطاقة من المكونات التالية:

أ- مؤسسة طاقة الوقت الذاتي للجسم E_{st}، والتي تحدد مقدار الكتلة المتبقية نتيجة للحركة.

ب- الطاقة الحركية "الحالة" E_α وهي الطاقة التي يحملها الجسم في الإطار المرجعي نتيجة سرعته. (في هذه الحالة، هذه الطاقة هي طاقة حركية، لكن في حالات أخرى، قد تشمل أيضًا أنواعًا أخرى من الطاقات، لذلك هنا الإشارة والاسم).

طاقة الوقت الذاتي E_{st} هو حاصل ضرب الكتلة m و $\boldsymbol{C}_1$ و $\boldsymbol{C}_2$ أي إسقاط المتجه لسرعة الضوء الذاتي للجسم المتحرك على الإطار المرجعي:

$$E_{st} = m_0\boldsymbol{C}_1 \cdot \boldsymbol{C}_2 = m_0c^2\cos\alpha \equiv \frac{m_0c^2}{\gamma} \qquad (17)$$

مما يعني أن طاقة الوقت الذاتي للكتلة أصغر من طاقة "الراحة" $E_0 = m_0c^2$ الوصول إلى قيمة $m_0c^2\cos\alpha$ من الطاقة في حالة متحركة، والفرق بينهما هو في الواقع طاقة الحالة الحركية E_α، والتي يمكن الحصول عليها أيضًا من خلال إسقاط السرعة $\boldsymbol{C}_2$ حول اتجاه حركة الإطار المتحرك بالصيغة التالية:

$$E_\alpha = m_0\boldsymbol{C}_2 \cdot \boldsymbol{V}_{ax} = 2m_0c^2\sin^2(\alpha/2) = m_0c^2(1-\cos\alpha) \equiv m_0c^2\left(1-\frac{1}{\gamma}\right) \qquad (18)$$

بالنسبة للقيم الصغيرة لـ α، أي السرعات الصغيرة بالنسبة إلى سرعة الضوء، تميل الطاقة الحركية للحالة إلى:

$$\lim_{\alpha\to 0}\frac{E_\alpha}{\frac{m_0v^2}{2}} = \frac{m_0c^2(1-\cos\alpha)}{\frac{m_0c^2\sin^2\alpha}{2}} = 1 \quad \text{من عند} \quad E_k = \frac{m_0v^2}{2}$$

عندما تقترب السرعة من سرعة الضوء، تقترب الطاقة $E_k = E_\alpha = m_0c^2$. حين تكون $\alpha = \pi/2$ ، الطاقة الكلية للكتلة حركية m_0c^2 وطاقة الوقت الذاتي معدومة في هذه المرحلة. هذه النتيجة تتناقض مع نتيجة أينشتاين بأن الكتلة تزداد إلى ما لا نهاية مع زيادة السرعة وتقترب من سرعة الضوء، وبالتالي الصيغة التي حصل عليها $E = \gamma m_0c^2$ غير صحيحة وفقًا للنموذج المقدم.

طبقا للنموذج الحالي، يتم الاحتفاظ بقانون الحفاظ على الطاقة ومجموع الطاقتين E_{st} و E_α هي بقية طاقة الجسم $E_0 = m_0c^2$:

$$E_0 = E_{st} + E_\alpha = m_0c^2 \qquad (19)$$

الكتلة السالبة

يصف الشكل (8) المناطق الرباعية للتغيرات في الحالة النشطة لجسم متحرك من أجل الاختلافات في زاوية الطاقة α، في النطاق من (π–) إلى (π).

يوضح الربع A التغير في السرعة من 0 إلى c

يوضح الربع B التغير في السرعة من 0 إلى c-

ا يوضح لربع C التغير في السرعة من c إلى 0

يوضح الربع D التغير في السرعة من c- إلى 0.

الربعان C وD هما مناطق تكون فيها سرعة الوقت الذاتي سالبة، بحيث يكون الوقت الذاتي الذي يتم الحصول عليه بواسطة طريقة التكامل كما هو موضح في الشكل (8) سالبًا، وهو منطقة ذات كتلة سالبة.

يصف الشكل (9) نسبة سرعات وطاقات الجسم كدالة لزاوية الطاقة α وفقًا لقياس السرعة واتجاهها في الإطار المرجعي. مجموع الطاقة الكلية للجسم يساوي $E_0 = m_0c^2$. عندما تكون زاوية الطاقة α هو $\pi/2$، تصل زاوية طاقة سرعة الجسم المتحرك إلى سرعة الضوء وتكون الطاقة الحركية للحالة مساوية لـ m_0c^2.

مع زيادة مدخلات الطاقة، ستنخفض سرعة الجسم حتى تصل زاوية الطاقة π وسيكون الجسم في حالة راحة, مع طاقة حركية للحالة تبلغ $2m_0c^2$ وطاقة الوقت الذاتي ($-m_0c^2$).

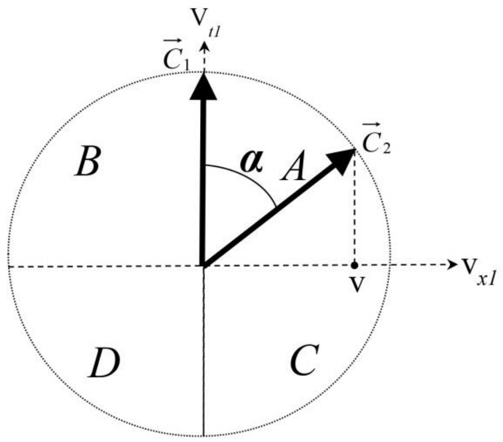
كما يوضح الشكل سرعة الجسم المتحرك الذي تم تسويته إلى c، طاقة الحالة الحركية E_α ومؤسسة طاقة الوقت الذاتي تطبق على حد سواء m_0c^2، كدالة للزاوية α الذي يمتد في نطاق $-\pi$ وπ، من القياسات في إطار ثابت.

تؤدي زيادة السرعة إلى تقليل كتلة الجسم. عندما تصل سرعة الجسم إلى سرعة الضوء، سيصبح عديم الكتلة. مؤسسة طاقة الوقت الذاتي هي كمية الطاقة المتبقية في الجسم بعد أن يتحول جزء منها إلى طاقة حركية، وتتناقص كتلته إلى:

$$m = m_0 \cos\alpha = m_0/\gamma \qquad (20)$$

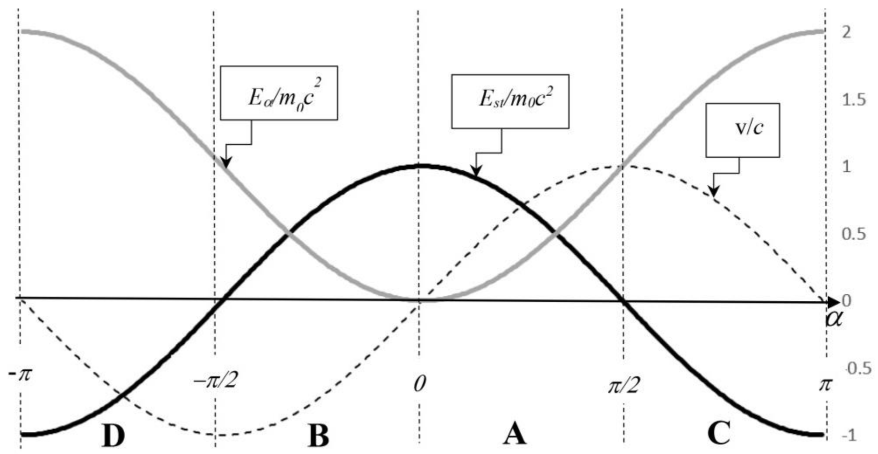
كما يميل الجسم إلى $\alpha = \pi/2$ تبدأ السرعة بالانخفاض تدريجيًا ويصل الجسم إلى منطقة زمنية ذاتية سلبية. عندما يصل الجسد $\alpha = \pi$ والسرعة صفر، حالة الطاقة الحركية $E_k = 2m_0c^2$ وطاقة الوقت الذاتي $E_{st} = -m_0c^2$. الكتلة الفعالة m من الجسم (الكتلة التي يتصورها الإطار المرجعي على أنه نفس الجسم) هي:

$$E_{st(\alpha=\pi)} = -m_0 c^2 = m_{(\alpha=\pi)} c^2 \Rightarrow m_{(\alpha=\pi)} = -m_0 \quad (21)$$



الشكل (8) مناطق الحالة النشطة للجسم المتحرك مع تغيرزاوية الطاقة α، في نطاق $-\pi$ ل π.

الربعان C وD هما مناطق تكون فيها سرعة الوقت الذاتي سالبة، بحيث يكون الوقت الذاتي سالبًا، وهذا ما يسمى منطقة الكتلة السالبة.



الشكل (9) نسبة السرعات والطاقات الطبيعية للجسم كدالة لزاوية الطاقة α. يوضح الرسم البياني سرعة جسم متحرك تم ضبطه نسبيا على c، والطاقة الحركية E_k طبيعية إلى m_0c^2، وطاقة الوقت الذاتي E_s تطبيع إلى m_0c^2، كدالة للزاوية α في نطاق $-\pi$ وπ كما تم قياسه من إطار ثابت.

تُعطى قيمة قوة الجاذبية من خلال:

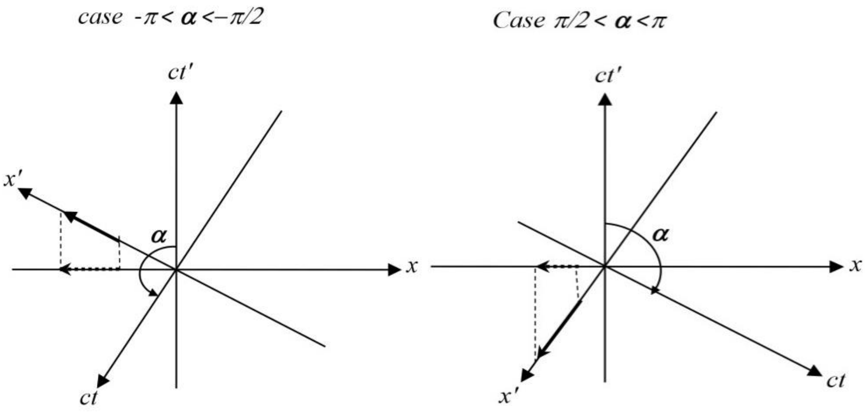
$$F_{(\alpha=\pi)} = G\frac{m_{(\alpha=\pi)}M}{r^2} = G\frac{-m_0 M}{r^2} < 0$$

حيث m هي كتلة مصدر الجاذبية في الإطار المرجعي، وr هي المسافة بين مراكز الكتل وG هي ثابت الجاذبية.

وبذلك يظهر الشكل (10 أ) والشكل (10 ب)، عندما يتجاوز الجسد $\alpha = \pi/2$.

يقع الشكل (10 أ) في نطاق $\pi/2 < \alpha < \pi$ والشكل (10 ب) يقع في نطاق $-\pi < \alpha < -\pi/2$. عندما يتجاوز الجسم حاجز سرعة الضوء، تنخفض سرعته وتصل طاقة الوقت الذاتي إلى قيم سلبية. يزداد الوقت الذاتي للإطار المتحرك في الاتجاه السلبي. إسقاط الجسم، يتحرك في اتجاه السهم، في المحورx - عكس اتجاهه، أي أنه سوف يتحرك

بعيدًا وينقلب اتجاهه، وبالتالي يمكن رؤية مستقبله، لكن بعد فترة يتحرك بعيدًا ويمكن رؤية ماضيه. عندما يكون الجسم في مجال الجاذبية، فإنه سيتحرك عكس الجاذبية، متحركًا من المستقبل إلى الماضي.



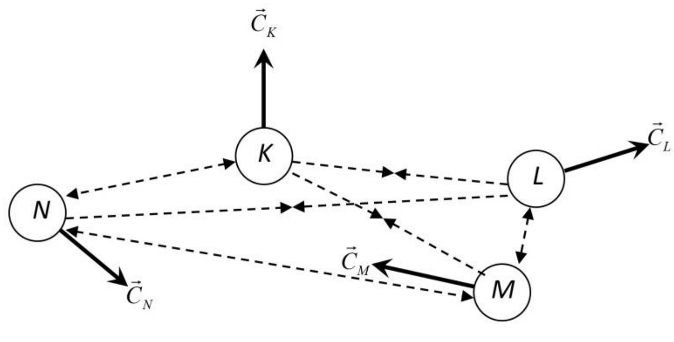
(ب) (أ)

الشكل (10 ا) نموذج إطارين لزوايا الطاقة في النطاق $\pi/2<\alpha<\pi$ ؛

(10 ب) نموذج إطارين لزوايا الطاقة في النطاق $-\pi<\alpha<-\pi/2$.

الشكل (11) يُظهر العديد من الأجسام K وL وM وN مع السرعة الذاتية لإنتقال الضوء مختلفة وقوى الجذب أو الرفض بينها، حيث يمثل الجسم K الإطار المرجعي. توجد قوة جذب بين الجسم K والجسم L وقوة تنافر بين الجسم K والجسم N أيضًا، كما توجد قوة جذب بين الجسم L والجسم K، M وN عندما يتحرك الجسم L إلى اليمين عند سرعة قريبة من سرعة الضوء والجسم M يتحرك إلى اليسار بسرعة قريبة من سرعة الضوء، وسرعة الجسم L بالنسبة إلى الجسم M أصغر بكثير من سرعة الضوء (كما يتضح من إسقاط السرعة الذاتية لمتجه الضوء على المحور x للجسم M)، لأنه بالنسبة لها، فإن الجسم L له كتلة سالبة.$\pi/2$.

يتم أيضًا الحصول على كتلة سالبة للسرعات ذات القيم الأصغر من سرعة الضوء، بما في ذلك السرعة الصفرية (وهي حالة من السكون).



الشكل (11) رسم تخطيطي لعدة أجسام ذات نواقل مختلفة للسرعة الذاتية وقوى الجذب أو التنافر بينها.

كمية الطاقة المطلوبة لجلب الجسم إلى سرعة الضوء

يوفر هذا النموذج أيضًا طريقة لحساب كمية الطاقة المطلوبة لإخراج الجسم من حالة الراحة إلى سرعة الضوء، وفقًا للخطوات التالية:

تطبيق قوة F لتغيير زاوية السرعة الذاتية لانتقال الضوء من $\alpha = 0$ ل $\alpha = \pi/2$.

علاقة الزخم بالقوة $F=\frac{\mathrm{d}p'}{\mathrm{d}t}$ في الصيغة $\mathrm{d}E_\alpha = F\mathrm{d}x'$ يؤدي إلي $\mathrm{d}E_\alpha = \mathrm{d}p'\frac{\mathrm{d}x'}{\mathrm{d}t}$

v'

استخدام علاقة الزخم $p' = m'v'$ وتفاضلها $\mathrm{d}p' = m'\mathrm{d}v' + v'\mathrm{d}m'$ يؤدي إلي $\mathrm{d}E_\alpha = m'v'\mathrm{d}v' + v'^2\mathrm{d}m'$.

باستخدام المعادلة (1) من قيمة إسقاط السرعة v' على المحور x: $v' = \frac{v}{\cos\alpha}$ يؤدي إلي $v' = \frac{c\sin\alpha}{\cos\alpha}$.

باستخدام التفاضل $\mathrm{d}v' = \frac{c}{\cos^2\alpha}\mathrm{d}\alpha$ وتفاضل الكتلة $m' = m_0\cos\alpha$ يعطي $\mathrm{d}m' = -m_0\sin\alpha\mathrm{d}\alpha$

الأمر الذي يؤدي إلى حساب فرق الطاقة $\mathrm{d}E_\alpha = m_0\cos\alpha\frac{c\sin\alpha}{\cos\alpha}\frac{c}{\cos^2\alpha}\mathrm{d}\alpha - \frac{c^2\sin^2\alpha}{\cos^2\alpha}m_0\sin\alpha\mathrm{d}\alpha$:

أخيرًا، يؤدي استخدام المطابقة المثلثية إلى $\mathrm{d}E_\alpha = m_0c^2\sin\alpha\mathrm{d}\alpha$. لأن زاوية الطاقة اللازمة لجلب الجسم إلى سرعة الضوء هي $\alpha = \pi/2$ ، حساب الطاقة اللازمة لجلب الكتلة إلى سرعة الضوء هو:

$$E_{\alpha=\pi/2} = \int_0^{\pi/2} m_0c^2\sin\alpha\mathrm{d}\alpha = m_0c^2$$

تصادم مرن أحادي البعد

يتركز الاهتمام الآن على حساب تصادم مرن تمامًا (مثالي) وفقًا لنموذجنا. معامل الاسترداد يساوي 1، مما يعني أنه لا يوجد فقدان للطاقة نتيجة الاصطدام. يعتمد حساب الزخم على المعادلة:

$$m_1\boldsymbol{C}_1 + m_2\boldsymbol{C}_2 = m_1\boldsymbol{C}_1' + m_2\boldsymbol{C}_2' \quad (22)$$

حيث $\boldsymbol{C}_1$ و $\boldsymbol{C}_2$ هي المتجه لسرعة الضوء الذاتي لكلا الجسمين قبل الاصطدام و $\boldsymbol{C}_1'$ و $\boldsymbol{C}_2'$ هي المتجه لسرعة الضوء الذاتي لكلا الجسمين بعد الاصطدام.

إدخال قيمة المتجه لسرعة الضوء الذاتي في هذه الصيغة:

$$\boldsymbol{C} = c\cdot\cos\alpha\cdot\hat{t} + c\cdot\sin\alpha\cdot\hat{x}$$

تعطي:

$$\begin{aligned} m_1\sin\alpha_1 + m_2\sin\alpha_2 &= m_1\sin\alpha_1' + m_2\sin\alpha_2' \\ m_1\cos\alpha_1 + m_2\cos\alpha_2 &= m_1\cos\alpha_1' + m_2\cos\alpha_2' \end{aligned} \quad (23)$$

المعادلة العليا في هذا الزوج من المعادلات هي معادلة الزخم المعروفة في الفيزياء الكلاسيكية باسم "حفظ الزخم":

$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$ بينما المعادلة الثانية هي معادلة الزخم على محور الوقت.

طاقات الوقت الذاتي لكلا الجسمين قبل وبعد الاصطدام $E_{st1} + E_{st2} = E_{st1}' + E_{st2}'$ ومن ثم نحصل على:

$m_1 \cos\alpha_1 + m_2 \cos\alpha_2 = m_1 \cos\alpha_1' + m_2 \cos\alpha_2'$ وهي نفس المعادلة في آخر زوج من المعادلات. يتم اشتقاق نفس الصيغة من قانون الحفاظ على الطاقة الحركية للولاية $E_{\alpha_1} + E_{\alpha_2} = E'_{\alpha_1'} + E'_{\alpha_2'}$ (حيث $E_\alpha = m_0 c^2 (1-\cos\alpha)$).

التصادم الغير مرن

حساب التصادم الغير مرن يعني عندما يصطدم جسمان ويندمجان في جسم واحد. وبذلك يصبح قانون حفظ الزخم الآن وفقًا للمعادلة التالية:

$$m_1\boldsymbol{C}_1 + m_2\boldsymbol{C}_2 = m_3\boldsymbol{C}_3 \qquad (24)$$

حيث $\boldsymbol{C}_2$ و $\boldsymbol{C}_2$ هي نواقل الضوء ذات السرعة الذاتية لكلا الجسمين قبل الاصطدام و $\boldsymbol{C}_3$ هو ناقل الضوء الذاتي السرعة للجسم بكتلة m_3 بعد الاصطدام. يؤدي إدخال قيمة المتجه لسرعة الضوء الذاتي إلى زوج الصيغ التالية:

$$\begin{aligned} m_1 \sin\alpha_1 + m_2 \sin\alpha_2 &= m_3 \sin\alpha_3 \\ m_1 \cos\alpha_1 + m_2 \cos\alpha_2 &= m_3 \cos\alpha_3 \end{aligned} \qquad (25)$$

فقدان الطاقة $m_1c^2 + m_2c^2 > m_3c^2$ هي جزء من كتلة الجسمين، فإن الكتلة m_3 ستكون دائمًا أصغر من مجموع الكتلتين m_1 وm_2 والفرق بينهما هو Δm:

$$m_1 + m_2 = m_3 + \Delta m \qquad (26)$$

$$\Delta m = (m_1 + m_2)\left(1 - \sqrt{1 - \frac{4m_1m_2}{(m_1+m_2)^2}\sin^2\frac{\alpha_1+\alpha_2}{2}}\right) \qquad (27)$$

استخدام الصيغ $\lim\limits_{x\to 0}(1-x)^{0.5} = \lim\limits_{x\to 0}(1-0.5x)$ و $\lim\limits_{\alpha\to 0}\sin\alpha = \lim\limits_{\alpha\to 0} a$ سيؤدي ألفا إلى سرعات صغيرة إلى النتيجة:

$$\Delta m = \frac{m_1m_2}{2(m_1+m_2)}(\sin\alpha_1 - \sin\alpha_2)^2 \qquad (28)$$

وبالتالي سيكون فقدان الطاقة بسرعات صغيرة:

$$\Delta E = \Delta mc^2 = \frac{m_1m_2}{2(m_1+m_2)}(v_1 - v_2)^2 \qquad (29)$$

هذه هي نفس النتيجة المعروفة من الفيزياء الكلاسيكية، في التصادم الغير مرن، أي فقدان الطاقة نتيجة التصادم الغير مرن Δm تساوي قيمة فقد الطاقة لفرق الكتلة m بسبب الاصطدام $\Delta E = \Delta mc^2$.

حل المشكلات حسب النموذج

في هذا القسم الفرعي، سيتم توضيح كيف يمكن تطبيق هذا النموذج الجديد في حل المشكلات الحالية المعقدة والصعبة في الفيزياء، مما يوفر حلولًا أبسط وأسهل. ومن الأمثلة على ذلك مفارقة التوأمين، والتوسع المتسارع للكون والثقوب السوداء، والتي سنتناولها في الفصل التالي.

مفارقة التوأمين

يصف الشكل (12) حلًا لمفارقة التوأمين بطريقة بسيطة، من خلال إظهار سرعة الإطار المتحرك في الزمكان، في اتجاهين. بوضع القيمة $\Delta x' = 0$ (يبقى الأخ المسافر في أصل محاور الإطار المتحرك) من معادلات تحويل لورنتز التي تم الحصول عليها في Eqn. 6، الفارق الزمني بين الإطارين هو:

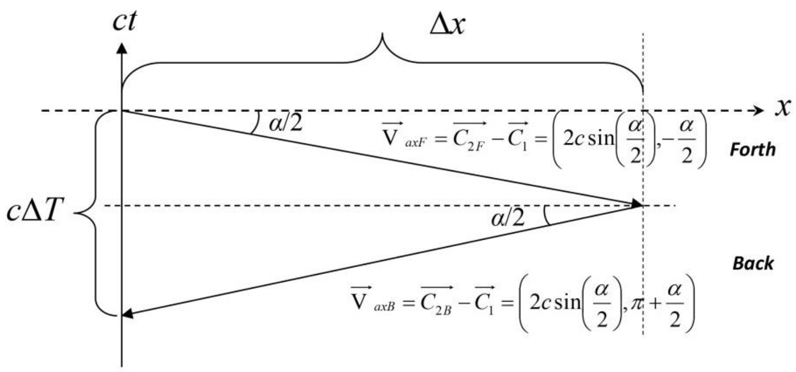
$$\Delta T = 2\Delta t\left(1-\frac{1}{\gamma}\right) = 2\frac{\Delta x}{v}\left(1-\frac{1}{\gamma}\right).$$

الإطار المرجعي هو للأخ الذي ترك وراءه، والذي يكون المتجه لسرعة الضوء الذاتي الخاص به $\boldsymbol{C}_1 = \left(c, \frac{\pi}{2}\right)$ بمجرد انفصال التوائم، يكون المتجه لسرعة الضوء الذاتي للإطار المتحرك $\boldsymbol{C}_{2F} = \left(c, \frac{\pi}{2} - \alpha\right)$، وبالتالي فإن سرعة الإطار المتحرك في الزمكان محسوبة بواسطة المعادلة (14) هو: $\boldsymbol{V}_{axF} = \boldsymbol{C}_{2F} - \boldsymbol{C}_1 = \left(2c\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right), -\frac{\alpha}{2}\right)$.

عندما يعود التوأم المتحرك، بنفس السرعة ولكن في الاتجاه المعاكس، يكون متجه الضوء الذاتي $\boldsymbol{C}_{2B} = \left(c, \frac{\pi}{2} + \alpha\right)$ لذلك فإن سرعة الإطار في الفضاء هي: $\boldsymbol{V}_{axB} = \boldsymbol{C}_{2B} - \boldsymbol{C}_1 = \left(2c\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right), \pi + \frac{\alpha}{2}\right)$. استخدام المتطابقات المثلثية $2\cos\frac{\alpha}{2}\sin\frac{\alpha}{2} = \sin\alpha$ و $2\sin^2\frac{\alpha}{2} = 1-\cos\alpha$ سيؤدي إلى قيمة فارق التوقيت ΔT بوضعه في المعادلة (3):

$$\Delta T = 2\frac{\Delta x}{v}\left(1-\cos\alpha\right) = 2\frac{\Delta x}{v}\left(1-\frac{1}{\gamma}\right) \qquad (30)$$

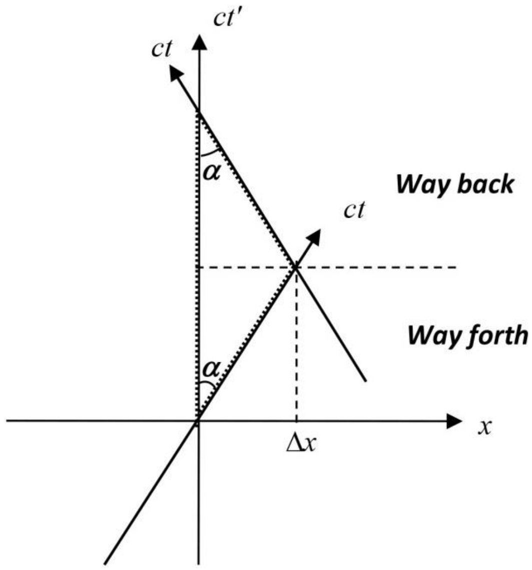
يصف الشكل (13) حركة التوأم المتحرك بالنسبة لأخيه التوأم في الإطار المحوري (باستخدام ICF). محور ct بزاوية $+\alpha$ بالنسبة لمحور ct في الطريق، مقارنة بطريق العودة، عندما تكون الزاوية $-\alpha$. هنا نحصل أيضًا على نفس الفارق الزمني بين الإطارين.



$\vec{V}_{axF} = \overrightarrow{C_{2F}} - \vec{C_1} = \left(2c\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right), -\frac{\alpha}{2}\right)$

$\vec{V}_{axB} = \overrightarrow{C_{2B}} - \vec{C_1} = \left(2c\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right), \pi + \frac{\alpha}{2}\right)$

الشكل (12) حل مفارقة التوأمين من خلال إظهار سرعة الإطار المتحرك في الزمكان في اتجاهين، نحصل على أن التوأم العائد أصغر سنا مع اختلاف في ΔT.



الشكل (13) حركة الأخ المسافر نسبة لأخيه التوأم.

المناقشة والاستنتاجات

مقارنة مع الدراسات السابقة

قام العديد من الباحثين بدراسة مسألة الكتلة السالبة. في عام 1951، داخل مؤسسة أبحاث الجاذبية، تم اختبار إمكانية الكتلة السالبة، وكيف ستتصرف في ظل الجاذبية والقوى الأخرى أيضًا [7]. في عام 2017، أنشأ باحثون في جامعة واشنطن كتلة سالبة تجريبية خاملة عن طريق تبريد ذرات الروبيديوم بالليزر، على الرغم من أن هذا واليست في الواقع كتلة سالبة حقيقية [8].

في الواقع، لم ينجح أي بحث حتى الآن في الممارسة، لا في التجارب ولا بالصيغ المناسبة، لإدراك أو إثبات وجود الكتلة السالبة. وهكذا تفتح النظرية هنا بابًا لعالم جديد وكامل في الفيزياء والذي سيوفر قوانين فيزيائية توضح كيف يمكن وصف كتلة سالبة باستخدام مبادئ النسبية الخاصة.

الاستنتاج

يمكن ملاحظة أن الدراسة الحالية تقدم حلاً لمشكلة فيزيائية نواجهها في الوقت الحاضر، أي أن الجسم الحقيقي لا يمكن أن يكون له كتلة سالبة، ولا يتحرك في زمكان سلبي. خلال هذه الورقة البحثية، تقدم النظرية نموذجًا يتنبأ بهذا الإنجاز. يتضمن النموذج أجسامًا ذات كتلة سالبة، مما يزيد من احتمال وجود قوى الجاذبية مع التنافر بين الأجسام.

إن إمكانية تكوين أجسام ذات كتلة سالبة وقوى رفض وزمن سالب، وهو في الواقع عودة إلى الماضي، تفتح بذلك احتمالات وتداعيات في مجالات التكنولوجيا، بدءًا من حل المشكلات، وتطوير معادلات جديدة في العلوم، كما هو موضح الأقسام أعلاه، مما أدى إلى اختراعات جديدة للمنتجات والعمليات في العديد من المجالات الصناعية. النتائج والاستنتاجات الرئيسية هي كما يلي:

1- يتحرك كل جسم أو جسيم بسرعة الضوء في البعد الرابع وهو محور الزمن.

كل جسم له متجه ضوئي ذاتي السرعة في الإطار المرجعي الثابت $\boldsymbol{C}=\left(c,0,0,0\right)$ في البعد الرابع، ومتجه ضوئي ذاتي السرعة في الإطار الإقليدي المتحرك $\boldsymbol{C}'=\left(v'_t,v'_x,v'_y,v'_z\right)$.

يمتلك الجسم زاوية طاقة α بين متجهي الضوء ذاتي السرعة للإطار المرجعي الثابت والإطار الإقليدي المتحرك.

عندما تكون زاوية الطاقة أكبر من π/2، كتلة الجسم سلبية مع الوقت السلبي للذات، وتصبح العودة إلى الماضي ممكنة.

2- يمكن توقع قوى جاذبية التنافر بين الأجسام، إلى جانب قوى الجذب المنتظمة.

3- عندما تزداد سرعة الجسم، تقل كتلته الفعالة.

4- النموذج يحل مفارقة التوأمين بطريقة بسيطة وسهلة الفهم [9]،

5- يصف النموذج طريقة لحساب كمية الطاقة المطلوبة لإحضار الجسم من حالة السكون إلى سرعة الضوء.

6- يصف النموذج طريقة لحساب الطاقة والزخم، بحيث في حالة الاصطدام المرن تمامًا، لا يوجد فقدان للطاقة.

7- في حالة الاصطدام الغير المرن، فإن فقد الطاقة هو جزء من كتلة الجسمين الموحدين.

8- عندما تكون زاوية الطاقة α يساوي $2/\pi$ تصل سرعة الجسم المتحرك إلى سرعة الضوء وتساوي الطاقة الحركية للحالة m_0c^2. مع زيادة مدخلات الطاقة، ستنخفض سرعة الجسم حتى زاوية الطاقة α يصل π، ثم يكون الجسم في حالة راحة مع طاقة حركية حالة تبلغ $2m_0c^2$ وطاقة الوقت الذاتي ($-m_0c^2$).

استمرارية هذه الدراسة:

9- قد يقدم هذا النموذج شرحًا لكيفية تسارع الكون وتمدده وسيتجنب الحاجة إلى افتراض وجود المادة المظلمة والطاقة في علم الكونيات.

10- قد تصف معادلات النموذج ظاهرة الثقب الأسود بطريقة أبسط.

11- قد يوفر النموذج صيغًا أكثر دقة حتى بالنسبة للنسبية العامة [10,11,12].

12- سيساعد النموذج في البحث فيما يحدث في فيزياء الكم، وقد يفسر، على سبيل المثال، مبدأ عدم اليقين لهايزنبرغ.

ربما تستمر الدراسات المستقبلية في تطوير المعادلات المقدمة في هذا النموذج الجديد، وقد توفر الخلق التجريبي لأجسام ذات كتلة سالبة.

المصادر:

[1] Morin, David (2017). Special Relativity for the Enthusiastic Beginner. Create Space Independent Publishing Platform. pp. 90–92. ISBN 9781542323512.

[2] John D. Norton, John D. (2004). Einstein's Investigations of Galilean Covariant Electrodynamics prior to 1905. Archive for History of Exact Sciences. 59 (1): 45–105.

[3] Dennery, Philippe; Krzywicki, André (2012). Mathematics for Physicists. Courier Corporation. ISBN 978-0-486-15712-2.

[4] Sean M. Carroll (2004). Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity. Addison Wesley. p. 22. ISBN 978-0-8053-8732-2.

[5] Rothenstein, B., Popescu, S. and Spix, G.J. (2006) A Brief and Transparent Derivation of Lorentz-Einstein Transformations via Thought Experiments. https://arxiv.org/ftp/physics/papers/0602/0602054.pdf

[6] Roger Penrose (2005) Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe, chapter 18 "Minkowskian geometry", Alfred A. Knopf ISBN 9780679454434.

[7] Luttinger, J.M. (1951) On Negative Mass in the Theory of Gravitation. Gravity Research Foundation, University of Wiscosin, Madison, Wis.

[8] Khamehchi, M.A., Hossain, K., Mossman, M.E., Zhang, Y.P., Busch, Th., Forbes, M.M. and Engels, P. (2017) Physical Review Letters, 118, 155301.

[9] Florentin Smarandache, (2013), Unsolved Problems in Special and General Relativity, Educational Publishing & Journal of Matter Regularity (Beijing), p.p. 3-33.

[10] Arnab Rai Choudhuri, (2010), Astrophysics for Physicists, Indian Institute of Science, p.p. 297-304.

[11] TA-PEI CHENG, (2005), Relativity, Gravitation, and Cosmology, Oxford NewYork, p.p. 14-35.

[12] Wolfgang Rindler, (2006), Relativity SPECIAL, GENERAL, AND COSMOLOGICAL, Oxford, p.p. 3-14.