Journal of Nature, Life and Applied Sciences
Volume (6), Issue (3): 30 Sep 2022
P: 115 - 143

AJSRP
ISSN: 2522-3356

مجلة العلوم الطبيعية والحياتية والتطبيقية
المجلد (6)، العدد (3): 30 سبتمبر 2022م
ص: 115 - 143

Measuring and tracking the rate of time flow according to the laws of relativity, in form of the analog clock - spacetime clock model

Motasim Hashim Ibrahim

Faculty of Science || University of Khartoum || Sudan

Abstract: This research aims to find a time measurement tool that enables us to track the relative time flow rate according to the variables defined by the theory of relativity. The research problem was the absence of an analog clock that gives a continuous measurement the rate of time flow according to the laws of relativity, and the absence of a law that can be applied to analog clocks so that its indicators give a measurement the rate of time flow according to the variables defined by the theory of relativity. I started the research from the hypothesis that there is a symmetry between the regular circular motion of two objects within the space of classical mechanics, and the rates of time dilation; So that it can be used to measure relative time. I followed the experimental and descriptive method and mathematical proof to test this hypothesis. So I derived the mathematical equations that achieve this symmetry, and employed them to formulate a law that controls the motion of these two objects, and restricts this motion to the values of the variables found in Albert Einstein's theory of relativity. I conducted a laboratory experiment on an analog clock in order to test the validity of this law. I applied the limits of the values of the velocity variable between 10000 km/s and the speed of light in a vacuum. The clock was also tested at large values of the mass variable (the mass of the Sagittarius A* black hole as a model) and at the values of radii that are relatively close to Schwarzschild radius of those blocks. So I got a movement of the parts of the clock in which the time indicators pass over the degrees of measurement at the rate of time flow that an external observer observes at those values.

Keywords: spacetime, special theoryof of relativity, time dilation, clock, anolog clock, classical mechanics.

قياس وتَتَبُع معدل جريان الزمن وفق قوانين النظرية النسبية، على هيئة الساعة التناظرية - ساعة الزمكان نموذجاً

معتصم هاشم إبراهيم

كلية العلوم || جامعة الخرطوم || السودان

المستخلص: يهدف هذا البحث إلى إيجاد أداة قياس زمنية تُمكِّننا من تَتَبُع معدل تدفق الزمن النسبي وفق المتغيرات التي حددتها النظرية النسبية. تمثلت مشكلة البحث في عدم وجود ساعة تناظرية تعطي قياس متصل مستمر لمعدل جريان الزمن وفق قوانين النظرية النسبية، وعدم وجود قانون يُمكِن تطبيقهُ على الساعات التناظرية بحيث تعطي مؤشراتها قياس معدل جريان الزمن وفق المتغيرات التي حددتها النظرية النسبية. ابتدأتُ البحث من فرضية تقتضي وجود تناظر بين حركة دورية دائرية منتظمة لجسمين ضمن فضاء الميكانيكا الكلاسيكية، وبين معدلات تباطؤ الزمن؛ بحيثُ يُمكن الاستفادة منها لقياس الزمن النسبي. اتبعتُ المنهج التجريبي والوصفي والبرهان الرياضي لاختبار هذه الفرضية. فاشتققتُ المعادلات الرياضية التي تحقق هذا التناظر، ووظفتَها لصياغة قانون يتحكم في حركة هذين الجسمين، ويُقيِّد هذه الحركة بقيم المتغيرات الموجودة في النظرية النسبية لألبرت أنشتاين. وأجريتُ تجربة معملية على ساعة تناظرية من أجل اختبار صدق هذا القانون. وطبقتُ حدود قيم متغير السرعة بين 10000 km/s وسرعة الضوء في الفراغ. وكذلك اختبرت قراءة الساعة عند قيم كبيرة لمتغير الكتلة (كتلة الثقب الاسود Sagittarius A* أنموذجاً) وعند قيم أنصاف أقطار قريبة نسبياً من نصف قطر

(Schwarzschild) لتلك الكتل. فتحصلت على حركة لأجزاء الساعة تَمُر فيها مؤشرات قياس الزمن على درجات القياس بمعدل جريان الزمن الذي يرصده مراقب خارجي عند تلك القيم.

الكلمات المفتاحية: الزمكان، النظرية النسبية الخاصة، تباطؤ الزمن، النظرية النسبية العامة، الساعة، الساعات التناظرية، الميكانيكا الكلاسيكية.

المقدمة.

لا شك أن نتائج النظرية النسبية كانت مؤثرة جداً في تكوين صورتنا الذهنية عن الكون وفهمنا للطبيعة، خاصة النتيجة التي أوضحت تغير معدل تدفق الزمن من إطار مرجعي قصوري إلى أخر متحرك بسرعة عالية[1,4,6]، وكذلك تأثر قياسنا للزمن عند جاذبية الكتل الكبيرة حسب مقدار الكتلة وحسب قدر ارتفاعنا من مركزها[4,6]، وقد تم التأكد من صدق هذه النتائج في عدة تجارب، بالنسبة لتباطؤ الزمن وفق النسبية الخاصة كانت تجربة قياس تباطؤ الزمن في حركة الميزونات (μ-Mesons) والتي أعطت نتيجة قياس وافقت تنبؤ معادلات النظرية النسبية[4].

وتم اختبار تغير معدل جريان الزمن وقياس تباطؤ الزمن في الأطر المرجعية المتحركة حيث تأكد التأثير النسبي على تردد الساعات الذرية المتحركة بسرعات عالية. وفق ما تنبأ به أنشتاين في النظرية النسبية. وكذلك تم التأكد من تغير معدل تدفق الزمن بسبب الكتلة الكبيرة وحسب البعد منها، مثال على ذلك التجارب التي أجريت بواسطة ساعات ذرية حيث تم اختبار التأثير النسبي على تردد الساعات في التجربة[5].

أنفرد موضوع البحث في أن الأدوات التجريبية له غير قائمة على مبدأ تحريك أداة القياس الزمنية نفسها بسرعات عالية ثم ملاحظة فرق التوقيت، أو وضع أداة القياس في مجال جاذبية عالي ومن ثم تسجيل التأثير الذي حدث عليها[5]. بل يمضي البحث في نطاق إيجاد أداة قياس زمنية، تكون الآلية المسؤولة من ضبط إيقاع الزمن فيها، قائمة على تناظر بين حركة دورية دائرية منتظمة ضمن فضاء الميكانيكا الكلاسيكية، وبين معدلات تباطؤ الزمن في النظرية النسبية. بحيثُ يمكن أن يستخدم المراقب الخارجي هذه الأداة لتتبع وقياس معدل تدفق الوقت في الإطار المحدد الذي يراقبه.

تَمَّ إجراء هذا البحث من أجل ملائمة التغيُّر الكبير في نظرتنا لمفهوم المكان والزمان الذي أوجدته النظرية النسبية، ونتائجها القاضية بتباطؤ الزمن وتقلص الأطوال وفق الظروف الفيزيائية المحددة. وتمثلت أهدافهُ في إيجاد وسيلة لرؤية معدل جريان الزمن _وفق مبادئ النظرية النسبية_ في حركة ميكانيكية وفق مبادئ الميكانيكا الكلاسيكية[12]. بحيث يمكن متابعتها على مقياس عياني وفي هيئة ساعة تماثل الساعة التناظرية الشائعة التي نستخدمها لقياس الوقت، وكذلك هَدفَ البحث لقياس وتَتَبع المعدل المتصل لجريان الزمن عند الظروف والمتغيرات التي حددتها النظرية النسبية، وإيجاد المفهوم الفيزيائي الذي تقوم عليه أداة هذا القياس.

اخترتُ الساعة التناظرية دون غيرها لأن مبدأ القياس فيها يقوم على متابعة حركة ميكانيكية وتتبع معدل تغير الموضع المكاني لأجزاء الساعة[3,7]. وهو ما يتصل بالمفهوم الفيزيائي الاساسي للزمن، المتمثل في علاقة السرعة بالمسافة والزمن[1,12]. حيث يشترك في هذا المفهوم كُلٌ من الميكانيكا الكلاسيكية [12] والنظرية النسبية[1]. وفي ذات الوقت يربطنا هذا القياس المبني على ملاحظة التغير المكاني لأجزاء الساعة، بالعلاقة غير المنفصلة بين المكان والزمان المتمثلة في مفهوم مصطلح الزمكان في النظرية النسبية[1,6]. وهو المفهوم الذي ينبني عليه مبدأ تغير معدل جريان الزمن الذي يقيسه المراقبون من ظرف فيزيائي لأخر[1] وفق ما بينه ألبرت أنشتاين في النظرية النسبية[6]؛ إذ أن ذلك المبدأ هو حقل هذا البحث.

أجريتُ هذا البحث باستخدام المنهج الوصفي التجريبي لأُقدِم للقارئ الباحث، مادة واضحة المعالم ومبنية على وقائع تجريبية مباشرة، كما أنه أمكن لي البرهان عليها رياضياً، مراعياً اتساق الجانب النظري الفيزيائي، والرياضي، والتجريبي في هذه الورقة.

بدأتُ البحث بفرض أن هنالك علاقة تناظُر بين سلوك جسمين يتحركان حركة دورية دائرية مُنتظمة، وبين معدل جريان الزمن وفق النظرية النسبية. وأن ذلك سيحدث في حين قيامنا بضبط هذه الحركة للجسمين وفق معادلات تباطؤ الزمن في

النظرية النسبية[1,6,11]. ومن ثم أوجدتُ الصِيغة الرياضية التي تحقق هذه الفرضية، وقمتُ بإجراء تجربة أُطبق فيها هذه الصيغة على حركة الجسمين، وقد أعطتْ التجربة قيم قياس صدَّقتْ هذا الحَدْس. كما أوجدتُ صيغة رياضية لحساب نتائج التجربة.

وصِغتُ مجموع ما يصف ويربط هذه الحركة ويحدد علاقاتها مع المتغيرات في معادلات تباطؤ الزمن في النظرية النسبية لألبرت أنشتاين[1,6]، صغتها في قانون فيزيائي رأيتُ أن اسميه قانون الساعات النسبية؛ في إشارة للغرض والفائدة منه.

وللبرهان العملي على هذه الفكرة وتطبيقها، فقد قمت بصناعة ساعة خاصة لهذا القياس، وقد اكتمل توثيقها في بيانات المنظمة العالمية للملكية الفكرية ومنحت رقمي إيداع ونشر دوليَّن[2]. ويقوم اساس فكرتها على استخدام مبدأ التناظُر بين حركة الجسمين الدائرية وفق وصفها في قانون الساعات النسبية، وبين معدل جريان الزمن الذي يقيسهُ الراصِد بالنسبة لزمنهُ الخاص. استخدام ذلك المبدأ لضبط آلية قياس مرور الزمن في الساعة وحركة أجزائها الميكانيكية، وفق المتغيرات النسبية.

وقد اعتمدتُ معادلات تباطؤ الزمن كما حددتها النظرية النسبية بشِقِيها الخاصة والعامة.[6,9,11] . وستحتوي هذه الورقة على تفصيل فكرة هذه الساعة ومبدأ القياس فيها وغرضها وأهدافها.

وخلَص البحث إلى عدة استنتاجات ملخصها صدق قانون الساعات النسبية. وتوافق نتائج قياس المعدل المتصل لجريان الزمن الذي أعطته الساعة موضع التجربة مع معادلات تباطؤ الزمن في النظرية النسبية.

مشكلة البحث واسئِلتهُ وفرضياتهُ.

أ- تتلخص مشكلة هذا البحث في:

1. عدم وجود أداة قياس زمنية توظف التناظر بين حركة دورية دائرية منتظمة ضمن فضاء الميكانيكا الكلاسيكية، وبين معدلات تباطؤ الزمن في النظرية النسبية. بحيث يمكن أن يستخدمها المراقب الخارجي لتعطيه قراءة لقياس معدلات تدفق الوقت المختلفة من ظرف مكاني لأخر، وفق ما حددهُ ألبرت أنشتاين في النظرية النسبية.
2. عدم وجود قانون يقوم بتوظيف التناظر بين حركة دورية دائرية منتظمة ضمن فضاء الميكانيكا الكلاسيكية، وبين معدلات تباطؤ الزمن في النظرية النسبية. بحيثُ يُمكِن تطبيقه على الساعات التناظرية والمستخدمة بكثرة لقياس الوقت، لتعطي مؤشراتها تتبع لمعدل جريان الزمن وفق المتغيرات المحددة في معادلات تباطؤ الزمن في إطار النظرية النسبية.

ب- اسئلة البحث

- هل هناك إمكانية لصناعة ساعة توظف التناظر بين حركة دورية دائرية منتظمة ضمن فضاء الميكانيكا الكلاسيكية، وبين معدلات تباطؤ الزمن في النظرية النسبية، كآلية لضبط إيقاع الزمن داخلها، بحيثُ يمكن أن يستخدمها المراقب الخارجي لتعطيهِ قراءة لقياس معدلات تدفق الوقت المختلفة من ظرف مكاني لأخر؟

- هل هنالك إمكانية لصياغة قانون فيزيائي يقوم على تناظر بين حركة دورية دائرية منتظمة ضمن فضاء الميكانيكا الكلاسيكية، وبين معدلات تباطؤ الزمن في النظرية النسبية. بحيثُ يُمكِن تطبيقه على الساعات التناظرية المستخدمة بكثرة لقياس الوقت، لتعطي مؤشراتها قياس وتتبع مستمر لمعدل جريان الزمن وفق النظرية النسبية؟

ج- فرضيات البحث:

1- وجود علاقة تناظر بين حركة دائرية دورية منتظمة لجسمين في فضاء الميكانيكا الكلاسيكية، وبين معدلات تباطؤ الزمن في النظرية النسبية.

2- إمكانية استخدام هذه العلاقة في الفرضية السابقة، لإيجاد ساعة يمكنها أن تعطينا مُعدل تدفُق الزمن النِسبي وفق المتغيرات التي تحددها النظرية النسبية في معادلات تباطؤ الزمن.

د- أهمية البحث:

تتمثل أهمية وأهداف هذا البحث في:

1. إيجاد علاقة التناظر بين معدل تدفق الزمن وفق معادلات النظرية النسبية، وبين حركة دورية دائرية منتظمة لجسمين ضمن فضاء الميكانيكا الكلاسيكية.
2. توظيف هذه العلاقة أعلاه لِصُنع أداة قياس زمنية تُمكِّن من تتبع معدل تدفق الزمن النسبي وفق المتغيرات التي حددتها النظرية النسبية.
3. إيجاد تجربة معملية علمية لطلاب الفيزياء، لفهم العلاقة بين معدل تدفق الزمن النسبي ومتغيرات السرعة النسبية أو الكتلة والمسافة من مركز الكتلة. وإجراء القياس الزمني في معامل الفيزياء بهذه الأداة، جداول (1) (2) (3)، التي يقدمها البحث. ومن ثم رسم المنحنيات التي توضح ظاهرة تباطؤ الزمن مع هذه المتغيرات شكل (9).
4. نشر مفهوم المتصل الزماني_المكاني (الزمكان)[1,6] على نطاق واسع، وكذلك التعريف بمبدأ اختلاف القياس الزمني والمكاني المرتبط بنسبية القياس للمراقب[4,5] وفق المعادلات التي حددتها النظرية النسبية[6,11]؛ التعريف به على نطاق واسع وبصورة محسوسة على أداة قياس يمكن استخدامها ومعاينتها بيُسر.
5. إثراء فضاء المعرفة، ونشر مبدأ تَقيُّد القياس لكل من الزمن والطول المتري[1,6]، بالمتغيرات المحددة في النظرية النسبية. وذلك بالتهيئة لصنع أداة قياس تستصحب هذا الواقع الجديد معها.

هـ- محددات البحث

وترتكز على محورين: **المحور الأول:** حدود القيم الفيزيائية التي يعمل عليها هذا البحث:

1. يلتزم هذا البحث بحدود لقياس تباطؤ الزمن، نتيجة لقَصر تعامله مع السرعات العالية جداً (في حدودها الدنيا تساوي 10000 KM/S)ومع الكتل الكبيرة جداً أو ذوات أنصاف الأقطار الصغيرة نسبياً مقارنة مع كتلتها الضخمة.

واشتراط وجود قياس ملحوظ لتباطؤ الزمن في هذا البحث، يتقيد بقِيم السرعات النسبية العالية والكتل الكبيرة جداً بالنسبة للظرف الفيزيائي للمراقب.

2. يُحَد هذا البحث أيضا ويعطي قيم للقياس بحدود عليا للسرعات النسبية وهي سرعة الضوء في الفراغ، حيث تعتبر أعلى سرعة يمكن الوصول إليها في كوننا المرئي، وهي ثابت طبيعي مُستقل عن حالة المراقب، يمثل العلاقة بين المكان والزمان في النظرية النسبية[1].

3. وأيضا حدود حقل عمل هذا البحث عند الأجرام عظيمة الكتلة والتي تتحول إلى ظاهرة الثقوب السوداء التي تمثل كتلة عظيمة جداً مركَّزة ومنضغطة في المركز وتحيط بها منطقة تعرف بأفق الحدث[11]. حدوده هي نصف قطر شفارتزشيلد (Schwarzschild)[11] الذي يعطي بالمعادلة:

$$r_s = \frac{2GM}{C^2}$$

حيث: r_s ≡ نصف قطر شفارتزشيلد

G ≡ ثابت التثاقل الكوني

M ≡ كتلة الثقب الاسود

C ≡ سرعة الضوء في الفراغ

المحور الثاني: يتحدد حقل هذا البحث في نطاق إيجاد أداة قياس يمكن أن يستخدمها المراقب الخارجي لمعرفة معدل تدفق الوقت في الإطار المحدد الذي يراقبه. حيث أن الأدوات التجريبية له غير قائمة على مبدأ تحريك أداة القياس الزمنية نفسها بسرعات عالية ثم ملاحظة فرق التوقيت مثلما تمت تجارب الساعة الذرية، أو وضع أداة القياس في مجال جاذبية عالي ومن ثم متابعة التأثير عليها[5].

بل إطار عمل هذا البحث هو استخدام التناظر الذي سيتم تفصيله في قانون الساعات النسبية للتحكم في آلية ضبط إيقاع الزمن داخل الساعة أداة القياس. انطلاقا من أن هذا التناظر مبني على قوانين تباطؤ الزمن في النظرية النسبية، وهي ما قد تم التأكد من صدقها بتجارب سابقة لهذه الدراسة[4,5].

2- مواد البحث وطرائقهُ

أ- الإطار النظري والدراسات السابقة

القاعدة الاساسية للإطار النظري لهذا البحث، هي النظرية النسبية. وهي النظرية التي اسست لمفهوم تغير معدل جريان الزمن[1,4] حيث بينت النظرية النسبية الخاصة تغير معدل تدفق الزمن الذي يلاحظه المراقب من إطار مرجعي قصوري يتحرك بسرعة عالية إلى أخر له سرعة مختلفة وفق المعادلة التالية[1,4,12]:

$$T' = \frac{T_\circ}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

حيث:

T' ≡ الزمن المتباطئ نتيجة لتحرك إطار مرجعي قصوري بسرعة v بالنسبة للمراقب

$T_\circ$ ≡ الزمن الذي يقيسه المراقب في إطاره المرجعي الساكن بالنسبة له.

v ≡ سرعة الإطار المرجعي القصوري المتحرك بالنسبة للإطار المرجعي للمراقب.

c ≡ ثابت سرعة الضوء في الفراغ.

وكذلك قد بينت النظرية النسبية العامة تغير معدل تدفق الزمن الذي يلاحظه مراقب خارجي يتواجد على كتلة صغيرة، عن معدل تدفق الزمن في كتلة ضخمة بالنسبة له[1,4]، وكذلك اختلاف الزمن حسب البعد من مركز الكتلة[3,11] وفق المعادلة التالية[9,12]:

$$T' = \frac{T_\circ}{\sqrt{1 - \frac{2GM}{Rc^2}}}$$

حيث:

T' ≡ الزمن المتباطئ نتيجة للوجود في مجال جاذبية كتلة كبيرة بالنسبة للمراقب

$T_\circ$ ≡ الزمن الذي يقيسه المراقب في إطاره المرجعي

G ≡ ثابت التثاقل الكوني

M ≡ مقدار الكتلة المسببة لتباطؤ الزمن

R ≡ نصف قطر الكتلة

c ≡ ثابت سرعة الضوء في الفراغ

حيث أن ذلك الاختلاف في قياسات المراقبين يعود إلى الطبيعة الأصيلة في المكان والزمان وليس لخلل في أدوات القياس لدينا، كما أوضح ألبرت أنشتاين (Albert Einstein) في أبحاثه[1]، وكما أيدت ذلك وأكدته العديد من البحوث اللاحقة لوضع النظرية النسبية[4,5]، كما أشرتُ واستشهدتُ بمثالين في مقدمة البحث. وكذلك اعتمد البحث على تحويلات لورنتز للعالم الفيزيائي هندرك أنطون لورنتز (Hendrik Antoon Lorentz)[11].

كما اعتمد البحث أيضاً على مفهوم الحركة الدائرية في الميكانيكا الكلاسيكية[12]. والميكانيكا الكلاسيكية هي فرع من الفيزياء يتعامل مع السرعات البطيئة نسبياً، ومع الأجسام في المستوى فوق الذري[12] (حيث تتبع الجُسيمات الصغيرة جداً سلوك تتولى دراسته ميكانيكا الكَم[12]). وتعتمد هذه الورقة أيضا على مفهوم الحركة الدورانية المنتظمة حيث يتحرك الجسم كوحدة واحدة بسرعة منتظمة حول مركزهُ[12].

أيضا ترتكز هذه الورقة من مجال الرياضيات على جزئية المتتاليات الهندسية، ومجموع المتتالية الهندسية اللانهائية التي اساسها أقل من الواحد الصحيح[8].

واعتمد البحث على علم قياس الزمن ,وقوانين القياس الزمني في الساعات الميكانيكية والتناظرية[3,7].

إن الإطار النظري لهذه الورقة يتحدد بناءً على الاسس النظرية في هذه الدراسات السابقة التي ذكرت والمبادئ العلمية القائمة عليها. وفي محيط هذا الإطار النظري كوَنتُ الطريقة التي تم إتباعها لاختبار صحة الفروض التي انطلقت منها البحث، تلك الطريقة القائمة على المنهج التجريبي والوصفي والبرهان الرياضي في تكوينها.

ب- مصطلحات البحث وتعريفاتهُ

الزمكان SPACETIME: هو فضاء رياضي رباعي الأبعاد للمتصل الزماني_المكاني حيث يتعامل مع المكان والزمان على اعتبار أنهما مكون واحد يصطلح عليه بالكلمة المنحوتة من لفظيهما (الزمكان) وتُحدد كل حادثة فيه بأربعة أبعاد، ثلاثة أبعاد مكانية وبعد واحد زمني[1,11].

تباطؤ الزمن TIME DILATION: هو اختلاف قياس الزمن الذي تسجله ساعة مراقب خارجي عن الزمن الذي يلاحظه في ساعة إطار متحرك بسرعة عالية جداً بالنسبة له، أو على كتلة كبيرة نسبياً، وهذا التمدد في الزمن يرجع إلى طبيعة أصيلة في فضاء الزمكان نفسه وليس لخلل في أدوات القياس[1,5,6].

النظرية النسبية الخاصةSPECIAL THEORYOF OF RELATIVITY: هي نظرية فيزيائية للقياس في إطار مرجعي قصوري، قدمها ألبرت أنشتاين لمعالجة المشاكل التي واجهت ميكانيكا نيوتن وتحويلات جاليلو في تفسير ثبات سرعة الضوء بغض النظر عن سرعة المراقب، وأهم نتائجها تمدد الزمن وتقلص الأطوال عند السرعات العالية. وسميت خاصة لأنها تتجاهل الحركة تحت تأثير عجلة أو في خطوط غير مستقيمة وتتجاهل تأثير الثقالة وهذه الأمور هي ما عالجتها النظرية النسبية العامة[1,6].

النظرية النسبية العامة GENERAL THEORYOF OF RELATIVITYهي نظرية تقدم الجاذبية كخاصية هندسية للمكان والزمان معا (الزمكان) وتربط انحناء الزمكان بالطاقة والزخم، ويهتم هذا البحث منها بجزئية تباطؤ الزمن بسبب جاذبية الكتل الكبيرة بالنسبة لمراقب خارجي [1,6,11].

الزمن النسبي RELATIVE TIME: هو مصطلح وجد ليحل مكانة الزمن المطلق الذي كنا نتصور أنه يجري بمعدل ثابت في كل أرجاء الكون بمعزل عن الأحداث، وقدمت النظرية النسبية مصطلح الزمن النسبي ليدل على نسبية قياسنا لمعدل جريان الزمن حسب حالة المراقب الفيزيائية من موضع القياس. كما فصلت ذلك معادلات النظرية النسبية[1,6].

الساعة:CLOCK هي أي جهاز أو أداة تستخدم لقياس وحفظ الوقت والإشارة إليه[3,7].

الساعة التناظرية:ANOLOG CLOCK هي الساعة المبنية على حركة ميكانيكية لمؤشرات قياس الزمن وتتكون في شكلها الشائع من عقرب للثواني وعقرب للدقائق وأخر للساعات بحيث تشير هذه المؤشرات لتدريج مرقم في ميناء الساعة لتؤخذ قراءة الزمن حسب الرقم الذي يحاذيه كل مؤشر[3,7].

تقلص الطول LENGTH CONTRACTION: هو مصطلح قدمته النظرية النسبية يعني اختلاف قياس الطول المتري، ويرتكز على تحويلات لورنتز التي تقضي بتقلص طول الأجسام عندما تتحرك بسرعات عالية تقترب من سرعة الضوء[1,4,12].

ج- نص قانون الساعات النسبية.

الجزء الأول: التناظر في الحركة الميكانيكية الكلاسيكية الدائرية لمعدل جريان الزمن عند السرعات العالية.

(إذا تحرك جسمان حركة دورية دائرية منتظمة على مُحِيطَي دائرتين لهما نفس المركز وعلى مستوى واحد، وكانا متموضعين على نفس الخط المستقيم المار بمركز الدائرتين، وبدأت حركتهما في ذات اللحظة وفي نفس الاتجاه، وتحرك الجسم الأول بسرعة قدرها واحد دورة في وحدة زمنية $\{v_1 = 1\text{cycle/unit time}\}$ وتحرك الجسم الثاني بسرعة قدرها $\{v_2 = (1 - \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}})\ \text{cycle/unit time}\}$ دورة في ذات الوحدة الزمنية للجسم الأول (حيث: C ثابت سرعة الضوء وV السرعة التي يتحرك بها إطار مرجعي قصوري بالنسبة للإطار المرجعي القصوري الذي يوجد به الجسمين معاً) فإن الجسمين يتحاذيان تماماً مرة ثانية (يصبحان على خط مستقيم واحد يمر بمركز الدائرتين) في وقت يساوي الزمن المتباطئ نتيجة لتحرك الإطار المرجعي القصوري ذو السرعة V.

إذا اتخذ الجسم الثاني شكل حلقة دائرية متصلة ومن مادة صلبة على مسار حركته، مركزها نفسه مركز المسار الدائري للجسمين. وأخذ الدوران بنفس السرعةV_2 فإن الجسم الأول يمر على كل النقاط التي تقسم الجسم الثاني لمسافات متساوية، يمر عليها بمعدل جريان الزمن في الإطار المرجعي القصوري المتحرك بالسرعة V) .

الجزء الثاني: التناظر في الحركة الميكانيكية الكلاسيكية الدائرية لمعدل جريان الزمن عند الكتل الضخمة

(إذا تحرك جسمان حركة دورية دائرية منتظمة على مُحِيطَي دائرتين لهما نفس المركز وعلى مستوى واحد، وكانا متموضعين على نفس الخط المستقيم المار بمركز الدائرتين، وبدأت حركتهما في ذات اللحظة وفي نفس الاتجاه، وتحرك الجسم الأول بسرعة قدرها واحد دورة في وحدة زمنية $\{v_1 = 1\text{cycle/unit time}\}$وتحرك الجسم الثاني بسرعة قدرها $\{v_2 = [\ 1 - \sqrt{1 - \frac{2GM}{Rc^2}}\ ]\ \text{cycle/unit time}\}$دورة في ذات الوحدة الزمنية للجسم الأول (حيث: G ثابت التثاقل الكوني، وc ثابت سرعة الضوء في الفراغ، وM الكتلة التي نقيس عليها تباطؤ الزمن، وR بعد نقطة القياس من مركز الكتلة) فإن الجسمين يتحاذيان تماماً مرة ثانية (يصبحان على خط مستقيم واحد يمر بمركز الدائرتين) في وقت يساوي الزمن المتباطئ نتيجة للوجود في مجال جاذبية الكتلة M وعلى بعد نصف القطر R من مركزها.

إذا اتخذ الجسم الثاني شكل حلقة دائرية متصلة ومن مادة صلبة على مسار حركته، مركزها نفسه مركز المسار الدائري للجسمين، فإن الجسم الأول يمر على كل النقاط التي تقسم الجسم الثاني لمسافات متساوية، يمر عليها بمعدل جريان الزمن _الذي يلاحظه راصد خارجي_ عند الكتلة M وعلى بعد نصف القطر R من مركزها).

الجزء الثالث: قراءة تقلص الطول عند السرعات النسبية العالية من خلال تناظر الحركة الدائرية الكلاسيكية.

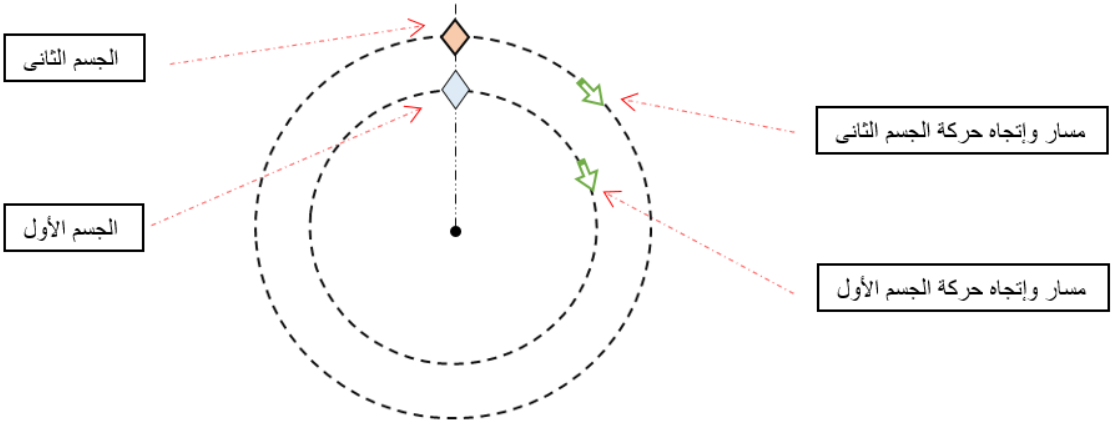
(إذا تحرك جسمان حركة دائرية منتظمة على مُحِيطَي دائرتين لهما نفس المركز وعلى مستوى واحد، وكانا متموضعين على نفس الخط المستقيم المار بمركز الدائرتين، وبدأت حركتهما في ذات اللحظة وفي نفس الاتجاه، وتحرك الجسم الأول بسرعة قدرها واحد دورة في وحدة زمنية $\{v_1 = 1\text{cycle/unit time}\}$وتحرك الجسم الثاني بسرعة قدرها $\{v_2 = [\ 1 - \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\ ]\ \text{cycle/unit time}\}$ دورة في ذات الوحدة الزمنية (حيث: c ثابت سرعة الضوء وv السرعة التي يتحرك بها إطار مرجعي قصوري بالنسبة للإطار المرجعي القصوري الذي يوجد به الجسمين معاً).

فإنه إذا قمنا بمراقبة حركة الجسم الثاني على إطار دائري ثابت موضوع بجانبه ومقسم الى 100 قوس صغيرة متساوية؛ فسيقطع الجسم الثاني دائماً عدد من الأقواس في الوحدة الزمنية التي يكمل فيها الجسم الأول دورة كاملة، بحيث يكون العدد المتبقي من الأقواس ليكمل الجسم الثاني دورة كاملة، مساوي لعدد السنتمترات التي يتقلص لها طول المتر الواحد عند السرعة V).

سنصطلح على تسمية ما ذكر: (قانون الساعات النسبية). وتم اشتقاق معادلاته من معادلات النظرية النسبية لألبرت أنشتاين والتي تعامل الزمان والمكان كمتصل زماني_مكاني (الزمكان)[6,11] . بهذا يمكننا تطبيق هذا القانون بالتحكم في حركة جسمين، لتتبع معدل جريان الزمن في إطار مرجعي قصوري متحرك بسرعة نسبية عالية[1,6]،

ح/ البرهان:

نفترض وجود جسمين يتحركان حركة دائرية منتظمة على محيطي دائرتين لهما نفس المركز شكل (1) وقيمتا القطر لهما قريبة من بعضها.



شكل(1) جسمان يتحركان حركة دائرية منتظمة على محيط دائرتين متحدتي المركز وعلى مستوى واحد ويتموضعان على ذات الخط المستقيم المار بالمركز.

نفترض أن الجسم الأول يتحرك بسرعة ثابتة ليكمل دورة كاملة في وحدة زمنية معينة نختارها، ونفترض أن الجسم الثاني يتحرك بسرعة ثابتة تكون دائماً أقل من دورة واحدة في نفس الوحدة الزمنية. ونَفرِض أن الجسمين انطلقا من نقطتين على ذات الخط المستقيم الذي يمر بمركز الدائرتين اللّتين تمثلان مسار حركة الجسمين (أي أن الجسمين كانا متحاذيين تماماً في البداية)، وابتدأت حركتهما في ذات اللحظة وفي نفس الاتجاه.

ثم نأتي لمراقبة سلوك الجسمين في عدة نقاط وعلى فترات زمنية مختلفة وندرس قربهما من التحاذي مرة ثانية (أي أن يصبح الجسمين مرة أخرى على خط مستقيم واحد يمر بمركز الدائرتين)

ولفعل ذلك نختبر مواضع الجسمين بالنسبة لبعضهما عند قيم مختلفة لسرعة الجسم الثاني.

نضع سرعة الجسم الأول تساوي دورة واحدة لكل وحدة زمنية:

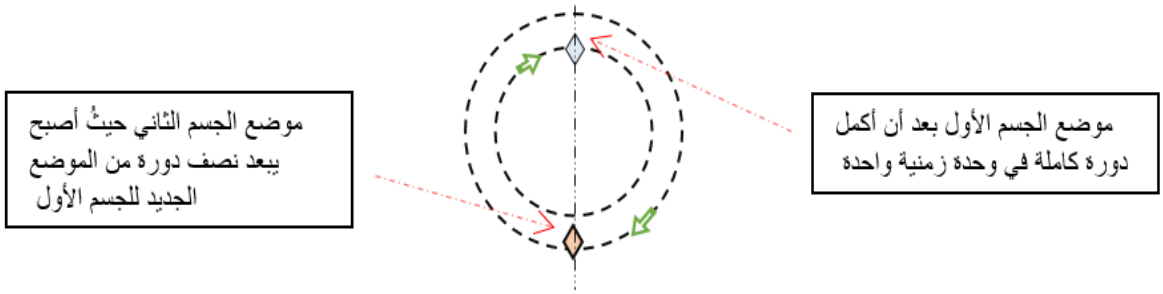
$$v_1 = 1 cycle/unit\ time \quad \text{Eq 1}$$

ثم نختبر سلوك الجسمين وندرس قربهما من التحاذي عند عدة سرعات للجسم الثاني:

1- **إذا كانت سرعة الجسم الثاني نصف دورة** في الوحدة الزمنية التي تم اختيارها والتي يكمل فيها الجسم الأول دورة كاملة

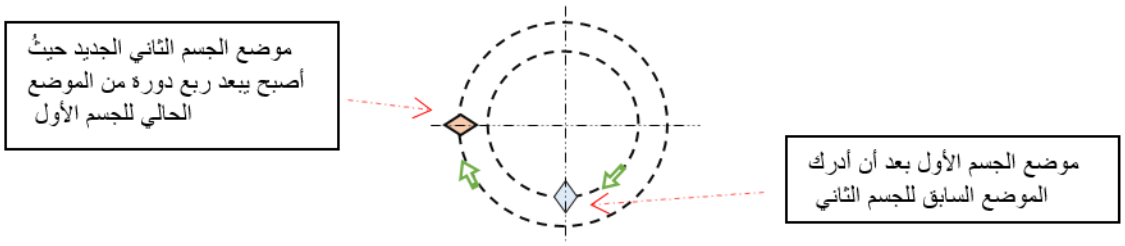
$$v_2 = \frac{1}{2} cycle/unit\ time \quad \text{Eq 2}$$

أ- فإنه عندما يكمل الجسم الأول دورة كاملة ويعود لموضعه الابتدائي يكون الجسم الثاني قد تحرك مبتعداً مسافة نصف دورة عن موضع الجسم الأول الجديد. شكل (2).



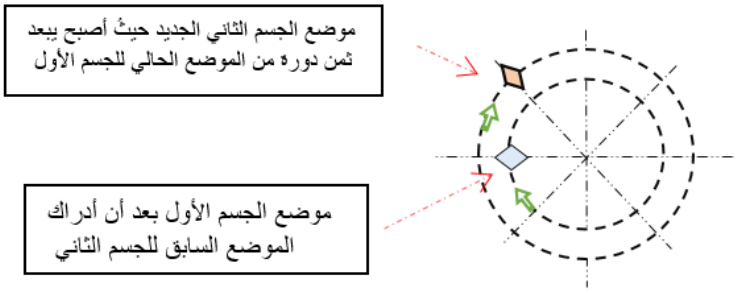
شكل (2) يوضح موضع الجسمين الأول والثاني بعد أن يكمل الجسم الأول دورة كاملة

ب- عندما يواصل الجسم الأول في مساره ليدرك موضع الجسم الثاني ويتحرك نصف دورة، يكون الجسم الثاني قد تحرك وابتعد منه مسافة ربع دورة. شكل (3).



شكل (3) يوضح موضع الجسمين الأول والثاني بعد أن استمر الجسمان في ذات الحركة وأضاف الجسم الأول نصف دورة

ج- وعندما يواصل الجسم الاول في حركته ويقطع ربع دورة يكون الجسم الثاني قد قطع في هذه المدة ثمن دورة شكل (4)... وهكذا.



شكل (4) يوضح موضع الجسمين الأول والثاني بعد أن استمر الجسمين في ذات الحركة وأضاف الجسم الأول ربع دورة

وبذلك يمكننا كتابة مجموع الزمن الذي يأخذه الجسم الأول ليحاذي الجسم الثاني من جديد كالآتي:

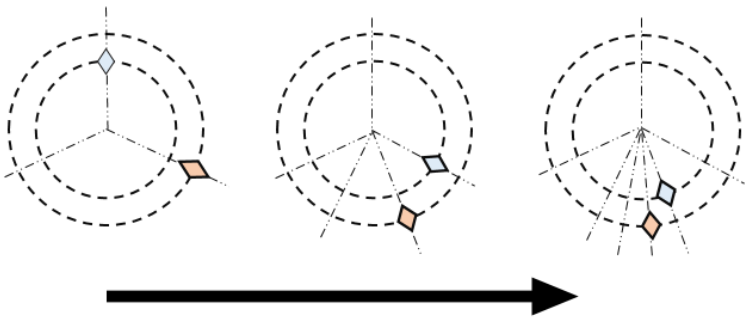
$$1+\frac{1}{2}+\frac{1}{4}+\frac{1}{8}+\frac{1}{16}+\frac{1}{32}+\cdots+\cdots+\cdots$$

2/ أما إذا كانت سرعة الجسم الثاني ثلث سرعة الجسم الأول شكل (5) .

$$V_2=\frac{1}{3}cycle/unit\ time \quad \text{Eq 3}$$

أي يقطع مسافة ثلث دورة في الوحدة الزمنية التي يكمل فيها الجسم الأول دورة كاملة، وبنفس تسلسل الطريقة أعلاه في النقاط (أ، ب، ج) سنجد أن مجموع الزمن الذي يحتاجه الجسم الأول ليحاذي الجسم الثاني من جديد يساوي:

$$1+\frac{1}{3}+\frac{1}{9}+\frac{1}{27}+\frac{1}{81}+\cdots+\cdots+\cdots$$



شكل (5) يوضح تسلسل موضع الجسمين الأول والثاني إذا كانت سرعة الجسم الثاني ثلث سرعة الجسم الأول

3/ أما إذا كانت سرعة الجسم الثاني عُشر سرعة الجسم الأول

$$V_2 = \frac{1}{10} cycle/unit\ time \qquad \text{Eq 4}$$

فمجموع الزمن الذي يحتاجه الجسم الأول ليدرك الجسم الثاني:

$$1 + \frac{1}{10} + \frac{1}{100} + \frac{1}{1000} + \frac{1}{10000} + \cdots + \cdots + \cdots$$

وهكذا... ومن هذه المجاميع الثلاثة الناتجة من المعادلات (2) (3) (4) نلاحظ أن مجموع هذا الزمن عبارة عن مجموع متتالية هندسية لا نهائية حدها الأول يساوي الواحد الصحيح واساسها أقل من الواحد. وقانون مجموع المتتالية الهندسية من هذا النوع هو[8]:

$$S = \frac{A}{1-r} \qquad \text{Eq 5}$$

حيث:

مجموع المتتالية ≡ S

الحد الأول من المتتالية ≡ A

اساس المتتالية الهندسية ≡ r

وبما أن A هنا تساوي الواحد الصحيح لأن الحد الأول من المتتالية حسب ما جاء في النقاط 1 و2 و3 يساوي الواحد الصحيح إذاً:

$$S = \frac{1}{1-r} \qquad \text{Eq 6}$$

لكن سنلاحظ من المتتاليات الثلاثة أن اساس المتتالية دائماً هو سرعة الجسم الثاني بالنسبة لسرعة الجسم الأول والتي هي دائماً كسر أقل من الواحد إذاً:

$$r = \frac{v_2}{v_1} \qquad \text{Eq 7}$$

حيث:

v_2 ≡ عدد دورات الجسم الثاني في وحدة زمنية واحدة

v_1 ≡ عدد دورات الجسم الأول في وحدة زمنية واحدة

ومن تعويض المعادلة (7) في المعادلة (6) نخلص إلى:

$$S = \frac{1}{1-\frac{v_2}{v_1}} \qquad \text{Eq 8}$$

ومن فرض البحث الاساسي (أي أن هنالك علاقة تناظر بين حركة ميكانيكية كلاسيكية دئرية منتظمة لجسمين وبين تحويل لورنتز لتباطؤ الزمن)، من هذا الفرض نعتبر أن مجموع هذا الزمن الذي يحتاجهُ الجسمان ليتحاذيان مرة ثانية، يساوي فترة الوحدة الزمنية الواحدة التي يقيسها الراصد بعد أن يحدث لها التباطؤ نتيجة لتحرك الإطار المرجعي القصوري الذي يراقبه بسرعة v.

ونحن نعلم أن تحويل لورنتز الذي يعطي تباطؤ الزمن في الإطار المرجعي القصوري المتحرك بالسرعةv يساوي [4,12]:

$$T' = \frac{T_\circ}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad \text{Eq 9}$$

حيث:

T' ≡ الزمن المتباطئ نتيجة لتحرك إطار مرجعي قصوري بسرعة v بالنسبة للمراقب

T_0 ≡ الزمن الذي يقيسه المراقب في إطاره المرجعي الساكن بالنسبة له

v ≡ سرعة الإطار المرجعي القصوري المتحرك بالنسبة للإطار المرجعي للمراقب

c ≡ ثابت سرعة الضوء في الفراغ

من فرضية البحث أعلاه نقوم بمساواة المعادلة (9) بالمعادلة (8) أي نضع $T' =$ حينها سنجد:

Eq 10
$$\frac{T_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{1-\frac{v_2}{v_1}}$$

نلاحظ أن الحد الأول من المتتالية الهندسية (S) دائماً هو الزمن الذي يكمل فيه الجسم الأول دورة كاملة، وبما أننا اعتبرنا منذ البداية أن الجسم الأول يكمل دورة كاملة في وحدة زمنية قياسية؛ إذاً الحد الأول هو وحدة الزمن السكوني الذي نقيسه جميعنا بساعاتنا العادية في الإطار المرجعي الذي نوجد فيه.

إذاً من هذا نجد:

Eq 11
$$1\ unit\ time = T^{\circ}$$

وبوضع قيمة T° من المعادلة (11) في المعادلة (10) نجد أن:

Eq 12
$$\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{1-\frac{v_2}{v_1}}$$

ومن ذلك نجد:

Eq 13
$$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = 1-\frac{v_2}{v_1}$$

وبوضع $\frac{v_2}{v_1}$ موضع القانون

Eq 14
$$\frac{v_2}{v_1} = [\ 1-\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}\ ]$$

إذاً $\frac{v_2}{v_1}$ هي النسبة بين سرعة جسمين يتحركان حركة دائرية منتظمة على محيطي دائرتين لهما نفس المركز وتبدأ حركتهما معاً في ذات اللحظة ومن موضعهما على نفس الخط المستقيم المار بالمركز؛ هي النسبة التي تجعل الجسم ذو السرعة v_1 يحاذي الجسم ذو السرعة v_2 مرة أخرى (أي يصبحان مرة أخرى على خط مستقيم واحد يمر بالمركز) في زمن يساوي زمن تباطؤ الوحدة الزمنية القياسية _التي نختارها ليكمل عندها الجسم ذو السرعة v_1 دورة كاملة_ نتيجة لتحرك إطار مرجعي قصوري بالسرعة v بالنسبة للمراقب.

ولكن الشرط الملزم لكي تؤدي هذه النسبة لقياس صحيح هو أن تساوي v_1 _وهي السرعة التي يتحرك بها الجسم الأول_ الواحد الصحيح، لأن ذلك يمثل الشرط الذي بني عليه تسلل هذا البرهان من المعادلة (1) وبذلك تصبح المعادلة (14) في الصورة:

Eq 15
$$\frac{v_2}{1} = [\ 1-\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}\ ]\ cycle/unit\ \text{time}$$

والمعادلة (15) هي التي توضح التناظر بين حركة هذين الجسمين وبين معادلة تباطؤ الزمن، حيث كل سرعة نسبية مهما كانت. تقابلها قيمة وحيدة فقط من عدد دورات الجسم الثاني تساوي v_2 وعند تعويض سرعة الضوء في المعادلة فستقابلها قيمة وحيدة هي الواحد الصحيح. ولكن قيمة v_1 هنا ثابت يساوي الواحد الصحيح. إذاً سرعة الضوء تناظر سرعة الجسم الأول في هذه الحركة وكلاهما ثابت، وكل سرعة نسبية أخرى تناظر سرعة الجسم الثاني في هذه الحركة.

إذا من المعادلة (15) فإن v_2 هي السرعة التي يجب أن يتحرك بها الجسم الثاني وفق ما هو منصوص عليه في قانون الساعات النسبية ليعطي حينها زمن تحاذي المؤشر _الجسم الأول_ لهذا الجسم، قراءة قياس الزمن المتباطئ نتيجة لتحرك الإطار المرجعي القصوري بسرعة v بالنسبة للمراقب.

أي هذه عدد الدورات التي يكملها الجسم الثاني في وحدة الزمن ليحاذيه الجسم الأول مرة ثانية بعد زمن قدره T'

وبذلك من المعادلات (15) و(12) و(10) و(1) يمكننا أن نستخلص

$$T' = \frac{1}{1-V_2} \qquad \text{Eq 16}$$

والمعادلة (16) هي تنبؤ نتيجة قياس التجربة وفق الساعة التي يتم استخدامها هنا.

ويمكننا أن نختبر ذلك عند الشروط الحدية للمعادلة (15) **فعندما $v = 0$ meter/sec نجد أن:**

$$v_2 = \left[1 - \sqrt{1 - \frac{0}{c^2}}\right] \quad cycle/unit\ time \qquad \text{Eq 17}$$

اذا عندما $v = 0$ تكون $v_2 = 0\ cycle/unit\ time$ وبتعويض هذا في المعادلة (16) سنجد الزمن المتباطئ يساوي وحدة زمنية واحدة (أي $T' = T^{\circ}$) لأنه في هذه الحالة سيكون الجسم الثاني ساكناً وسيحاذية الجسم الأول (أي المؤشر) مرة أخرى بعد دورة كاملة واحدة فقط (أي بعد وحدة زمنية واحدة) وهو نفس قياس الساعة العادية[3,7] التي نقرأ بها زمننا الخاص في الإطار الذي نوجد عليه والثابت بالنسبة لنا[1,6].

أما عندما $v = c$ نجد أن:

$$v_2 = [\,1 - \sqrt{1 - \frac{c^2}{c^2}}\,]\text{cycle/unit time} \qquad \text{Eq 18}$$

إذا v_2 ستصبح واحد دورة في الوحدة الزمنية، أي أن سرعة الجسم الثاني (رقم درجة القياس) ستساوي سرعة المؤشر تماماً، وفي هذه الحالة سيحتاج المؤشر زمن لانهائي ليغادر الجسم الثاني ويحاذيه مرة ثانية من جديد، وسنرى قراءة الساعة ثابتة على رقم واحد فقط، وهذا بالضبط ما وضحته النظرية النسبية عن سلوك الزمن عند التحرك بسرعة تساوي سرعة الضوء في الفراغ[1,6].

ونفس البرهان يُتبع للجزء من القانون الخاص بالنسبية العامة. انطلاقاً من المعادلة التي تعطي تباطؤ الزمن عند الوجود في مجال جاذبية الكتل الكبيرة[9,10,11].

$$T' = \frac{T_{\circ}}{\sqrt{1 - \frac{2GM}{Rc^2}}} \qquad \text{Eq 19}$$

حيث:

T' ≡ الزمن المتباطئ نتيجة للوجود في مجال جاذبية كتلة كبيرة بالنسبة للمراقب

$T_{\circ}$ ≡ الزمن الذي يقيسه المراقب في إطاره المرجعي

$G \equiv$ ثابت التثاقل الكوني

$M \equiv$ مقدار الكتلة المسببة لتباطؤ الزمن

$R \equiv$ نصف قطر الكتلة

$c \equiv$ ثابت سرعة الضوء في الفراغ

وبمساواة المعادلة (6) مع المعادلة (19) وبمتابعة نفس التسلسل السابق في هذا البرهان نجد أن

$$v_2 = [\,1 - \sqrt{1 - \frac{2GM}{Rc^2}}\,]\ cycle/unit\ \text{time} \qquad \text{Eq 20}$$

وv_2 هي عدد الدورات التي يجب أن يتحركها الجسم الثاني(أي درجات القياس في الساعة) ليحاذيه الجسم الأول (المؤشر) مرة ثانية من جديد بعد زمن يساوي الزمن المتباطئ _لوحدة القياس التي نأخذ بها_ على الكتلة التي مقدارها M وعلى بعد نصف قطر منها يساوي R.

وتكون الشروط الحدية للمعادلة (20) عندما تساوي R نصف قطر شفارتزشيلد (Schwarzschild) الذي يعطي بالمعادلة:[11]

$$R = r_s = \frac{2GM}{C^2}$$

فنجد أن $v_2 = [\,1 - \sqrt{1 - \frac{2GM}{\left(\frac{2GM}{C^2}\right)c^2}}\,]\ cycle/unit\ \text{time}$ Eq 21

وهذه المعادلة تعني أن عدد دورات الجسم الثاني ستساوي الواحد الصحيح مما يلزم الجسم الأول أن يدور عدد لا نهائي من الدورات لينتقل إلى أقرب درجة قياس تالية على الجسم الثاني وهذا يعني أقصى تمدد ممكن للزمن حيث لا تقرأ الساعة حينها أي مرور للزمن النسبي. وهذا يوافق معادلات النظرية النسبية للثقوب السوداء[5,11].

بالنسبة لتقلص الطول:

من معادلة تقلص الطول في النظرية النسبية[11,12]:

$$L = L_\circ \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \qquad \text{Eq 22}$$

وبأخذ $L_\circ$ تساوي وحدة الطول(أي تساوي واحد متر) نجد أن

$$L = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\ Meter \qquad \text{Eq 23}$$

وبمقارنة المعادلة (22) بالمعادلة (15) نجد أن L القيمة المتبقية من الدورة الكاملة في الوحدة الزمنية الواحدة، حيث نجد المعادلة رقم (15) في الصورة:

$$v_2 = [\,1 - \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\,]\ \text{cycle/unit time}$$

وبتعويض القيمة العددية فقط للمعادلة (22) في (15) ووضع L موضع القانون نجد.

$$L = [\,1 - v_2\,] \qquad \text{Eq24}$$

وبحساب الوحدة الزمنية ل v_2 بعدد الأقواس التي يقطعها الجسم الثاني في وحدة زمنية تساوي الواحد الصحيح

$$v_2 = \text{number of Arc}$$

وبما أنه من القانون قد قسمنا الدورة الكاملة ل مئة قوس

$$1\text{cycle} = 100\ Arc$$

ووحدة الطول تساوي

1 Meter = 100 Centimeter

إذا عدد الأقواس في الدورة الكاملة يكافئ عدد السنتمترات في المتر الواحد، وبتطبيق ذلك على المعادلة (23) نجد

$$L = [\ 1 - \ v_2\ ]\ Centimeter \qquad \text{Eq 25}$$

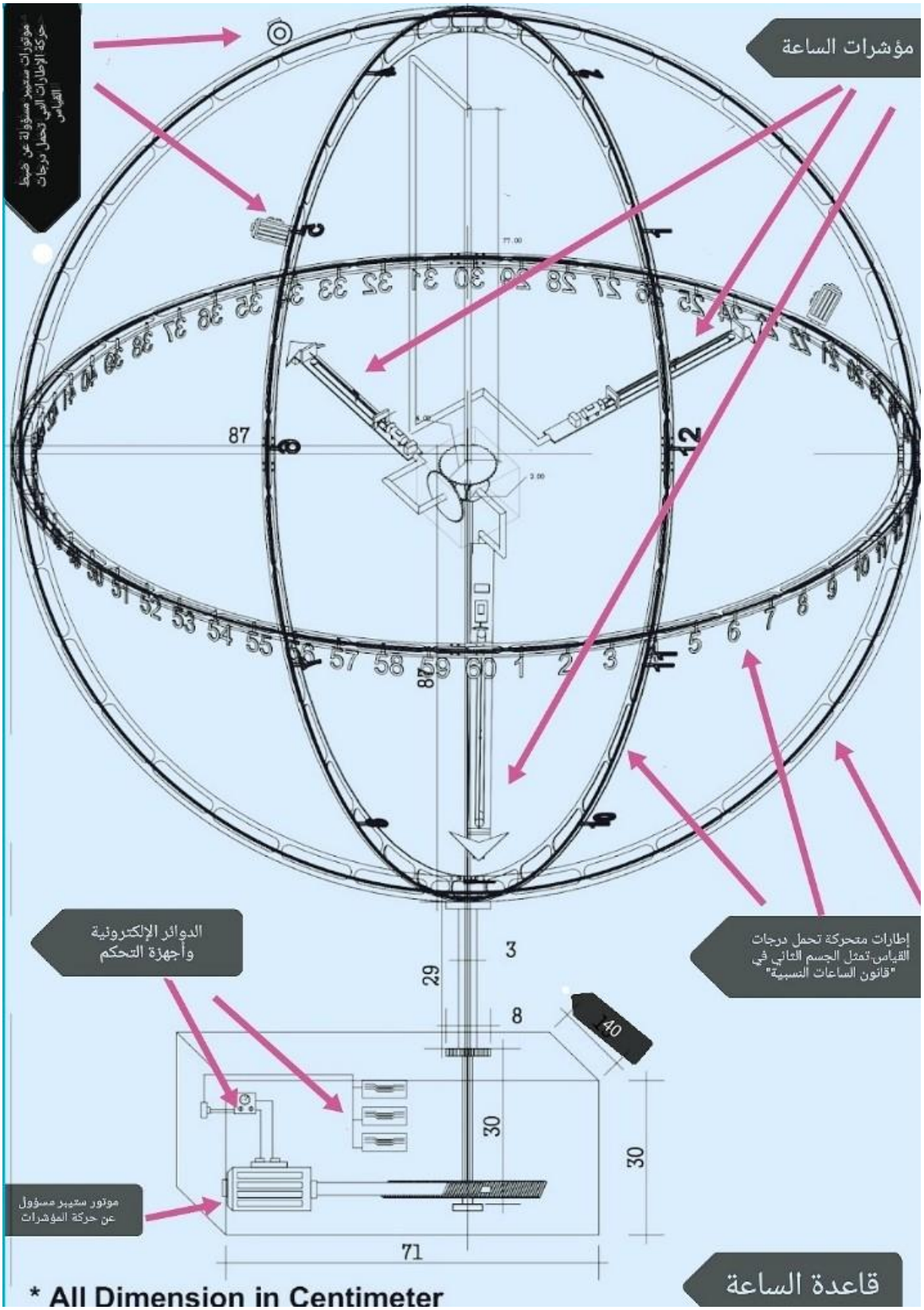
أي أن قدر الطول المتقلص لوحدة الطول نتيجة لتحرك إطار مرجعي قصوري بالسرعة v يناظر القدر المتبقي من عدد أقواس الدورة الكاملة _المرسومة على إطار دائري ثابت يحيط بمسار الجسم الثاني_ بعد طرح عدد الأقواس التي يقطعها الجسم الثاني في الوحدة الزمنية الواحدة. وطبعاً كما وضحنا أعلاه سرعة الجسم الثاني دائماً أقل من دورة واحدة.

لذلك بمتابعة حركة الجسم الثاني على إطار ثابت مقسم ل 100 قوس متساوية، يكون الجزء المتبقي له من عدد الأقواس من الدورة الكاملة هو عدد السنتمترات التي يتقلص لها المتر الواحد عند السرعة v.

خ/ أداة البحث والإجراءات والمنهج المتبع في التجربة:

1- تعريف بالساعة أداة التجربة في هذا البحث.

التعريف المختصر لساعة التجربة: هي عبارة عن أداة تتألف من أجزاء ميكانيكية وكهربائية ودوائر إلكترونية، تعمل مجتمعة كآلية لضبط إيقاع الزمن بتوظيف تناظر حركة دائرية كلاسيكية لجسمين، مع معدلات جريان الزمن النسبية. وذلك عن طريق التحكم في هذه الحركة وفق قيم متغيرات فيزيائية محددة يضبطها قانون الساعات النسبية، لتؤدي مراقبة مؤشرات الزمن فيها، لقياس وتتبع معدل تدفق الزمن عند السرعات النسبية والكتل الكبيرة بالنسبة لزمن الراصد. شكل (6).



شكل (6) رسم توضيحي لهيكل الساعة وأجزاءها الرئيسية [2]

2- مبدأ عمل الساعة

تتبع هذه الساعة المبدأ المعمم في ساعات قياس الزمن التناظرية[3]، والتي يتم فيها إجراء قياس الزمن بإيجاد آلية لضبط إيقاع حركة المؤشر الزمني في الساعة ليحاذي درجات قياس الزمن في فترات قياسية عيارية [7, 3]. إذ تشترك

الساعات التناظرية في هذا المبدأ مع تباين آلية ضبط إيقاع الزمن فيها [3] . ابتداءً من الحركة الميكانيكية ومروراً إلى ساعة الكوارتز والدوائر الكهربية والإلكترونية في الساعات التناظرية الحديثة.

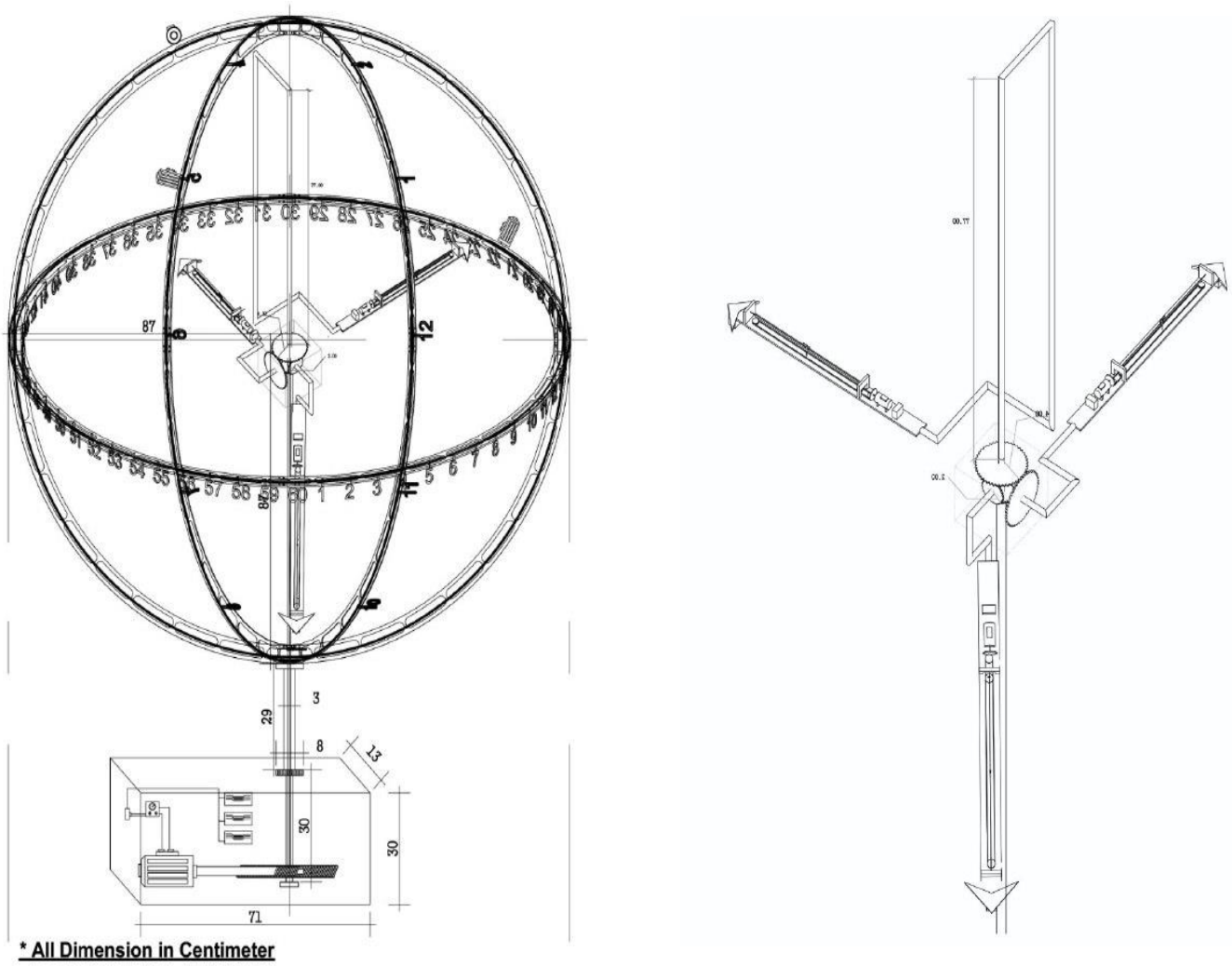
بناءً على الطريقة التي يتم بها ضبط آلية حفظ إيقاع الزمن في الساعات الميكانيكية الشائعة على المبدأ الاساسي القائم على ضبط حركة منتظمة متكررة على فترات معايرة بمدة زمنية مصطلح عليها كوحدة قياس للزمن حسب نظام القياس المتبع [7, 3]. فإن هذه الساعة تعمل على ذات الطريقة والمبدأ مضاف له تعديل يحكم العلاقة الحركية بين أجزاء الساعة. وهذه العلاقة الحركية مضبوطة بالتناظر مع تحويلات لورنتز في إطار النظرية النسبية الخاصة أو معادلة تباطؤ الزمن نتيجة لجاذبية الكتل الكبيرة، بالطريقة الموصوفة في قانون الساعات النسبية. وبما أن المعادلتان تم التحقق من صدقهما بالتجربة[4,5]؛ فإن ذلك يعني أن هذه الساعة لا تزال أداة قياس زمنية. إذ تعطي قراءة لقياس معدل جريان الزمن على كلٌ من: مبدأ قياس الزمن في الساعات التناظرية [7, 3] والقياس في قوانين النظرية النسبية[1,6, 11] .

تنطبق على هذه الساعة مجموع القواعد على الساعات التناظرية الستينية التقسيم [7, 3]، من الاصطلاح على فترة زمنية محددة كوحدة زمن، وضبط حركة عقارب الساعة لتتكرر بانتظام على تلك الفترة، ووجود ثلاثة مؤشرات للساعة لحساب الثواني والدقائق والساعات، وإجراء حساب دقة القياس[3]. لتصلح هذه الساعة بعد إتباع هذه القواعد كأداة قياس زمنية، وتُوَجه آلية ضبط إيقاع الوقت فيها، التي تمثلها الأجزاء الميكانيكية والدائرة الإلكترونية داخل الساعة، توجه هذه الآلية بواسطة قانون الساعات النسبية، لتعطي الساعة معدل تدفق الزمن في الظرف الفيزيائي الذي نريد إجراء القياس عليه _ضمن حدود هذا البحث_ والذي يقيسه الراصد الخارجي.

وما يحملنا على الأخذ في الاعتبار أن هذه الساعة لا تزال أداة قياس صادقة للزمن النسبي المعين، رغم هذا التغيير في مبدأ قياس الزمن الكلاسيكي سابقاً [7, 3]، هو خضوع العلاقة بين أجزائها الميكانيكية التي تؤثر في قراءة قياس الزمن النسبي، لقانون مجرب يحكم التغير في مدة الفترات الزمنية المصطلح عليها كوحدة زمنية قياسية، وهذا القانون هو تحويلات لورنتز ومعادلة تباطؤ الزمن بسبب الكتلة[4,11] وكل ذلك القياس ضمن إطار مفاهيم القياس في النظرية النسبية لألبرت أنشتاين [1].

3- آلية عمل الساعة:

بناءً على قانون الساعات النسبية فقد وضعتُ تصميماً لهذه الساعة بحيث يكون هنالك مؤشر مصنوع من مادة صلبة شكل(7) يكمل دورة كامل في وحدة زمنية قياسية نختارها، وتم اختيار أن يكمل دورة في الدقيقة (أي دورة كاملة كل 60 ثانية) هذا المؤشر يمثل الجسم الأول المذكور في القانون، وتم اختيار جسم ثاني عبارة عن إطار صلب دائري الشكل شكل(8) مركزه نفسه مركز حركة المؤشر، هذا الإطار يدور حول نفسه بحيث تقطع أي نقطة فيه أقل من دورة كاملة في الدقيقة الواحدة، وهذا الإطار يمثل الجسم الثاني في القانون ومقسم إلى 60 من الأقواس الصغيرة المتساوية وعليها علامات مجسمة لأرقام درجات القياس. وتعتبر حركة الإطار هنا حركة دورانية منتظمة وبطيئة (أقل من دورة في الدقيقة).



شكل (7) مؤشرات الثو اني والدقائق والساعات في أداة القياس حيث صُممت لتتحرك في ثلاث مستويات متعامدة لتعطي صورة ذهنية عن تَقيُّد القياس الزمني لفترة زمنية t بالمكان و أبعاده.(x, y, z) وهي إشارة للارتباط الوثيق غير المنفصل بين المكان والزمان[2].

على قاعدة الساعة يوجد مصدر للتيار الكهربي (بطارية) ودوائر إلكترونية وكهربائية مكونة من راسبيري باي (raspberry) وعدد من الدرايفرات (drivers) وموترات ستيبر (stepper motor) ولوحة إدخال (keypad). وكل ما يلزم لتشغيل هذه الدائرة من اسلاك، ومقاومات، ومكثفات. بحيث تعمل مجتمعة مع بعضها كآلية لضبط إيقاع الزمن وفق قانون الساعات النسبية بناءً على ربط قيم المتغيرات الفيزيائية في القانون مع هذه الآلية. حيث توجد طريقتين لربط الساعة بقيمة المتغير المراد قياس معدل جريان الزمن _الذي يلاحظه المراقب الخارجي_ عليه وهي كالآتي:

الطريقة الأولى- عند طريق الربط الآلي بأدوات قياس قيم المتغيرات.

في البدء علينا أن نعرف أن أداة حفظ الوقت في ساعة الزمكان هي الساعة الداخلية في الحاسوب الذي يعالج البيانات. ودقة هذه الساعة الداخلية مبنية على تردد المعالج الدقيق بوحدة (Hertz) الذي يتم استخدامه حيث يعتمد على تردد رقاقة إلكترونية داخله تحتفظ بإيقاع دقيق للزمن، ما دامت متصلة بإمداد كهربائي وما دامت في هيئة صالحة

للعمل. وتزود الساعة الداخلية ببطارية منفصلة طويلة الأمد لإبقائها محتفظة بوتيرة الزمن لمدة طويلة. وتقاس على هذه الساعة سرعة وحدة المعالجة المركزية. فإذا استخدمنا معالج دقيق سرعته (1 GHz) فسيعني ذلك عدد من الدورات للساعة الداخلية تساوي مليار دورة لكل ثانية. مما يشير إلى أن استخدام ساعة الدائرة الإلكترونية الحاسوبية سيوفر مدى واسع من الدقة تسمح بتأخير زمني ضئل لنظام الساعة _جداول (1) (2)_ عند نقل النبضات الكهربائية للأجزاء الميكانيكية، لتتحرك الأخيرة في مستوى دقة يسمح بحمل التحويلات في قانون الساعات النسبية في سلوك حركتها وربط المتغيرات الواردة فيه مع بعضها. في حدود مدى دقيق عندما يقارن مع أقل قراءة في مؤشرات الساعة الميكانيكية التناظرية[3,7].

تعتمد الساعة أداة التجربة على الطاقة الكهربائية، وتظل محتفظة بقيمة الوقت الصحيح _في حدود دقة القياس_ في الإطار المرجعي للراصد، طوال فترة تزويدها بالطاقة سوى كانت بطارية أو مصدر مباشر للطاقة الكهربائية. وبما أن هذه الساعة موضع البحث هي ساعة تناظرية ويقرأ قياس الوقت فيها من الحركة الميكانيكية لمؤشرات الساعة[3,7] فإن دقة قراءة المؤشر تتأثر تأثُر طفيف نتيجة لتأخير زمن إرسال البيانات داخل أجزاء الساعة ومعاملة النبضات الكهربائية، كان هذا التأثر بمقدار ميكرو ثانية في نموذج التجربة. ويتوقف على قدرة المعالج ونسبة كفاءة أجزاء الساعة. تظل الساعة أثناء مدة تشغيلها محتفظة بقيمة التغير في قياس معدل مرور الزمن (تباطؤ الزمن) بدقة الخطأ في ساعة معالج الحاسوب الذي يتم استخدامه داخل ساعة الزمكان مضاف لها وقت تأخير إنجاز الشغل في آلية الساعة (delay time of clock system).

ترتكز طريقة الإدخال الآلية على استقبال قيم المتغيرات من أجهزة قياس السرعة أو الكتلة والبعد المقدر من مركز الكتلة والذي يراد متابعة معدل جريان الزمن عنده؛ إذ توجد آلية لاستقبالها بشكل رقمي بواسطة أداة الاتصال اللاسلكي في الساعة. حيث يتم التعامل معها كبيانات رقمية. وبوحدة القياس التالية: (meter/second) للسرعة (والثانية والمتر المقصودة هنا هي فترة الثانية وطول المتر القياسية في الإطار المرجعي للراصد) ووحدة (kilogram) للكتلة ووحدة (meter) للبعد من مركز الكتلة.

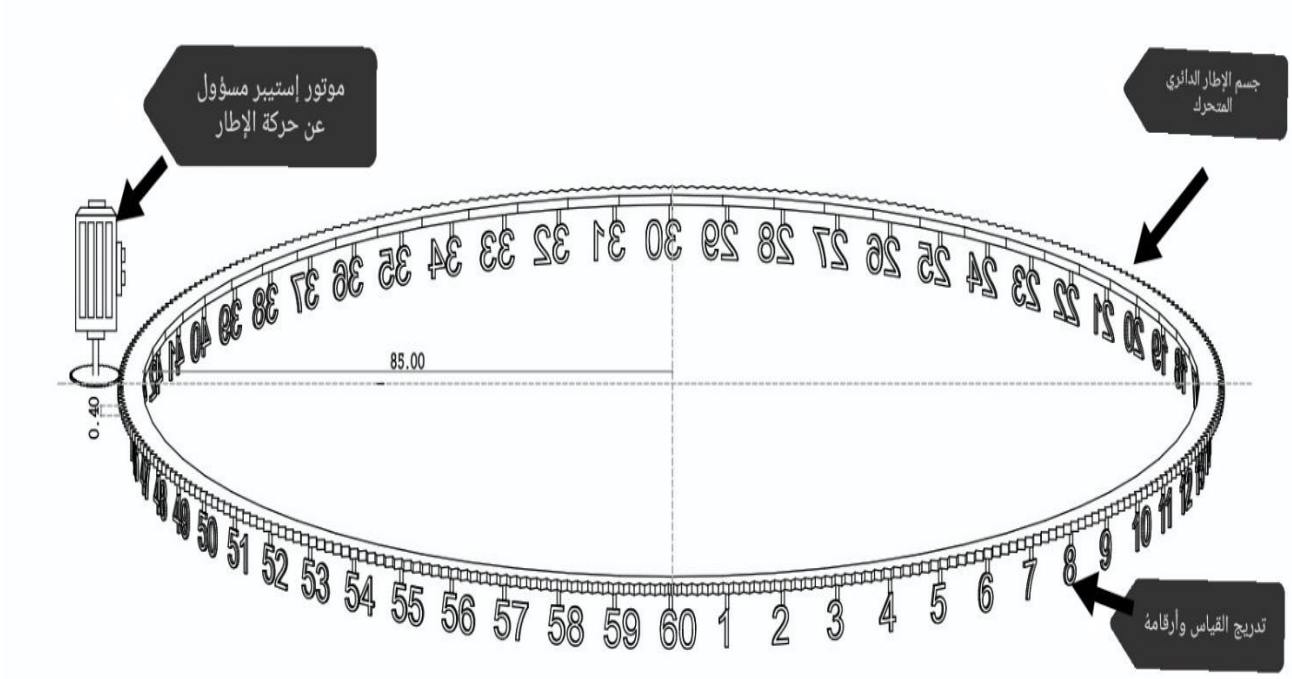
وبعد أن تحول بيانات القياس سوى كانت ملاحظة التغير الموجي وفق تأثير دوبلر للأجسام المقتربة أو المبتعدة بسرعة عالية[5]. أو قياس المجال الجذبوي للأجرام الفلكية والنجوم فائقة الكتلة والثقوب السوداء وتحديد قيمة الكتلة[5,11]. بعد أن تحول هذه البيانات إلى صفة رقمية؛ فإن الساعة مصممة للتعامل معها بوحدات قياس تلك الكميات بناءً على دقة أجهزة القياس التي أعطت البيانات _يجب التأكد من أخذ الوحدات القياسية في الإطار المرجعي الذي يوجد عليه الراصد[1] كوحدات قياس أثناء ربط البيانات_ وحينها تقوم هذه الدائرة الإلكترونية في الساعة بحساب السرعة الدورانية للجسم الثاني وهو يمثل الإطار الدائري الشكل الحامل لدرجات القياس شكل (8) وفق المعادلة (15)، وتعطي هذه الدائرة نبضات كهربائية للموتور الاستيبر الخاص بالإطار المحدد ليتحرك بقيمة (rpm) معينة تؤدي لأن يتحرك هذا الإطار وفق مفهوم التناظر مع القيم الفيزيائية الذي بينه قانون الساعات النسبية. ليكمل قيمة أقل من دورة واحدة في الدقيقة، حسب قيمة المتغير في البيانات التي استقبلتها الساعة.

وفي ذات الوقت تصدر هذه الدائرة نبضات كهربائية إلى الموتور الخاص بالمؤشر، ليتحرك بقيمة (rpm) تجعل المؤشر يكمل دورة كاملة في الدقيقة القياسية في إطار الراصد.

توجد على قاعدة الساعة، ساعة مستقلة قائمة بذاتها تعطي قياس الزمن الطبيعي الذي نقيسه في إطارنا الذي نوجد عليه بالساعات المألوفة[3,7]، وهو قياس المراقب للزمن في إطاره المرجعي الساكن بالنسبة له [1,6].

عندما يتتبع المراقب الفترة الزمنية التي يحاذي فيها المؤشر كل علامة مرسومة على الإطار، فإنه يلاحظ الزمن المتباطئ عند هذه القيم حسب بيانات أجهزة قياس السرعة أو الكتلة ونصف القطر التي تم ربطها مع الساعة.

ويظل قائم في هذه الساعة كما هو الحال في جميع المعلومات العلمية عن الكون المرئي، يظل قائم فاصل زمني يحول عن التأكد الآني من صحة البيانات، والفاصل المدة الزمنية لسرعة الضوء من موضع الرصد[1,6] ، لذلك معدل جريان الزمن المشاهد في ساعة الزمكان هو صحيح_في حدود دقة الساعة- على اعتبار أن قيم تلك المتغيرات لا تزال موجودة. وتظل الفترة الزمنية التي يستغرقها الضوء للتحرك بين موقع رصد تلك القيم وجهاز القياس عند المراقب؛ تظل منطقة شك كما هو الحال لجميع المعلومات التي نأخذها من مواقع بعيدة في الكون[1,6,11]. لكن معدل جريان الزمن في ساعة الزمكان يظل صحيح وصادق _في حدود نسبة الخطأ في الساعة- عند بيانات القيم الفيزيائية حسب أدوات قياسها التي تم ربطها بالساعة.



شكل (8) يوضح جسم الإطار الدائري الذي يدور حول نفسهُ ويكمل أقل من دورة كاملة في الوحدة الزمنية المختارة. ويتحكم فيه موتور ستيبر يتحرك حسب النبضات الكهربائية التي تأتيه من الدائرة الإلكترونية في قاعدة الساعة[2].

الطريقة الثانية: عن طريق الإدخال اليدوي بواسطة لوحة الادخال الموجودة في قاعدة الساعة

هذه الطريقة تعتمد على لوحة الإدخال الموجودة في قاعدة الساعة حيث يتم عبرها ادخال قيم المتغيرات بكتابتها يدوياً حيث تقوم ساعة الزمكان بمعالجاتها وحفظ التغير الزمني (تباطؤ الزمن) طوال مدة تشغيل الساعة واستمرار تزويدها بالطاقة. وتصبح كل قراءة زمنية لمؤشرات ساعة الزمكان صحيحة في أي فترة يتم اختيارها بعد الادخال. وتقوم الساعة بعد تقييد قياسها بتلك القيم، تقوم بمواصلة نفس نهج العمل المذكور في الطريقة الأولى وتحتفظ بمعدل جريان الزمن عند القيمة المدخلة. وتعطي قراءة المؤشرات ذلك المعدل لجريان الزمن باستمرار مما يسمح بقياس أي فترة زمنية نسبية_في حدود دقة الساعة_ بمراقبة الساعة في أي فترة أثناء عملها.

ويتغير معدل جريان الزمن الذي تحتفظ به الساعة ويتبدل التغير الزمني (تباطؤ الزمن بالنسبة لزمن الراصد) الظاهر في محاذاة مؤشرات الساعة لدرجات القياس، يتغير عند كل إدخال متغير جديد. لتحتفظ الساعة حينها بمعدل جريان للزمن يوافق هذا المتغير الجديد وتصلح لقياس أي فترة زمنية يتم اختيارها عند قيمة ذلك المتغير طوال فترة تشغيل الساعة.

تم الأخذ بالطريقة الثانية لاستخراج النتائج في هذا البحث.

لأن المؤشرات الزمنية للثواني والدقائق والساعات في ساعة الزمكان تتحرك في ثلاثة مستويات متعامدة x,y,z فقد تم تصميمها بحيث لا تتقاطع أثناء دورانها وتتعامد على بعضها البعض كل 90 درجة زاوية[2]، من أجل ذلك فقد تم الاحتفاظ بعدد دورات ثابت للمؤشرات الثلاثة وتمت معالجة فرق الزمن بتعديل المعادلة (15) لكل من الإطار الدائري الخاص بقراءة الدقائق والأخر الخاص بقراءة الساعات كالآتي:

وجدتُ أنهُ إذا جُعلت فترة الزمن السكوني T_0 تساوي 60 دقيقة بدل أن كانت وحدة زمنية واحدة في المعادلة (15)، فسيقرأ المؤشر فترة التأخير وتباطؤ الزمن لفترة قياسية تساوي الساعة الواحدة، عندما يكمل دورة كاملة ويعود مرة أخرى لمحاذاة نفس درجة القياس التي ابتدأ منها الحركة. وإذا قُسم الإطار الدائري إلى 60 درجة فسيقرأ المؤشر دقيقة متباطئة عند كل فترة زمنية يستغرقها لمحاذاة علامة القياس عند الدرجة التالية ولبيان المعادلة الرياضية يتم تعويض قيمة الزمن السكوني المذكورة في المعادلة (10) من البرهان فتصبح:

$$\frac{60}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}=\frac{1}{1-\frac{v_2}{v_1}}$$

وبمواصلة نفس تسلسل البرهان من هذه المعادلة فستصبح المعادلة (15) في الصورة:

$$v_2=[\,1-\frac{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{60}\,]\;cycle/minute$$

أما بالنسبة لتباطؤ الزمن عند الكتلة الضخمة تصبح سرعة الإطار الدائري المحاذي لمؤشر الدقائق حسب المعادلة (20) في الصورة:

$$v_2=[\,1-\frac{\sqrt{1-\frac{2GM}{Rc^2}}}{60}\,]\;cycle/minute$$

حيث تكون $\boldsymbol{v_2}$ في هذه الحالة هي عدد دورات الإطار الدائري الموازي لمؤشر الدقائق.

أما بالنسبة لمؤشر الساعات فيجب أن يستغرق المؤشر 12 ساعة عند الزمن السكوني ويتأخر بعد ذلك عن هذه المدة لأي قيمة سرعة نسبية وفق قانون الساعات النسبية لذلك يقسم الإطار الدائري الذي يوازيه إلى 12 جزء متساوية وتكون عدد دوراته في الزمن السكوني 60*12=720 cycle/minute وتصبح معادلة (15) لإطار الساعات:

$$v_2=[\,1-\frac{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}{720}\,]\;cycle/minute$$

أما بالنسبة لتباطؤ الزمن عند الكتلة الضخمة تصبح سرعة الإطار الدائري المحاذي لمؤشر الساعات حسب المعادلة (20) في الصورة:

$$v_2=[\,1-\frac{\sqrt{1-\frac{2GM}{Rc^2}}}{720}\,]\;cycle/minute$$

حيث $\boldsymbol{v_2}$ في هذه الحالة هي عدد دورات الإطار الموازي لمؤشر الساعات

4- تسمية الساعة:

بعد البحث عن تسمية مناسبة لهذه الساعة _وذلك حتى يَسهُل التعامل معها_ التي أجريتُ بها تطبيق قانون الساعات النسبية، والتي تمكنت بواسطتها من التأكد من صحة فروض هذا البحث. اخترتُ اسم (ساعة الزمكان) لأن مصطلح الزمكان كفضاء رياضي رباعي الأبعاد للمتصل المكاني_الزماني[1,11]، هو الاساس الذي تقوم عليه المعادلات التي تعمل وفقها هذه الساعة، وهي بالتأكيد كجزء مادي لا تمثل هذا الفضاء الرباعي نفسه، نظراً لطبيعة فضاء الزمكان متعدد الأبعاد[6]، لكنها تسمية على القاعدة النظرية والرياضية التي تقوم عليها فكرة القياس في الساعة، والتي بها أمكننا التعامل مع قياسات مختلفة للزمان والمكان، لذلك إنما يستدعي الاسم الجانب النظري الذي تقوم عليه الساعة.

تأسست فكرة الساعة على مفهوم القياس النسبي[1,6]. فعندما نتحدث عن قياس الزمن، إنما نتحدث عن قياس الزمن النسبي الذي يختلف من مراقب لآخر[1,4,5,6]. ولا معنى للسؤال أي قياسات المراقبين صحيحة وصادقة، لأن طبيعة كوننا هي نسبية القياس فيه وفق ما ذكرت وفصلت ذلك النظرية النسبية[1].

وسنتفق على اصطلاح هذا الاسم أعلاه لأداة التجربة وكاسم لساعة قياس الزمن النسبي التناظرية، بناءً على إجراء توثيقهُ بشكل رسمي في بيانات المنظمة العالمية للملكية الفكرية ورقمي إيداعه ونشره الدوليين[2].

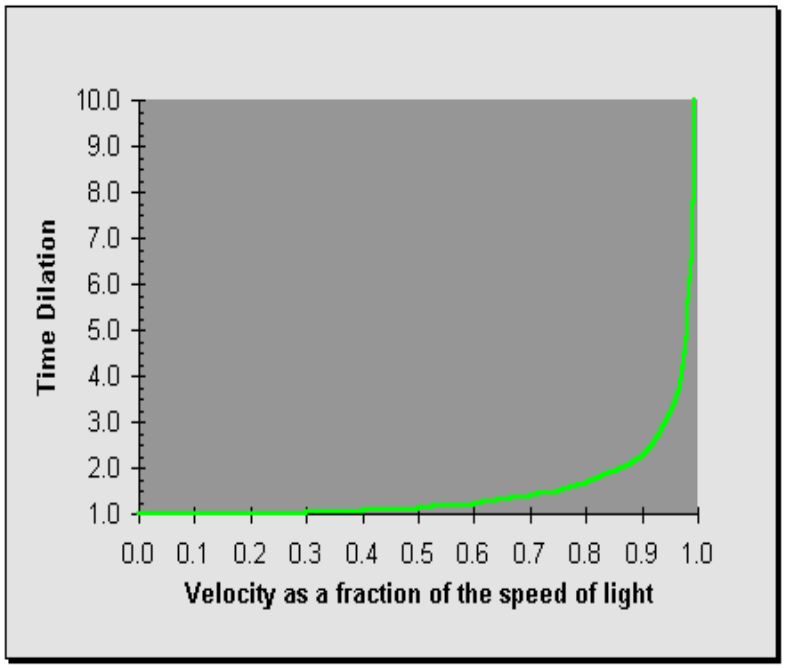
بذلك ساعة الزمكان هذه تعتبر تطبيق وإثبات لصدق قانون الساعات النسبية، لذا فهي تقيس معدل جريان الزمن المتباطئ بنسبة خطأ محسوبة من الأجهزة المتحكمة في دقة حركة الجسمين (نسبة الخطأ في الاحتفاظ بمعدل جريان الزمن وتتوقف على سرعة المعالج الدقيق المستخدم في الساعة كما ذُكر سلفاً وهي في النموذج مقدرة بواحد من مليون جزء من الثانية)، وعدد الأقسام المرسومة على الجسم الثاني (نسبة خطأ قراءة الساعة التناظرية وهي أقل فترة يستغرقها المؤشر ليتحرك بين درجتي قياس متتاليتين، وكانت نسبة الخطأ في النموذج الذي أجريت عليه التجربة هي واحد ثانية).

5- أهداف الساعة وأغراضها:

بالإضافة إلى الغرض الرئيسي لهذا العمل وهو أنه أداة قياس لمتابعة معدل جريان الزمن عند السرعات النسبية

فمن أهداف هذا العمل: توظيفه في المجال الأكاديمي لطلاب الجامعات ودارسي الفيزياء بتقديمه كتجربة علمية معملية يقاس فيها معدلات جريان الزمن لقيم سرعات نسبية مختلفة أو لكتل كبيرة وعند مسافات مختلفة للبعد من مراكزها، وتُرسم من القياس العلاقة بين تباطؤ الزمن والسرعة ($\mathbf{v}$ Vs $\mathbf{T}$`) شكل (9)، أو بين تباطؤ الزمن والكتلة. كمنحنيات توضح علاقة التباطؤ الزمني مع المتغيرات الفيزيائية المحددة على ضوء قوانين النظرية النسبية الخاصة والعامة[1,6,11].

كما أن من أهدافه: التعريف بالواقع الجديد للزمان _في ظل ارتباطه غير المنفصل عن المكان[1,6] وتغير معدل جريانه حسب قيم السرعة النسبية والبعد من مركز الكتلة[4,5] _ والذي أوجدته النظرية النسبية. التعريف به على نطاق واسع وبأداة ملموسة تصبغ هذه التغيرات على الساعات التناظرية المألوفة[3,7] التي اعتدنا استخدامها كأدوات قياس زمنية[3] ، وإنشاء مفهوم جديد للساعة بناءً على هذا الواقع، يؤدي لقياس وتتبع معدل جريان الزمن المختلف حسب مكان وظرف الراصد.



شكل (9) يوضح منحنى تباطؤ الزمن مع السرعة مأخوذة كنسبة من سرعة الضوء

وللربط الذهني مع الاساس الذي تقوم عليه المعادلات الرياضية التي تحكم العلاقة الحركية بين أجزاء الساعة التي تؤخذ منها قراءة القياس، وهذا الاساس هو ارتباط المكان والزمان غير المنفصل ومعاملتهما كمتصل زماني_مكاني[1,6] (الزمكان)؛ من أجل ذلك الربط الذهني فقد قمت بالإخراج الفني لهذا العمل لتتحرك عقارب ساعته في ثلاثة محاور متعامدة في إشارة للأبعاد المكانية الثلاثة (x,y,z) _وهو تصميم للساعات لم يوجد مسبقاً_ للتذكير بالواقع الجديد الذي تعمل وفقه الساعة وهو تقييد المعدل الزمني الذي نقيسه بنسبية التغير المكاني لنا[1].

3- النتائج ومناقشتها.

جدول (1) يبين نتائج التجربة المسجلة من الساعة موضع الدراسة عند تطبيق الجزء الخاص بمعدل جريان الزمن عند السرعات العالية، من قانون الساعات النسبية.

أُخذت سرعة الضوء في الفراغ تساوي 299792458 meter/sec

Delay **time in clock systim** $\pm$ 1µs

سرعة الإطار المرجعي القصوري كنسبة من سرعة الضوء في الفراغ $\frac{v}{c}$	عدد دورات الجسم الأول v_1 (المؤشر) في وحدة زمنية قياسية تساوي 60 ثانية مقاسة بالساعة الكلاسيكية* المعتمدة في إطارنا المرجعي الذي نوجد عليه. By: Cycle/60 standard second in observer frame	عدد دورات الجسم الثاني v_2 (الإطار الذي يحمل درجات القياس) في وحدة زمنية قياسية تساوي 60 ثانية بالساعة الكلاسية* By: Cycle/60 standard second in observer frame	قراءة الزمن في ساعة الإطار المرجعي للراصد (قراءة عدد الثواني التي مرت في ساعتنا الكلاسيكية* عندما تكون قراءة ساعة الزمكان 60 ثانية متمددة) By: standard second in observer frame	مقدار التباطؤ T' المحسوب من تحويل لورنتز للوحدة الزمنية الواحدة. By: standard second in observer frame	زمن محاذاة المؤشر مرة ثانية من جديد لنفس رقم درجة القياس على الجسم الثاني (قراءة قياس ساعة الزمكان* لمقدار تمدد الوحدة الزمنية القياسية) By: standard second in observer frame	عدد الوحدات الزمنية المتمددة في أداة التجربة (قراءة ساعة الزمكان* لعدد الثواني التي مرت) By: second in space time clock
0.1	1	0.00501	60.3	1.00503	60.3	60
0.2	1	0.02020	61.2	1.02062	61.2	60
0.3	1	0.04606	62.82	1.04828	62.82	60
0.4	1	0.08348	65.4	1.09108	65.4	60
0.5	1	0.13397	69.3	1.15470	69.3	60
0.6	1	0.20000	75.6	1.25000	75.6	60
0.7	1	0.28585	84.06	1.40028	84.06	60
0.8	1	0.40000	100.02	1.66666	100.02	60
0.9	1	0.56411	137.7	2.29415	137.7	60
0.99	1	0.85893	425.34	7.08812	425.34	60
0.999	1	0.95528	1341.6	22.36627	1341.6	60

لغرض التفريق بين المصطلحات وقراءة البيانات بشكل سليم في جداول (1) (2) (3) فقد تم الاصطلاح على الآتي: **الساعة الكلاسيكية*** هي أداة قياس الزمن المألوفة والتي تعطي قياس لطول وحدة قياس الزمن في إطار القياس الذي تُوجد عليه وقت إجراء القياس. **ساعة الزمكان*** هي أداة قياس الزمن التي تعطي اعتبار لنسبية طول وحدة قياس الزمن من ظرف فيزيائي لآخر حسب حالة الراصد.

جدول (2) يبين نتائج التجربة المسجلة من الساعة موضع الدراسة عند تطبيق الجزء الخاص بالنظرية النسبية العامة من قانون الساعات النسبية. وأخذت هنا قيم المتغيرات لأجرام فلكية مختارة هي الشمس والنجم R136a والثقب الاسود Sagittarius A* Black Hole[14] والذي تَمَّ بالنسبة له تطبيق اختلاف القياس الزمني وفقاً لتغير المسافة من المركز، لقيم عديدة.

أُخذ ثابت التثاقل الكوني يساوي [12] $G = 6.67428 \times 10^{-11} s^{-2} m^3 kg^{-1}$

أُخذت سرعة الضوء في الفراغ [12] $C = 299792458$ m/s

وأخذت كتلة الشمس[12] $M_{\odot} = 1.98892 \times 10^{30} kg$

وأُخذ نصف قطر الشمس يساوي[12] $R_{\odot} = 6.960 \times 10^{8} m$

كتلة النجم R136a1[13] $M_{R136a1} = 222\ M_{\odot}$

كتلة الثقب الاسود Sagittarius A*[14] $M_{A*} = 4.31 \times 10^{6}\ M_{\odot}$

Delay time in clock system $\pm 1\mu s$

اسم النجم	الكتلة By: $M_{\odot}$	نصف قطر شفارتزشيلد للنجم By: Meter	المسافة من المركز التي يراد تتبع معدل جريان الزمن فيها على ساعة الزمكان By: Meter	عدد دورات الجسم الثاني v_2 (الإطار الذي يحمل درجات القياس) في وحدة زمنية قياسية تساوي 60 ثانية مقاسة بالساعة الكلاسيكية* على كوكب الأرض. By: Cycle/60 standard Second in observer frame	زمن محاذاة المؤشر للمرة الثانية لنفس رقم درجة القياس على الجسم الثاني مقاسة بالساعة الكلاسيكية* على كوكب الأرض (أي قراءة قياس ساعة الزمكان* لمقدار تمدد وحدة قياسية زمنية تساوي 60 ثانية) By: 60 standard Second in observer frame	عدد الوحدات الزمنية المتمددة في أداة التجربة (قراءة ساعة الزمكان* لعدد الدقائق التي مرت) By: second in Spacetime clock
الشمس	1	2.954×10^{3}	6.960×10^{8}	0.000002	1.00000	60
R136a1	222	6.55787×10^{5}	2.00448×10^{10}	0.00002	1.00002	60
الثقب الاسود Sagittarius A*	4.31×10^{6}	1.273×10^{10}	1.274×10^{10}	0.97198	35.69269	60
الثقب الاسود Sagittarius A*	4.31×10^{6}	1.273×10^{10}	1.280×10^{10}	0.92605	13.52283	60
الثقب الاسود Sagittarius A*	4.31×10^{6}	1.273×10^{10}	1.290×10^{10}	0.88520	8.71106	60
الثقب الاسود Sagittarius A*	4.31×10^{6}	1.273×10^{10}	1.300×10^{10}	0.85587	6.92988	60

الثقب الاسود Sagittarius A*	4.31×10^6	1.273×10^{10}	1.400×10^{10}	0.69881	3.32093	60
الثقب الاسود Sagittarius A*	4.31×10^6	1.273×10^{10}	2×10^{10}	0.39709	1.65863	60
الثقب الاسود Sagittarius A*	4.31×10^6	1.273×10^{10}	10^{11}	0.06581	1.07045	60
الثقب الاسود Sagittarius A*	4.31×10^6	1.273×10^{10}	10^{12}	0.00638	1.00643	60

جدول (3) يوضح قراءة ساعة الزمكان لنسبة تقلص الطول عند سرعات نسبية مختلفة عند تطبيق الجزء الخاص ببيان تقلص الطول من قانون الساعات النسبية. أخذت سرعة الضوء في الفراغ تساوي 299792458 meter/sec

Length $\pm$1mm

سرعة الإطار المرجعي القصوري كنسبة من سرعة الضوء في الفراغ $\frac{v}{c}$	عدد الأقواس على الإطار الثابت التي مرت عليها نقطة محددة بعلامة ظاهرة و اقعة على جسم الإطار الدائري الذي يحمل درجات القياس (الجسم الثاني في قانون الساعات النسبية) في الزمن الذي أكمل فيه المؤشر (الجسم الأول) دورة كاملة. اتخذت عدد الأقواس الكلية على الإطار الثابت 100 قوس، والزمن واحد دقيقة مقاسة بالساعة الكلاسيكية* By Arc/60 sec	عدد السنتمترات التي يتقلص إليها المتر الواحد عند السرعة v وهي تساوي الجزء المتبقي من عدد الأقواس الكلية في الإطار الثابت بعد طرح عدد الأقواس التي قطعها الجسم الثاني. وقُرأت هذه القيمة مباشرة من الساعة، نتيجة لترقيم الدرجات في الإطار الثابت عكس اتجاه دوران الجسم الثاني. By Arc= centimeter
0.1	0.5	99.5
0.2	2.0	98.0
0.3	4.6	95.4
0.4	8.3	91.7
0.5	13.4	86.6
0.6	20.0	80.0
0.7	28.8	71.2
0.8	40.0	60.0
0.9	56.4	43.6
0.99	85.9	14.1
0.999	95.5	4.5
0.9999	98.6	1.4

المناقشة:

نلاحظ أنه بالعمل المستمر المتصل للساعة موضوع التجربة على طول الفترة الزمنية التي نختارها لمراقبة الساعة، تتحقق مراقبة وتتبع معدل جريان الزمن بالنسبة لزمن الراصد، وما سبق يضع هذه الساعة في خانة الساعات الحركية الميكانيكية التي تحقق مؤشراتها مراقبة مستمرة لمعدل تدفق الزمن[3,7]. ذلك من خلال تَتَبُع الحركة المتصلة للأجزاء الميكانيكية التي تؤخذ منها قراءة القياس في الساعة في هذه الفترة الزمنية[3]. وذلك يُمكِّن من أخذ قراءة محددة في أي لحظة نختارها من تلك الفترة. وبذلك تكون ساعة الزمكان أداة قياس زمنية مستمرة تتحرك أجزاءها بمعدل جريان الزمن في إطار القياس المعني (حسب قيمة المتغيرات الفيزيائية فيه) بالنسبة للمراقب المحدد.

نجد من التدقيق في نتائج هذا البحث أن الشروط الحدية لقانون الساعات النسبية وفق المعادلات (17) و(18) تظهر في سلوك نتيجة القياس؛ حيث نجد القراءة في الصف الأول في جدول (1) أعطت أقل قيمة لتمدد الزمن وعند مقارنتها بالقيم التي تليها في الجدول فنجد أن تباطؤ الزمن في مؤشرات الساعة يمضي بوتيرة دالة اسية وهذا يوافق ما وضحته نتائج الدراسات السابقة لقياس تباطؤ الزمن في تجربة قياس عمر الميزونات (μ-Mesons) بالمقارنة مع المسافة التي تقطعها[4].

وبربط الساعة مع قيم متطرفة للسرعة النسبية، حينها تؤول الوحدة الزمنية في ساعة التجربة إلى الوحدة الزمنية في الساعة العادية وذلك عند تطبيق المعادلة (17). وتؤول الوحدة الزمنية إلى فترة لانهائية عند تطبيق المعادلة (18) وهذا يوافق مفاهيم النسبية[1,6].

كذلك نجد من بيانات الجدول (2) أن معدلات جريان الزمن تصبح أبطأ وتقرأ ساعة التجربة ثانية ذات مدة زمنية أطول مقارنة بفترة الثانية القياسية في إطار المراقب، ويصبح معدل مرور مؤشر الزمن على درجات القياس أبطأ كلما كانت قيم متغير نصف القطر أصغر وكلما كانت الكتلة أكبر وهذا السلوك يوافق القياسات التي تمت في الساعات الذرية لاختبار التأثير النسبي[5]. وبربط الساعة مع قيم متطرفة لقيم نصف القطر بحيث تكون قريبة جداً من نصف قطر شفارتزشيلد (Schwarzschild)[11] حينها تؤول الوحدة الزمنية في ساعة التجربة إلى فترة لانهائية عند تطبيق المعادلة (21) وهذا يوافق مفاهيم النسبية العامة[11].

نجد أن اختيار هيئة أداة القياس لتكون هيئة ساعة تناظرية، وأخذ القياس من أجزائها الميكانيكية المتحركة[3,7]؛ قد أفاد جداً في متابعة الزمن كمفهوم مرتبط بالحركة حيث يرتبط الزمن الفيزيائي ارتباطاً وثيقاً بالحركة عبر المكان (العلاقة الاساسية بين الزمن والمسافة والسرعة[1,6,12]) وكذلك التغير ومعدل التغير في وضعية كائن ما[7,12]. ونجد أن العمل على أن تتجسد نتائج النظرية النسبية على هيئة ساعة تناظرية تستخدم علاقة ميكانيكية لتتبع معدل جريان الزمن _وهو المحور الاساسي في البحث_ قد أفاد في ربط هذه المفاهيم الفيزيائية التي سبق ذكرها لأنه يوظفها في أداة واحدة. وذلك يحقق ما ذُكر سلفاً في متن البحث تحت العنوان الفرعي (**أهمية البحث**).

في المقابل نجد أن اختيار هيئة الساعة التناظرية لقياس الزمن النسبي، قد كان سلباً على دقة القياس. حيث أن مراقبة تناظر أجزاء ميكانيكية عيانياً، يعطي دقة قراءة في حدود الساعات التناظرية الميكانيكية الشائعة[3,7]. لكننا إن أعملنا البحث في هذه النقطة السلبية نفسها؛ نجد أنها من ناحية أخرى ترجعنا إلى استخدام الفترات الزمنية المتاح التعامل معها ومراقبتها عيانياً (ثانية، دقيقة، ساعة)[3] وهي فترات ملائمة بالنسبة لنشاط الإنسان ضمن إطار القياس الذي يوجد فيه، وفي أفعال حياتنا العادية والتي لا تتجاوز فضاء الميكانيك الكلاسيكي. وبذلك هذه الدرجة من القياس مفيدة أيضاً في اسقاط نتائج النظرية النسبية، على مستوى الفترات الزمنية المُلاحظة للإنسان[3]، وهو ما يرفعنا درجه نحو فهم ومراقبة سلوك الطبيعة على مقياس يُمكننا متابعتهُ عياناً. وذلك يجعل لهذه الأداة أفضلية أن تستخدم للمساهمة في فهم العلاقة بين المتغيرات في معادلات النظرية النسبية التي تحكم تباطؤ الزمن وانكماش الطول[1,6,12].

الاستنتاجات:

1- تكون قراءة القياس في الساعة التناظرية موضع التجربة، ممكنة عند اختيار قيم كبيرة لمتغير السرعة أو الكتلة، وعند قيم أكبر قليلاً من نصف قطر شفارتزشيلد بصورة نسبية.
2- قانون الساعات النسبية صادق، ومراقبة جسمين يتحركان حركة دائرية منتظمة وفق ما حدده القانون ستؤدي إلى قياس ومتابعة معدل جريان الزمن النسبي.

التوصيات والمقترحات.

1- يوصي الباحث باستخدام قانون الساعات النسبية لتوظيف الحركة الدائرية المنتظمة ضمن فضاء الميكانيكا الكلاسيكية، لقياس وتتبع معدل جريان الزمن بالنسبة للمراقب، كما حددته النظرية النسبية[1,6]. على هيئة ساعة تناظرية[3,7].

2- يوصي الباحث بدراسة التناظر بين الحركة النسبية لجسمين يتحركان حركة دورية دائرية منتظمة ضمن نطاق الميكانيكا الكلاسيكية، وبين معدلات تباطؤ الزمن في النظرية النسبية. من أجل فهم الترابط بين هذين الحقلين.

3- يوصي الباحث الجهات المختصة بتصنيف واعتماد أدوات القياس والمعايرة، باعتماد فكرة ساعة الزمكان[2] كساعة تناظرية تصلُح كأداة لقياس وتتبع معدل تدفق الزمن النسبي. عند الفترات الزمنية المتاح للبشر متابعة سريانها عينياً، والتعامل معها.

4- يوصي الباحث الجهات المختصة بفحص التجارب المعملية وطرق التدريس في الجامعات، باعتماد ساعة الزمكان كأداة معملية علمية، لفهم وشرح العلاقة بين المتغيرات الفيزيائية في معادلات النظرية النسبية لتباطؤ الزمن[1,6] وبين معدل جريان الزمن بالنسبة للمراقب.

الخلاصة

أمكن للبحث بناءً على ارتكازه على حقلين هما: الميكانيكا الكلاسيكية وتصور قضاياها في إطار الهندسة الإقليدية، [12] والنظرية النسبية في إطار مفهوم الزمكان رباعي الأبعاد[6]؛ أمكن له اسقاط تتبع معدل جريان الزمن النسبي، على أداة قياس زمنية يقوم مبدأ القياس فيها على مراقبة مدة الفترات الزمنية العيارية التي تستغرقها حركة ميكانيكية كلاسيكية للانتقال بين مكانين. حيث أن مبدأ القياس هذا هو المبدأ المعمم في ساعات قياس الزمن التناظرية[3,7]، والتي يتم فيها قياس الزمن بمراقبة حركة المؤشر الزمني في الساعة ومحاذاتِهِ لدرجات القياس. إذ تشترك الساعات التناظرية في هذا المبدأ مع تباين آلية ضبط إيقاع الزمن فيها[3, 7]. ومن ذلك فقد أوجد البحث صيغة للتناظر بين حركة دورية دائرية منتظمة وبين معدلات جريان الزمن في النظرية النسبية، وتبين من خلال قانون الساعات النسبية أن كل قيمة لعدد دورات الجسم الثاني تقابلها قيمة وحيدة للسرعة النسبية. وبذلك أمكن ضبط إيقاع الزمن في الساعة على اساس هذا التناظر. وذلك بتطبيق صيغة هذا القانون على الأجزاء الميكانيكية المستخدمة في الساعة، عبر آلية من الدوائر الإلكترونية والكهربائية. لتعمل المنظومة عند ربطها بالمتغيرات الفيزيائية في النظرية النسبية؛ كآلية لضبط إيقاع الزمن النسبي في الساعة **شكل (6)**، وقد بينت النتائج في الجداول (1) و(2) تسلسل قيم القياس المسجلة لمعدل جريان الزمن الظاهر في الحركة الميكانيكية لأجزاء الساعة؛ تسلسل هذه القيم مع الحسابات المسجلة لقياس تباطؤ الزمن في بحوث سابقة[4,5].

وبذلك أمكن تتبع معدل جريان الزمن كمفهوم يحدد وفق إطار فضاء الزمكان، أمكن تتبُعُه على حركة دائرية في فضاء الميكانيكا الكلاسيكية وهي فضاء حركة مؤشرات الزمن في الساعات التناظرية شائعة الاستخدام.

من كل ذلك تحقق للبحث إيجاد أداة قياس زمنية تربط بين عدة مجالات فيزيائية وتسمح بمراقبة سلوك مفاهيم فيزيائية عصرية حديثة، كالنسبية ومعدل جريان الزمن بالقرب من الثقوب السوداء _عند قيم قريبة جداً من نصف قطر شفارتزشيلد (Schwarzschild)[11] _ على أداة قياس كلاسيكية تناسب مقياس الزمن في نطاق تعامل الإنسان المباشر مع الطبيعة وسلوكه الحياتي اليومي، ومقدار السرعات المحسوسة التي يتمكن من مراقبتها عيانياً؛ ليمهد ذلك الطريق لفهم أكثر وأدق للظواهر الفيزيائية في الكون المرئي.

قائمة المراجع.

[1] أنشتاين، أ. (2005). النظرية النسبية الخاصة والعامة (رمسيس شحاتة، مُترجِم). المجلس الأعلى للثقافة.

[2] ALHASSAN, M. (2021). SPCETIME CLOCK. World Intellectual Property. P. N. WO/2021/025599.

[3] BECKETT, E. & GRIMTHORPE, L. (1903). CLOCKS, WATCHES, & BELLS FOR PUBLIC PURPOSES. D. VAN NOSTRAND COMPANY.

[4] David, H. & James, H. (1963). Measurement of the Relativistic Time Dilation Using μ-Mesons. American Journal of Physics.

[5] Enrico, M. (2013). Time, Atomic Clocks, and Relativistic Geodesy. Deutsche Geodätische Kommission.

[6] Einstein, A. (1920). Relativity: the special and the general theory. (2nd ed.). New York

[7] Grossmann, J. & Grossmann, H. (1905). LE SSONS IN H OROLOGY -VOLUME 1- The Principles of Cosmography and Mechanics Relating to the Measurement of Time. THE KEYSTONE.

[8] MARY, L. BOAS. (2006). MATHEMATICAL METHODS IN THE PHYSICAL SCIENCES. (3nd ed.). Kaye Pace.

[9] Rybicki, M. (2022). Gravitational Time Dilation inside the solid. (July 13 2022). Journal of Modern Physics.

[10] Rickey, W. (2017). Gravitational Time Dilation Derived from Special Relativity and Newtonian Gravitational Potential. European Scientific Journal January.

[11] Ryder, L. (2009). Introduction to General Relativity Cambridge University Press, New York.

[12] Serway, R. & Jewett, J. (2004). Physics for Scientists and Engineers (6nd ed.). Books Cole.

[13] Sundqvist, J. & Brands, S. & Alex, D. & Bestenlehner, J. & Crowther, P. & Puls, J. &, aida M. Caballero-Nieves, S. & Abdul-Masih, M. & Driessen, F. & García, M. & Geen, S. & Gräfener, G. & Hawcroft, C. & Kaper, L. & Keszthelyi, Z. & Langer, N. & Sana, H. &. Schneider, F. & Shenar, T. & Vink, J. (2022). The R136 star cluster dissected with Hubble Space Telescope/STIS. Astronomy & Astrophysics. 663, A36 (2022).

[14] The Event Horizon Telescope Collaboration. (2022). First Sagittarius A* Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole in the Center of the Milky Way. The Astrophysical Journal Letters. 930: L12 (21pp), 2022 May 10.