[السنة]

الجمهورية العربية السورية

وزارة التربية

المركز الوطني للمتميزين

النظرية النسبية العامة

اعداد :لوميير مهاجر

بإشراف المدرس:محمود نوح

للعام الدراسي:2014-2015

مخطط البحث

1-مقدمة

2-تعريف النظرية النسبية الخاصة والعامة

3-تاريخ النظرية النسبية العامة

4-هندسة الجاذبية النيوتنية

5-مبدأ التكافؤ في النسبية العامة

6-النتائج الهندسية

7-معادلاته للمجال

8-اصطلاح الإشارة

9-صيغ مكافئة

10-الثابت الكوني

11-معادلات اللا خطية

12-مبدأ التوافق بين النسبية وقانون الجذب العام

13-مشاكل النظرية النسبية

14-الخاتمة

المقدمة والاشكالية

ما هو منشأ الكون وكيف ظهرت المادة الى الوجود وكيف ستكون نهاية الكون؟

إن نظرية التوسع الكوني هي أكثر المفاهيم شيوعاً في العلم الحديث والتوسع الكوني هو نظرية كان أول من اطلقها آلن كوث وهو فيزيائي متميز من معهدمساتشستس للتكنولوجياثم أدخلت عليها تعديلات على أيدي العديد من العلماء استجابةً للمشكلات الكونية فإن كل باحث يتقبل اليوم في أن الكون قد بدأ بانفجار عظيم على الرغم من أنه هناك العديد من جوانب الكون التي لا يمكن تفسيرها بناءً على هذه النظرية

تتصل بالواقع المتمثل في أن نموذج الانفجار العظيم نموذج غير مستقر لا يمكنه الاستقرار كما نراه اليومالا اذا رسمت الحالة الابتدائية للكون عند لحظة الانفجار العظيم وبدقة بالغة

تقتضي نظرية التوسع بأن الكون الفتي في مراحل نشأته الأولى قد توسع بسرعة أكبر بما لا يقاس من سرعة توسعه الحالية (حيث صار حجمه متمدداً تمدداً انفجارياً)

في سنة 1887 وفي واحدة من أهم التجارب بالعلمية على الإطلاق تمكن العالمان الأمريكيان ألبرت مايكلسن وإدوارد مورلي من إثبات أن السرعة الظاهرية للضوء من اثبات أن السرعة الظاهرية للضوء لا تتأثر بحركة الأرض وكانت هذه التجربة محرجة جداًللجميع آنذاك إذ ناقضت الفكرة التي تمليها الفطرة السليمة بأن السرعات تتزايد دوماً

وجاءت النظرية النسبية الخاصة لأينشتاين في جزء منها استجابة لتجربة مايكلسن_مورلي فما أدركه أينشتاين هو أنه مل لم تتغير قيمة الثابت(سرعة الضوء)فهناك شيء آخر يترتب على هذا المفهوه _انهيار فكرة المكان والزمان العام اللامتغير

وفي حياتنا اليومية هذا مخالف للبداهة _حيث ينظر إلى المكان والزمان على أنهما يتصفان بصفة شمولية وعدم المرونة إلا أن أينشتاين رأى فيهما شيئاً قابلاً للإنثناء والتغير يتمدد ويتقلص تبعاً لحركات النسبية للواصد والمرصود في حين ان الجانب الوحيد الذي لا يتغير من الكون هو سرعة الضوء

وهكذا ظهرت النظريتان النسبيتان لأينشتاين الخاصة والعامة....

النظرية النسبية الخاصة:

مبادئ النظرية النسبيّة الخاصّة:

تعتمد النسبيّة الخاصّة على مبدأين أساسيّين:

1- سرعة الضوء هي نفسها بالنسبة لأيّ مراقب، بعبارة أخرى سرعة الضوء مستقلّة عن جملة المقارنة التي يجري فيها القياس.

ولإيضاح ذلك تخيّل نفسك تركب سيارة تسير على طريق مستقيمة بسرعة ثابتة، يتوقّف على الطريق صديق لك ويحمل جهاز ليزر موّجهاً بجهة حركتك، إذا قاس شخص ثالث متوقّف على الطريق سرعة انتشار حزمة الليزر سيجدها مساوية $c \approx 3\times10^{8}\ m.s^{-1}$ وهي سرعة الضوء، إذا كان لديك جهاز قياس لسرعة الضوء وقست سرعة الضوء وأنت في السيارة (وهي جملة عطالية لأنّها تتحرّك بسرعة ثابتة بالنسبة للجملة المرتبطة بسطح الأرض التي نفترضها عطالية) فستجد أنّ السرعة تساوي أيضاً $c \approx 3\times10^{8}\ m.s^{-1}$، هذه النتيجة تختلف عمّا تعوّدنا عليه عند تركيب السرعات.

2- تأخذ القوانين الفيزيائية التعبير الرياضي نفسه في جميع جمل المقارنة العطالية.

مثال على ذلك إذا كان لديك في المثال السابق كرتان مشحونتان فإنّ قوّة التأثير المتبادل بين الشحنتين ستكون نفسها، سواء أقمت أنت بقياسها أم قاسها شخص متوقّف على الطريق.

علاقات الميكانيك النسبي

لقد طرحت النظرية النسبية علاقات متعددة وهي

أ- الكتلة: $m = \gamma m_0$

حيث: $\gamma = \frac{1}{\sqrt{(1-\frac{v^2}{c^2})}}$

ب- الطاقة: $E = \gamma m_0 c^2$

ت- كمّية الحركة: $P = \gamma m_0 v$

$$t_2 = \gamma t_1$$

$$l_2 = \frac{l_1}{\gamma}$$

وتأخذ هذه النظرية أهميتها بأنها قد أوجدت تكافؤاً بين الكتلة والطاقة والذي بدوره لم يكن موجوداً من قبل كما أنها أعطت الزمن مفهوماً جديداً وأدخلته في رسم صورة لم يعتد العالم أن يراه فيها [1]

لكن وبالرغم من أن النظرية النسبية الخاصة كان سيدة عصرها إلا أنها لاقت مشكلة صغيرة فيما يسمى مفارقة التوأمين :بفرض أن هنالك توأمان أحدهما على الأرض والآخر في مركبة تسير بسرعة الضوء فلما يعود الذي كان في المركبة إلى الأرض سيرى أخاه عجوزاً_وكأنه مستقبله بالضبط_أما الآخر فسيظن أن أخاه الذي كان في سار بسرعة الضوء هو ماضيه فمن الذي على صواب؟؟؟

وهكذا جاءت النظرية النسبية العامة لتسد الثغرات التي واجهت النظرية النسبية الخاصة وترممها [2]

تاريخ النظرية النسبية العامة

بعد وقت قصير من نشره للنظرية النسبية الخاصة في عام 1905 ، بدأ أينشتاين التفكير في كيفية دمج الجاذبية بالنسبية في إطار جديد. في عام 1907 ، بدأ في تجربة فكرية بسيطة تشمل مراقبة سقوط حر واستمر البحث لمدة ثماني سنوات للوصول إلى نظرية نسبية بالجاذبية. بعد العديد من الطرق الالتفافية وبدايات خاطئة، بلغ عمله ذروته في عام 1915 حيث

[1] كتاب الثاني الثانوي في الفيزياء_الجمهورية العربية السورية
[2] النظرية النسبية الخاصة_كلية العلوم والأداب جامعة المرقب

عرض في الأكاديمية البروسية للعلوم ما يعرف الآن باسم معادلات أينشتاين للمجال. هذه المعادلات تحدد تأثير هندسة المكان والزمن على أي مادة، وتشكل هذه المعادلات جوهر نظرية أينشتاين في النسبية العامة.

إن معادلات أينشتاين للمجال هي معادلات غير خطية ومن الصعب حلها. وقد استخدم أينشتاين طريقة تقريبية للخروج بالنتيجة التي تنبأ فيها. في بداية عام 1916 وجد عالم الفلك كارل شوارزشيلد الحل التام لمعادلات أينشتاين ودعيت مترية شوارزشيلد. وهذه الحلول وضعت الحل لوصف المراحل الأخيرة من انهيار الجاذبية، والأجسام التي تعرف اليوم ثقوب سوداء. وآانت الخطوة الأولى في تعميم شوارزشيلد

في حلول الأجسام المشحونة كهربائيا وفي النهاية أسفرت عن مترية ريسنر نوردستوورم. وهي حاليا مرتبطة بشحنة الثقب الأسود. طبق أينشتاين في سنة 1917 نظريته على الكون ككل، والشروع في النسبية الكونية. وكان قد فرض تماشيا مع الفكر السائد أن الكون ساكن وأضاف حد أو معامل جديد إلى معادلات. المجال (الحقل) وهو الثابت الكوني Λ

أدت حلول ألكسندر فيردمان إلى فكرة تمدد الكون سنة 1922 عن طريق الاستغناء عن الثابت والتي أيدت فيما بعد بواسطة مراقبات إدوين هابل وآخرين. واستخدم جورجيوس ليمرت هذه Λ الكوني الحلول ليصيغ أول شكل من نظرية الانفجار العظيم[3] من أن الكون تطورمن حالة بدائية مفرطة في السخونة والكثافة. اعترف أينشتاين فيما بعد بأن اعتباره بأن الكون ثابت أن أكبر خطأ ارتكبه في حياته.

خلال تلك الفترة بقيت النظرية النسبية العامة كنوع من الفضول في مواضيع النظريات فيزيائية، وبقي واضحا تفوق قانون الجذب العام لنيوتن، والتي بدت منسجمة مع النسبية الخاصة إلي استخدم في العديد من الحالات التي يمكن شرحها من خلال قانون نيوتن. والتي بدت منسجمة مع النسبية الخاصة إلي استخدم في العديد

من الحالات التي يمكن شرحها من خلال قانون نيوتن.

هندسة الجاذبية النيوتونية

حسب قواعد الميكانيك الكلاسيكي فإن حركة الجسم توصف بدرجات الحرية و بأنها مكونة من حركة حرة (أو حركة مقصورة) أو (العطالة)، ومقدار انحرافه عن هذه الحركة الحرة. فعلى سبيل المثال القوى الخارجية المطبقة على جسم متحرك وفق قانون نيوتن الثاني والذي ينص على أن مجموع القوى

الخارجية بشكل شعاعي المطبقة على جسم يساوي إلى جداء كتلة (العطالة) الجسم بالقيمة الشعاعية للتسارع. ترتبط الحركة المقصورة بهندسة الزمان و المكان، ففي الإطار المرجعي التقليدي للميكانيك

الكلاسيكي فإن الجسم ذو الحركة الحرة يتحرك على طول خط مستقيم وفق سرعة ثابتة. أما وفق المصطلح الجديد فإن المسار هو مسار جيوديزي فهو خطوط مستقيمة ضمن فضاء منحني.

[3] النظرية النسبية العامة –جلال الحاج عبد

مبدأ التكافؤ في النسبية العامة

نميز في الفيزياء بين مراجع عطالية (جمل مرجعية عطالية)حيث يمكن لأي جسم أن يحافظ على حركته المنتظمة في الجمل ومراجع غير عطالية,

العطالية ما لم يخضع لقوة ما أو يتأثر بجسم آخر ضمن نفس الجملة، في حين تكتسب الأجسام في الجمل غير العطالية تسارعا ناتجا عن حركة الجملة نفسها وتسارعها وليس نتيجة تأثير جسم داخلي ضمن في حالة الجملة. تتم تفسير مقاومة هذا التسارع بقوى افتراضية ندعوها قوى العطالة الحركة المستقيمة للجمل المرجعية أو قوى العطالة النابذة في حالة الحركة الدورانية للجمل المرجعية. هذه القوى تعتبر قوى افتراضية غير فيزيائية في الميكانيك الكلاسيكي النيوتنيه لكن في النسبية العامة ليس هناك مجالا لمثل هذا التمييز حسب مبدأ التكافؤ. وليس هناك من قوة ثقالية ضمن المعلم المرجعي في حالة السقوط الحر (الحركة المتسارعة) عدا القوى المدية للثقالة التي تشوه الأجسام دون التأثير على حركتها وسرعتها (دون تسارع). وحتى محاولات الكشف عن الأمواج الثقالية تعتمد على هذه القوى المدية

و قد استند اينشتاين في الواقع على حقيقة معروفة منذ غاليليو ألا وهي تماثل الكتلتين الثقالية والعطالية للأجسام،. مما يؤكد أن التسارع الحركي والثقالة هي مظهر لأمر واحد ويفترض أنه لا وجود لأي تجربة يمكن أن تميز بين حقل ثقالي- جاذبية - و تسارع منتظم. وسرعان ما وسع اينشتاين مبدأ التكافؤ في نظريته ليشمل مفهوما إضافيا هو استحالة تحديد حالة الحركة لجملة مرجعية غير متسارعة عن طريق أي قياس فيزيائي. وعلى هذا فلا يمكن إيجاد أي تغير في الثوابت الفيزيائية الأساسية مثل كتلة السكون (في حالة السكون) أو الشحن الكهربائية للجسيمات الأولية، وإلا فان أي تغير في هذه الثوابت يطعن في صحة النسبية العامة.

النتائج الهندسية

بالرغم من الاهتمام الأساسي في الهندسة كان منصبا لفترة طويلة على القواعد في الفضاء الإقليدي فيما يعرف بالهندسة الاقليدية فقد قام عدد من علماء الرياضيات بصياغة هندسات لا اقليدية مثل لوباتشو و فسكيو و ريمانو و غاوس وغيرهم. لكن التصور الأساسي للفضاء بقي اقليديا طيلة قرون لتوافقه مع معظم النظريات الفيزيائية بخاصة ميكانيك نيوتن. لكن ظهور النسبية العامة فتح الباب للاعتقاد حول لا اقليدية الزمكان (الزمان + المكان = الزمكان) وقد أكدت الكثير من التجارب هذه الحقيقة.

معادلات أينشتاين للمجال

معادلات آينشتين للمجال أو معادلات آينشتاين هي مجموعة عشر معادلات في نظرية ألبرت آينشتاين للنسبية العامة والتي تصف التأثر الأساسي في الثقالة جراء تقوس الزمكان مع كل من المادة والطاقة. نشرت بداية بواسطة آينشتاين في 1915 على أنها معادلة مؤتر، تعادل معادلات آينشتين للمجال انحناء الزمكان (يعبر عنها بمؤتر آينشتاين) مع الطاقة وكمية الحركة ضمن ذلك الزمكان (المعبرعنها بموتر الإجهاد -الطاقة). وبشكل مشابه لكيفية إيجاد المجالات الكهرومغناطيسية باستعمال الشحنات

والتيارات من خلال معادلات ماكسويل، تستعمل معادلات آينشتين للمجال لإيجاد الهندسة الفضائية للزمكان من وجود الكتلة والطاقة وكمية التحرك الخطي، أي أنها تعطي المؤتر المتري للزمكان بدلالة ترتيب من الإجهاد-والطاقة تسمح العلاقة بين المؤتر المتري وموتر آينشتاين بكتابة معادلات آينشتاين كمجموعة من معادلات تفاضلية لا خطية عند استخدامها بهذه الطريقة فحلول معادلات آينشتين للمجال تمثل مركبات المؤتر المتري. المقذوفات العطالية للجسيمات وجيوديسيا الإشعاع في الهندسة التحليلية الناتجة تحسب بعد ذلك باستعمال المعادلة الجيوديسية. إضافة لامتثالها لقوانين إنحفاظ كمية الحركة-والطاقة، تؤول معادلات آينشتين للمجال إلى قانون نيوتن إذا كان المجال الثقالي ضعيفا والسرعات أقل بكثير من سرعة الضوء في الزمكان. يمكن أن تتضمن الحلول التقنية لمعادلات آينشتاين للمجال تبسيط الفرضيات مثل التماثل ويمكن الحصول على تبسيطات أفضل بتقريب الزمكان الفعلي كزمكان مسطح[4]

يمكن كتابة معادلات آينشتاين للحقل

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R + g_{\mu\nu}\Lambda = \frac{8\pi G}{C^4} T_{\mu\nu} \qquad (1.1)$$

حيث:

$R_{\mu\nu}$: تمثل انحناء ريتشي *(Ricci)* , R انحناء سلمي، $g_{\mu\nu}$ موتر المترية، Λ يمثل ثابت كوني، G ثابت الجذب العام ، C هي سرعة الضوء و $T_{\mu\nu}$ موتر الإجهاد- الطاقة.

معادلات آينشتاين للحقل هي معادلة تربط بين مجموعة من موترات 4×4 تماثلية لكل موتر توجد 10 مرآبات مستقلة .بإمكانية حرية الاختيار لإحداثيات الزمكان الأربعة، تؤول المعادلات المستقلة إلى6

عدديا بالرغم من أن معادلات آينشتاين للمجال تمت صياغتها في السياق بداية من نظرية رباعية الأبعاد

فقد قام بعض النظريين بتوسيع نتائجها إلىn من الأبعاد المعادلات في السياق خارج النسبية العامة لازال يشار إليها بمعادلات آينشتاين للمجال .بالرغم من المنظر البسيط الذي تبدو عليه المعادلات، إلا أنها

معقدة في الواقع .إذا علم توزيع معين للمادة والطاقة على هيئة موتر إجهاد - طاقة فإن معادلات آينشتاين للحقل تفهم على أنها معادلتان للموتر المترية ، لما كانت آلتيها موتر ريشي والانحناء السلمي معتمدة

على المترية بطريقة لا خطية معقدة، في الحقيقة، عند كتابتها آليا، فإن معادلات آينشتاين للحقل تمثل جملة من 10 معادلات تفاضلية جزئية، مرتبطة لا خطية. يمكن للمرء كتابة معادلات آينشتاين للحقل بصورة أآثر اندماجية بتعريف موتر آينشتاين

[4] النظرية النسبية العامة والخاصة_ألبرت أينشتاين

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} \qquad (1.2)$$

وهو مؤثر من الرتبة الثانية بشكل دالة في المترية .يمكن حينئذ كتابة معادلات آينشتاين للحقل على الشكل:

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{C^4} T_{\mu\nu} - g_{\mu\nu}\Lambda \qquad (1.3)$$

باستعمال وحدات هندسية حيث $G = c = 1$ يمكن إعادة كتابتها كالآتي [5]

$$G_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu} - g_{\mu\nu}\Lambda \qquad (1.4)$$

الحد الأيسر يمثل تقوس الفضاء والزمان(الزمكان)الذي يتم إيجاده من المترية بينما الحد على الطرف الأيمن يمثل محتوى الطاقة/المادة من الزمكان .بالتالي يمكن تفسير معادلات آينشتاين للحقل كمجموعة من المعادلات تملي علينا كيفية ارتباط تقوس الزمكان بمحتوى المادة\الطاقة في الكون .هذه مع المعادلات مع المعادلة الجيوديسية، تشكل نواة الصيغ الرياضية في النسبية العامة

اصطلاح الإشارة

يمثل الشكل السابق من معادلات آينشتاين للحقل المعيار الذي تما تأسيسه في كتاب مسنر و ثورن و ويلر .قام المؤلفون بتحليل جميع الاصطلاحات الموجودة وصنفها وفقا للإشارات الثلاثة التالية S1,S2,S3 :

$$\eta_{\mu\nu} = [S1] \times diag(-1,+1,+1,+1) \qquad (1.5)$$

$$R^{\mu}_{\alpha\beta\gamma} = [S2] \times (\Gamma^{\mu}_{\alpha\gamma,\beta} - \Gamma^{\mu}_{\alpha\beta,\gamma} + \Gamma^{\mu}_{\sigma\beta}\Gamma^{\sigma}_{\gamma\alpha} - \Gamma^{\mu}_{\sigma\gamma}\Gamma^{\sigma}_{\beta\alpha}) \qquad (1.6)$$

$$G_{\mu\nu} = [S3]\frac{8\pi G}{C^4} T_{\mu\nu} \qquad (1.7)$$

[5] النظرية النسبية العامة جلال الحاج عبد

الإشارة الثالثة أعلاه تتعلق باختيار الاصطلاح لموتر ريشي

$$R_{\mu\nu} = [S2] \times [S3] \times R^{\alpha}{}_{\mu\alpha\nu} \qquad (1.8)$$

استخدم الباحثون بما فيهم آينشتاين إشارة مختلفة في تعريفهم لمؤتر ريشي والذي نتج عنه أن أصبحت إشارة الثابت على الطرف الأيمن سالبة

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R - g_{\mu\nu} \Lambda = -\frac{8\pi G}{C^4} T_{\mu\nu} \qquad (1.9)$$

إذا نستعمل هنا اصطلاحا الإشارة المترية{+، +، +، -}

صيغ مكافئة

يمكن كتابة معادلات آينشتين للمجال بالشكل المكافئ التالي:

$$R_{\mu\nu} - g_{\mu\nu} \Lambda = -\frac{8\pi G}{C^4} (T_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} T) \qquad (1.10)$$

والتي يمكن أن تكون أكثر ملائمة في بعض الأحيان

الثابت الكوني

قام آينشتاين بتعديل معادلاته الأصلية للمجال كي تتضمن حدا كونيا متناسبا مع المترية:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R + g_{\mu\nu} \Lambda = \frac{8\pi G}{C^4} T_{\mu\nu} \qquad (1.11)$$

الثابت Λ يعد ثابت كوني و لأن Λثابتا فلن يتأثر مبدأ إنحفاظ الطاقة .فقد قدم آينشتاين ثابت الحد الكوني أصلا لوصف كون الديناميكي .هناك تقنيات فلكية متطورة حديثة قد وجدت أن القيمة الموجبة لΛضرورية لتفسير بعض المشاهد الكونية

التي هي جوهر البحوث العلمية المعاصرة كان آينشتاين يعتقد بأن الثابت الكوني وسيط مستقل، لكن حده في المعادلة يمكن أن ينتقل إلى الطرف الآخر جبريا، المكتوب كجزء من موتر الإجهاد والطاقة[6]

$$T_{\mu\nu}^{(vac)} = -\frac{c^4}{8\pi G}\Lambda g_{\mu\nu} \qquad (1.12)$$

تعتبر طاقة الفراغ بالعلاقة

$$\rho_{vac} = -\frac{c^2}{8\pi G}\Lambda \qquad (1.13)$$

بالتالي فإن وجود ثابت آوني ذات طاقة فراغ غير معدومة لا تساوي صفر .اليوم تستعمل الحدود في النسبية العامة بشكل تبادلية

معادلات آينشتاين اللا خطية

إن لا خطية معادلات آينشتين للمجال يميز النسبية العامة عن نظريات فيزيائية أخرى عديدة .على سبيل المثال، ماكسويل الكهرومغناطيسية تكون خطية في توزيعات المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي والشحنة والتيار(أي أن مجموع الحلين هو حل أيضا)، مثال آخر هو معادلة شرودنجر في ميكانيكا الكم والتي هي خطية في دالة الموجة

مبدأ التوافق بين النسبية وقانون الجذب العام لنيوتن

تؤول معادلات آينشتاين للحقل إلى قانون الجذب العام لنيوتن باستعمال آل من تقريب المجال الضعيف وتقريب الحركة البطيئة(السرعات ضعيفة أمام سرعة الضوء)في الواقع، الثابت الذي يظهر في معادلات آينشتاين للحقل نحصل عليه بفعل هذين التقريبين

[6] النظرية النسبية العامة

لقد نجحت النظرية النسبية في وضع وتفسير العديد من الافتراضات الهامة في الفيزياء الفلكية، مثل وجود الثقوب السوداء (مناطق من الفضاء ذات جاذبية قوية وفيها يتشوه المكان والزمان بطريقة لا تسمح بهروب أي شيء، حتى الضوء) وقت نهاية النجوم الكبيرة. توجد العديد من الأدلة تثبت أن الإشعاع الشديد يصدر من أنواع محددة من الأجسام الفلكية بسبب الثقوب السوداء، على سبيل المثال ينتج النجم الزائف الصغري، وتنتج نواة المجرة النشطة من وجود الثقوب السوداء النجمية والثقوب السوداء الفائقة الضخامة على التوالي. من الممكن أن يقود انحناء الضوء بالجاذبية إلى تشكل عدسات الجاذبية المؤدية لظهور عدة صور مرئية لنفس الجسم الفلكي البعيد في السماء، وأضافت فكرة تقعر الفراغ بوجود المادة، وهو الأمر الذي يعني أن الخطوط المستقيمة تتشوه بوجود الكتلة، الأمر الذي أثبت عندما تحقق تنبؤ أينشتاين بالتباعد الظاهري لنجمين في فترة كسوف الشمس وذلك يعود إلى تشوه مسار الضوء القادم من النجمين بسبب مرورهما قرب الشمس ذات الكتلة العالية نسبيا وبالتالي تقوس خط سير الضوء القادم من النجمين. تنبأت النسبية العامة أيضا بوجود أمواج الجاذبية والتي لوحظت وقتها بشكل غير مباشر ولايزال رصدها بشكل[7] مباشر هدف بعض المشاريع مثل ليغو، ومشروع وكالة الفضاء الأمريكية ووكالة الفضاء الأوروبية "ليزا ."بالإضافة لذلك تمثل النسبية العامة الأساس لنماذج علم الكون الفيزيائي الحالية لكون دائم التوسع.

ولكن.....لماذا كلما حاول العلماء دمج النظرية النسبية والنظرية الكمومية سوية واجهوا فشلاً ذريعاً ؟لعل سرعة الضوء المتغيرة هي ما نفتقره في دراستنا ....أيعقل أن سرعة الضوء متغيرة وأن افتراض ثباتها هو ما أعاق الأبحاث النظرية في أن تكتمل,قد تصبح نظرية السرعة المتفاوتة للضوء أكثر من مجرد ظاهرة حذس علمي فمن الممكن أن تعمق آلية فهمنا للكون بصورة لم نتخيلها من قبلاً

أم هنالك مشكلة فيما فكر فيه أينشتاين ؟؟؟؟؟

[7] فيزياء العقل البشري والعالم من منظورين

تمثَّلت مبادرةُ أينشتاين التالية في إيجاد نموذجٍ رياضيٍّ لهذا الكيان الهائل استناداً إلى النسبية العامة. وقد وصف ذلك النموذجُ الكونَ بأنه مادةٌ غير اعتيادية تُسمَّىٰ السائل الكوني *Cosmological Fluid* الذي يتركَّب من جزيئاتٍ استثنائية تؤلِّف جملةَ المجرّات. لكن أينشتاين سرعان ما وجد أنَّ معادلة الحقل الثقالي التي صاغها أتاحت له رسمَ العلاقات فيما بين كل المتغيّرات Variables التي تصف الكون، وكيف تبدَّلت تلك المتغيِّرات بمرور الزمن. لكنه ما إنْ فعل ذلك حتىٰ أُصيب بصدمةٍ مزعجة؛ فقد أشارت معادلتُه إلى أنَّ الكون متحرّكٌ وليس ساكناً، إذ تقضي نظريةُ النسبية العامة أنّا نعيش في كونٍ تمدَّدَ تمدُّداً انفجارياً بفعل ولادةٍ عنيفةٍ في إطار الانفجار العظيم.

إنَّ الكون المضطرب الذي تصوِّره النسبيةُ العامة هو من بعض النواحي ذو طبيعةٍ تُحاكي طبيعة بعض البشر من حيث جموحه وجفائه وخصوصية سلوكه، غير أنه يستمدّ صفة اضطرابه من حقيقةٍ بسيطة هي أنَّ الثقالة قوةٌ جاذبة. وهذا صحيح سواء عُدَّت الثقالةُ قوةً (حسب نيوتن) أم هندسةً (حسب أينشتاين)، فالفطرة السليمة تقضي بأنَّ الأرض تجذبنا نحو مركزها بدلاً من أن تنبذنا بعيداً عنها نحو السماء.

لكنَّ هذه الحقيقة البسيطة ـ صفة الجذب في قوة الثقالة ـ تكفي تماماً للقول باستحالة أن يكون الكون ساكناً، وقد لاحظ نيوتن ذلك علىٰ الفور وبنىٰ عليه وفقاً للمحاكمة التالية: استحضِرْ في ذهنك كوناً ساكناً وَدَعْه يتطوَّر من تلقاء ذاته. فإذا تُرك لثقالته انهار في الحال تحت وطأة ثقله، لأنَّ كلاً من أجزائه يجذب سائر الأجزاء بحركةٍ انقباضيةٍ تنتهي بانكماشٍ عظيم Big Crunch والطريقة الوحيدة للحيلولة دون انهيار الكون بفعل الثقالة هي الأخذ بفكرة كونٍ متمدِّد تنفصل فيه الأشياء كلاً علىٰ حدة، ثم يأتي دور الثقالة في تخفيض سرعة التمدُّد الكوني، فتعمل قوةُ جذبها علىٰ إعادة تماسك كلِّ شيءٍ من جديد مبطئةً الاندفاع الكوني. لكنَّ قوةَ الجذب التثاقلي هذه لن تستطيع إيقافه أبداً إذا كانت سرعةُ الحركة نحو الخارج كافية، وبهذه الطريقة يمكن تجنُّب حدوث انكماشٍ عظيم.

لنطرح الفكرة بمزيد من الدقة: إذا اعتمدنا كوناً يخضع لحركةٍ نحو الخارج فنحن أمام عاملَيْن متآثرَيْن هما: الحركة الكونية وقوة الثقالة. وعلينا تبعاً لذلك أن نوازن معدَّل توسُّع الكون في زمنٍ ما مقابل مقدار كتلته (ومدىٰ قوة جذب الثقالة له لتتماسك أجزاؤه من جديد). كذلك فهناك سرعةٌ خارجيةٌ حاسمة لأي كتلةٍ معلومة، هي ما يسمَّىٰ سرعة الإفلات Escape Velocity للكون. وهذا ليس بعيد الشبه بما يحدث لصاروخٍ يحاول مغادرة الأرض؛ فإذا زوِّد بسرعة انطلاقٍ عالية انفلتَ في آخر المطاف من قوة ثقالة الأرض وهام في الفضاء الخارجي

إلىٰ الأبد. أما إذا كانت الانطلاقة منخفضة السرعة عملتْ فيه القوةُ الثقالية الجاذبة وأعادته إلى الأرض بعد حين. كذلك الأمر في حالة كثافة مادةٍ معيَّنةٍ في الكون، إذ تجد أنَّ ثمة سرعةَ تمدُّدٍ كوني حاسمة يتوقف الكون دونها عن التوسُّع مُنكفئاً على نفسه في النهاية، وإذا تجاوزها توسَّعَ إلى الأبد.

ولما كانت الثقالةُ قوةً جاذبة، فإنَّ الكون لا يميل إلى السكون بحالٍ من الأحوال، بل ما يفتأ ينزع إلى الحركة تمدُّداً أو تقلُّصاً، وهذا ما رفضه أينشتاين، ومن هنا بدأ خطؤه الكبير، عندما راح يسعى إلىٰ كونٍ ساكنٍ في معادلاته الحقلية.

وقد أجرىٰ تعديله بإدخال عنصرٍ رياضيٍّ آخر على معادلته الحقلية، هو العنصر لامدا Lambda (الحرف اليوناني λ) الذي كثيراً ما يُعرَف بـ «الثابت الكوني Cosmological Constant»، وكان تعديلاً مبهماً عويصاً بلغ حدَّ إسناد الطاقة والكتلة والوزن إلى العدم *Nothing* أو الخواء *Vacuum* وهو إلى جانب ذلك عنصر مراوغةٍ أساء إلىٰ نظريةٍ رائعةٍ لولا ذاك التعديل؛ إنه شيء أُقحم

اعتباطاً ودون مُبرِّر سوى التثبّت من إمكان التنبُّؤ بكونٍ ساكنٍ عن طريق نظرية النسبية العامة.

صحيحٌ أنَّ الثابت الكوني تعديلٌ بسيطٌ على معادلة أينشتاين قد يبدو للوهلة الأولى حميداً لا غُبار عليه، لا سيما وأنَّ التنبُّؤات الخاصَّة بمدار كوكب عطارد وانحراف الضوء، على سبيل المثال، لم تتأثر في جوهرها؛ لكنَّ الأمر مختلفٌ تماماً عندما يتعلق بصميم أغراض علم الكون وعلىٰ المستوىٰ الأساسي منه،

حتىٰ بات هذا الثابت إلىٰ يومنا هذا يُمثِّل عبئاً ثقيلاً في الفيزياء يبدو أنّا غير قادرين على التخلُّص منه. وفي أثناء عملي شخصياً في نظرية تفاوت سرعة الضوء طال ليلي فلم أَنَمْ وشبحُ لامدا ما انفكَّ ينتابني ليالي طوالاً.

وبما أن نقض نظرية أينشتاين فكرة لا يتقبلها العالم بسهولة فقد اقتسبت هذه الفقرة المتتالية من كتاب أسرع من سرعة الضوء للفيزيائي جواو ماكيو يجو الذي كان أول من اقترح أن سرعة الضوء كانت أكبر مما هي عليه الآن عند بداية الكون

الخاتمة

وكما رأينا أن أينشتاين قد استخدم حججه القوية في بلورة نظريته وصونها ضد الانتقاد ورغم كل هذا هنالك بعض الالتباسات حولها وهكذا يغدو السؤال النهائي هل النظرية النسبية حقيقة يسري عليها الكون ؟أم أنها محض خيال برزناه بأنفسنا

المصادر والمراجع

النظرية النسبية الخاصة والعامة	ألبرت أينشتاين
النظرية النسبية الخاصة	ناظم حسون-عياد شاحوت-بثينة عبد المنعم ابراهيم
النظرية النسبية العامة	جلال الحاج عبد
فيزياء العقل البشري والعالم من منظورين	روجر بنروز وأدمن شيبوني و نانسي كارترايت وستيفن هوكينغ
أسرع من سرعة الضوء	جواو ماكيويجو

الفهرس

اشكالية	1
مقدمة	1
تعريف النظرية النسبية العامة	2
تاريخها	3
الهندسة الجاذبية النيوتنية	4
مبدأ التكافؤ	5
النتائج الهندسية	5
معادلات أينشتاين للمجال	6
اصطلاح الإشارة	6
صيغ مكافئة	7
الثابت الكوني	9
معادلات أينشتاين اللاخطية	9
مبدأ التوافق	9
مشاكل النظرية النسبية	11
الخاتمة	11