**الجمهورية العربية السورية**

**وزارة التربية  
المركز الوطني للمتميزين**



**[اكتب اسم الشركة]**

[السنة]

**[اكتب عنوان المستند]**

**[اكتب العنوان الفرعي للمستند]**

**aiham6411**

اعداد الطلاب: لوميير مهاجر \_ زينب حبيب \_ ليليان إسماعيل \_ عروة ضوا \_علي العلي \_ابراهيم السمر

بإشراف: أ.رشا عثمان أ.محمود نوح

**مشروع بحث في مادة الفيزياء النظرية**

من قلب الكون إلى حافة المجهول

**المقدمة:**

كوننا المعجز هو واحد من أهم المعضلات التاريخية التي حارت العقول أمامه ولعلنا نحاول بشتّى الوسائل أن نصل إلى وصفٍ مقاربٍ للكون ولماهيّته

وغالباً ما نعتمد العقل والخيال والمعادلات الرياضية في وصف الأشياء التي لا يمكننا إدراكها بالحواس ولكن.......

هل هذا الكلام ينطبق على الكون؟ وبمعنى آخر هل يمكننا أن نصف الكون وما يجري به من أحداث بالمعادلات الرياضية والنظريات الفيزيائية المعاصرة؟

إلى أي حد تكون هذه المعادلات معقولة ومنطقية مستساغة للعقل البشري؟ ومتى تفقد هذه الوصوف الرياضية قيمتها؟؟

هذا ما سنعرفه من خلال البحث الذي قمنا به ونتمنى أن ينال إعجابكم

**إشكالية البحث:**

وكما أسلفنا سابقاً نبتغي من بحثنا هذا معرفة إن كان بإمكاننا وصف الكون وتحديد شكله بالمعادلات الرياضية

ومعرفة إن كانت هذه المعادلات ذات مصداقية في أي وقت من الوجود أم في وقت وحالة محددين؟

راجين الله أن يوفقنا

مخطط البحث

1-مقدمة

2-إشكالية البحث

3-مخطط البحث

4-تصنيف النظريات الفيزيائية

**5-الباب الأول: معادلات ماكسويل للكهرطيسية**

**6-الباب الثاني: النظرية النسبية الخاصة**

**-المبادئ التي اعتمدت عليها**

**-تحويلات لورنتز**

**-أهم نتائج تحويلات لورنتز**

**-ديناميكا النسبية الخاصة**

**-السفر عبر الزمن**

**3-الباب الثالث: النظرية النسبية العامة**

**-نظرة تاريخية**

**-المبادئ التي اعتمدت عليها**

**-المعادلات التفاضلية اللاخطية**

**-الثابت الكوني**

**-انحراف الضوء**

**-الإزاحة الحمراء**

**-ديناميكا الكون**

**الباب الرابع القوي السوداء:**

**-ماهية الثقب الأسود**

**-أنواع الثقوب السوداء**

**-اشعاع هوكينغ**

**انتروبية ثقب أسود**

**معادلة هوكينغ للإصدار**

**الباب الخامس نظرية الأوتار الفائقة**

**-نظرة تاريخية**

**-مفهوم الثنائيات في نظرية الأوتار**

**مبادئ العمل في نظرية الأوتار الفائقة**

**الباب السادس الأكوان المتعدد**

**لمحة عامة عن مفهوم الأكوان المتعددة**

**أنواع الأكوان المتعددة**

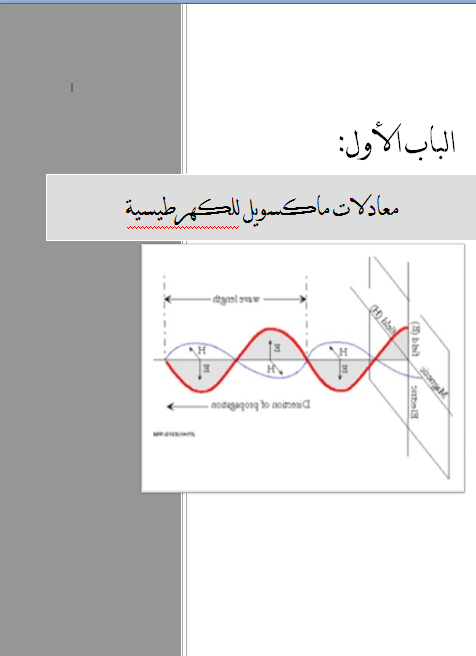
**خصائص كل منها**

**الخاتمة**

**أولاً: تصنيف النظريات الفيزيائية**

الفيزياء النظرية Theoretical Physics هي أحد فروع الفيزياء التي توظف النماذج الرياضية والتجريدات للمعادلات الفيزيائية في محاولة لفهم الطبيعة واستخراج القوانين الفيزيائية التي تفسر سلوك الأجسام الطبيعية والهدف من ذلك هو تفسير الظواهر الفيزيائية ومن ثم التنبؤ بها. أحد أهم أقسام الفيزياء الفيزياء النظرية الرياضية, مع أن هناك تقنيات اصطلاحية أخرى تستخدم أيضا. الهدف هو بناء إطار منطقي متماسك يشرح ويتنبأ بالظواهر الفيزيائية.

أما لكي نبدأ لرحلتنا في معادلات الكون علينا أن نبدأ ببعض المفاهيم والمعادلات الأساسية التي لا مفر منها عندما يحين الوقت لاستنتاج النظريات الفيزيائية الكونية



**معادلات ماكسويل[[1]](#footnote-1)**

كي نفهم معادلات ماكسويل بشكل جيد علينا بدايةً أن نتعرف إلى بعض المفاهيم الرياضية ومنها

1. التدرج ونرمز له ب وهو عبارة عن مؤثر تفاضلي له دور كبير في تبسيط المعادلات الرايضية في الفيزياء ونعرفه على الشكل التالي
2. التفرق أي ونعبر عنه بالعلاقة

*3-اللابلاسيان أو ما نرمزه ب*  ونعبر عنه بالعلاقة:

نظرية غاوص:

تنص نظرية غاوص على المساواة بين التكامل الحجمي لتفرق حقل متجه وتكامل السطح لتدفق حقل من خلال السطح الذي يحد هذا الحجم

نظرية سنوكس:

تنص قاعدة ستوكس على أنها توافق بين التكامل السطحي لدوار حقل متجه والتكامل الخطي لهذا الحقل على طول مسار مغلق

ليكن لدينا الحقل المتجه ولحساب التكامل الخطي له على طول المسار المغلق 

وبإجراء عملية التكامل نحصل على العلاقة التالية:

*وهي علاقة سنوكس*

معادلات ماكسويل:

# معادلة ماكسويل الأولى:

تربط المعادلة الأولى بين الحقل الكهربائي ومنبع حقل الشحنات الكهربائية الحقيقية المتواجدة في الطبيعة وتمثل هذه المعادلة قانون غاوس Gauss بالشكل التفاضلي، كما تعبر عن شكل آخر لقانون كولوم Coulomb.

باستخدام المعادلة المادية تأخذ المعادلة الأولى الشكل ومفادها أن تفرق الحقل الكهربائي في نقطة ما يساوي إلى كثافة الشحنات الحجمية ρ في هذه النقطة مضروبة بالمقدار .

وبما أننا نذكر كثافة الشحنات الحجمية فعلينا مناقشة ثلاث حالات

## في الأجسام المعتدلة:

حيث أن : فيزيائياً يعبر التفرق عن عدد خطوط الحقل التي تخترق سطحاً مغلقاً مطروحا عدد خطوط الحقل الداخلة إليه وبما أن فمنه يكون خطوط الحقل تكون مغلقة حول السطح المغلق

## في الأجسام السالبة الشحنة:

أي أن ومنه يكون أي أن خطوط الحقل الخارجة من السطح المغلق أكبر من خطوط الحقل الداخلة إليه

## في الأجسام الموجبة الشحنة:

أي أن ومنه يكون أي أن خطوط الحقل الخارجة من السطح المغلق أصغر من خطوط الحقل الداخلة إليه

# معادلة ماكسويل الثانية

تعبر المعادلة الثانية عن الشكل التفاضلي لقانون فاراداي في التحريض الكهرطيسي ولقد أظهرت تجارب كولوم في الكهرباء الساكنة، أن الشحنات الساكنة تتأثر فيما بينها بقوى كهربائية تعطى قيمتها بقانون كولوم، وهذا دليل وإثبات على وجود حقل كهربائي ناتج عن الشحنات الساكنة، على غرار ذلك، بينت تجارب أمبير أن التيارات الكهربائية المارة في سلك ناقل حلقي (لولبي) تتأثر فيما بينها بقوى تعطى شدتها بقانون أمبير، وهذا يدل على وجود الحقل المغناطيسي الناتج عن حركة الشحنات في السلك.

من جهة أخرى أظهرت تجارب فاراداي أن تغير الحقل المغناطيسي بالنسبة للزمن يولد في سلك مغلق متوضع في هذا الحقل تدفقاً للتيار المتحرض في هذا السلك، ويولد التيار المتحرض بدوره دواراً للحقل الكهربائي.

# معادلة ماكسويل الثالثة

بمقارنة المعادلة

بالمعادلة:

نجد أن تفرق يختلف عن تفرق مما يعني وجود اختلاف في منابع و إذ أن منابع شحنات نقطية، وهذه الحالة غير محققة بالنسبة للحقل، بتعبير آخر، لا توجد شحنات مغناطيسية حقيقية على غرار ما هو عليه الحال بالنسبة للشحنات الكهربائية، وخطوط الحقل المغناطيسي ليس لها بداية ولا نهاية، وإنما تنغلق على نفسها، هذا يعني أن خطوط الحقل المغناطيسي مستمرة وتتجه من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي دوماً.

والمعنى الفيزيائي للمعادلة

يدل على عدم وجود شحنات مغناطيسية حقيقية حرة في الطبيعة، لذلك فإن التيارات هي التي تولد الحقول المغناطيسية، ويمكن أن نقول في هذا الإطار، أن التيار المغناطيسي وهمي. وحتى الشحنات المغناطيسية هي شحنات وهمية، أي أن الشحنات المغناطيسية غير مستقلة عن بعضها البعض، إذ لا توجد شحنات سالبة أو موجبة بحيث تكون معزولة عن بعضها البعض، أي أن التيار المغناطيسي دائما ثنائي القطبية.

# معادلة ماكسويل الرابعة

هي تعميم لقانون أمبير في المغناطيسية الذي حصل عليه ماكسويل نتيجة دراساته النظرية، وينص قانون أمبير بشكله التفاضلي على أن جولان الحقل المغناطيسي حول محيط مغلق يساوي الى تيار الناقلية 

أما عن الشكل النهائي لمعادلات ماكسويل في الخلاء

وهذه هي معادلات ماكسويل التي لها الفضل الكبير في تشكل العديد من النظريات الفيزيائية

هل للضوء سرعة محددة؟[[2]](#footnote-2)

لو راقبنا أقمار كوكب المشتري سنلاحظ أنه ستحتجب عن الرؤية من فترة لأخرى لأنها تمر خلف كوكب المشتري ولا بد أن تحدث مثل هذه الفترات منتظمة لكن العالم رومر قد لاحظ غير ذلك فالخسوفات لا تحدث على فترات منتظمة فهل تسرع وتبطئ الأقمار في سرعتها بشكل ما في مداراتها؟

إذا كان الضوء ينتقل بسرعة لا نهائية فإننا سنرى هذه الخسوفات \_على الأرض \_على فترات منتظمة وفي الوقت نفسه الذي تقع فيه مثل دقات ساعة كونية وبما أن الضوء في هذه الحالة سيقطع أي مسافة لحظياً فإن الحال لن يتغير إذا ما كان المشتري يتحرك باتجاه الأرض أو يبتعد عنها

الضوء ينتقل بسرعة محددة فإذا كان الأمر كذلك فإننا سنرى كل خسوف بعد حدوثه بفترة ما ويعتمد هذا التباطؤ على سرعة الضوء والمسافة بين الأرض والمشتري فإذا لم يغير المشتري بعده عن الأرض فإن هذا التباطؤ سيكون ثابتاً لكل خسوف إلا أن المشتري يتحرك أحيانا على مقربة من الأرض وفي هذه الحالة ستقطع الإشارات المتتالية مسافات أقصر لذا ستصل في وقت مبكر مما لو ظل المشتري ثابتاً في مكانه والعكس صحيح

النتيجة تعتمد درجة التكبير والبطء في وصول هذه الإشارات على سرعة الضوء مما يسمح لنا بقياس هذه السرعة

سؤال: من أين تنشأ القوى الكهربائية والقوى المغناطيسية لا تنشأ عن جسيمات تؤثر في بعضها البعض بل إن كل شحنة أو تيار كهربائي يشكل مجالاً في الوسط المحيط به والأمر الذي ينتج عنه قوى تؤثر في كل شحنة أو تيار آخر يقع في هذا المجال

وهناك مجال واحد يحمل كل من القوى الكهربية والقوى المغناطيسية وبالتالي الكهربية والمغناطيسية سمات لقوى غير قابلة للانفصام وأطلق على هذه القوة اسم الكهرومغناطيسية والمجال الذي يحملها المجال الكهرومغناطيسي

وقد تنبأت معادلات ماكسويل بإمكانية وجود اضطرابات على شكل موجات في المجال الكهرومغناطيسي وهذه الموجات تنتشر بسرعة ثابتة مثل التموجات على سطح بركة وعندما حسب ماكسويل هذه السرعة وجد أنها تتطابق تماما مع سرعة الضوء ونعرف اليوم موجات ماكسويل تراها أعيننا البشرية على شكل ضوء إذا كانت أطوالها بين 40\_\_80 جزءا من المليون من السنتمتر

وتعرف الموجات القصيرة من الضوء المرئي باسم الضوء الفوق البنفسجي وأشعة x \_الأشعة السينية\_ أما الموجات الطويلة فتعرف بموجات الراديو (متراً أو أكثر) والموجات الميكروية (نحو سنتمتر) والأشعة التحت الحمراء (أقل من عشرة إلاف جزء من السنتمتر لكنها أطول من الضوء المرئي)

لنعتبر أن الضوء يصدر من منبع ما وفقاً لنظرية الأثير فإن الضوء ينتشر خلال الأثير بسرعة الضوء وإذا تحركت تجاه المصدر خلال الأثير فإن السرعة التي تقترب فها من مصدر الضوء تساوي حاصل جمع سرعة الضوء وسرعتك في الأثير وسيقترب الضوء منك أسرع مما لو كنت ساكناً أو كنت تتحرك مبتعداً في الاتجاه المخالف لكن نظراً إلى أن سرعة الضوء أكبر بكثير من السرعة التي تتحرك فيها نحو مصدر الضوء فإن قياس الفرق سيكون في غاية الصعوبة

تجربة مايكلسون- مورلي

بما أن الأرض تدور حول الشمس بسرعة عشرين ميل في الثانية تقريباً فإن معلمهم نفسه لا بد أن يتحرك خلال الأثير بسرعة عالية نسبياً ومن الطبيعي إلا يعلم أحد في أي اتجاه يسير الأثير وما هي سرعته بالنسبة للشمس أو حتى إذا ما كان يتحرك بالأصل؟

ولكن بإعادة التجربة مرات عديدة ومختلفة من السنة حيث تكون الأرض في مواقع مختلفة في فلكها كانا يأملان أن يصلا إلى العامل المجهول ولذلك فقد أجريا تجربة لمقارنة سرعة الضوء المقاسة في اتجاه حركة الأرض خلال الأثير وعندما تتحرك أي في اتجاه مصدر الضوء مع سرعة الضوء المقاسة عمودياً على اتجاه حركة الأرض \_عندما لا تكون حركتها باتجاه مصدر الضوء\_ وقد فوجئا بأن سرعة الضوء في الاتجاهين نفسها بالضبط

وقد حاول لورانس أن يفسر نتائج مايكلسون ومورلي بمعلومية انكماش الأجسام والساعات التي تتباطأ حركتها خلال الأثير

إلا أن ألبرت أينشتاين قد أشار إلى عدم أهمية وجود الأثير مع الأخذ بالحسبان الاستغناء عن فكرة وجود الزمن المطلق وقد توصل عالم الرياضيات الفرنسي هنري بوانكيريه إلى الفكرة نفسها بعد عدة أسابيع , كان الافتراض الأساسي في النظرية النسبية لأينشتاين أن القوانين العلمية لا بد أن تكون واحدة لكل مشاهد يتحرك بحرية وبصرف النظر عن سرعته وكان ذلك صحيحاً لقوانين نيوتن عن الحركة لكن أينشتاين وسّع الفكرة لتتضمن نظرية ماكسويل حيث أن نظرية ماكسويل تنص على أن لسرعة الضوء قيمة معينة فكل المشاهدين الذين يتحركون بحرية أن يقيسوا القيمة نفسها من دون النظر إلى حركتهم هل هي في اتجاه مصدر الضوء أم تبتعد عنه وتجبرنا المتطلبات التي يجب أن يتفق عليها كل المشاهدين عن سرعة الضوء أن نغير مفهومنا للزمن

لعلنا لم نفهم جيداً ما علاقة ثبات سرعة الضوء بتغيير مفهومنا عن الزمن المطلق. ولنوضح هذا سنطرح مثالا بسيطاً: لو أشعل شخص على متن قطار سريع ومضة من الضوء فإن المشاهدين على متن القطار والمشاهدين على الرصيف سيختلفان على سرعة الضوء وبما أن السرعة تتعلق بالمسافة المقطوعة والزمن اللازم لقطعها وكل المشاهدين يتفقون على المسافة التي سيقطعها إذا علينا أن نشكك في الزمن فالمشاهدون لا يتفقون على الزمن الذي قد قطعه الضوء وبعبارة أخرى إن إيماننا بالنسبية يتطلب منا أن نضع نهاية لفكرة الزمن المطلق

وبدلاً من ذلك لدينا لكل مشاهد مقياسه الخاص كما المسافة التي في حوزته وليس من الضروري أن تبين الساعات المتماثلة الموجودة في حوزة مشاهدين آخرين الزمن نفسه

ليس هناك حجة لإقحام الأثير الذي لم نستطع اثباته في النسبية. النظرية النسبية تجبرنا على أن نغير مفهومنا عن الزمان والمكان من أساسهما فالزمان ليس منفصماً عن المكان وليس مستقلاً عنه ولكنه متحد مع المكان ليكونا معاً ما يسمى بالزمكان (space\_time)

ولا يمكن تقبّل هذه الفكرة بسهولة فقد استغرقت النسبية سنوات لتصبح مقبولة عالمياً حتى في مجتمع الفيزيائيين كان ذلك بمنزلة الدليل الملموس الذي ابتكره أينشتاين بخياله ودعمه تقيده بالمنطق الذي أدى إلى تداعياته على الغم من غرابة الاستنتاجات التي توصل إليها

وفقاً لمفهوم الزمكان في النسبية فإن أي حدث بمعنى شيء يمكن أن يحدث عند نقطة معينة في مكان وزمان معينين يمكن تحديده بأربع أرقام وأربعة محاور

ونختار هذه المحاور اعتباطياً من الممكن استخدام أي ثلاثة محاور اعتباطياً فمن الممكن استخدام أي ثلاثة محاور مكانية دقيقة ومحور وحيد للزمن ويجدر الإشارة إلى أنه في النسبية لا يوجد فرق بين محاور الزمان ومحاور المكان تماماً كما أنه ليس هنالك فرق بين محورين مكانيين وباستطاعتنا اختيار فئة جديدة من المحاور التي فيها المحور المكاني الأول ناتج عن اتحاد محورين الأول والثاني الأصلين من محاور المكان وهكذا بدلاً من تحديد موقع نقطة بدلالة بعدها بالأميال عن شمال مدينة ما وغرب هذه المدينة من الممكن استخدام بعدها عن شمال غرب هذه المدينة

وبالمثل يمكن استخدام محور زماني جديد (والذي كان سابقاً بالثواني) بعد أن نضيف المسافة بالثواني الضوئية شمال غرب المدينة

شيء آخر معروف لدى النسبية هو عبارة تكافؤ الطاقة والكتلة في معادلة أينشتاين وعادة ما نستخدم هذه المعادلة لحساب الطاقة الناتجة عن تحول قطعة صغيرة من المادة إلى أشعة كهرومغناطيسية خالصة ونظراً إلى أن سرعة الضوء كبيرة جداً فإن تحول الكتلة إلى طاقة يطلق كماً هائلاً منها فوزن المادة التي تحولت إلى طاقة في القنبلة التي ضربت هيروشيما أقل من وقية[[3]](#footnote-3)

وتدلنا هذه المعادلة على أنه إذا ما زادت طاقة الجسم فإن كتلته ستزيد كذلك بمعنى أن مقاومته للتسارع أو التغير في سرعته سيزيد طاقة الحركة هي أحد أشكال الطاقة وتسمى الطاقة الكيناتيكية فكما تتطلب السيارة طاقة لزيادة سرعة الجسم فطاقة الحركة لأي جسم متحرك تماثل الطاقة التي يجب بذلها على الجسم ليتحرك وبالتالي كلما تحرك الجسم أسرع زادت طاقة حركته *لكن* وفقاً للتوافق بين الطاقة والكتلة فإن طاقة الحركة تضاف إلى كتلة الجسم لذلك كلما كانت حركة الجسم أسرع أصبح من الصعب زيادة سرعته



النظرية النسبية الخاصة

# لمحة عامة:

اعتقد العلماء في نهاية القرن التاسع عشر أنهم قريبون قرباً وثيقاً من الوصول إلى توصيف كامل للكون، فتخيلوا أن الفضاء مملوء بوسط متصل يسمى الأثير، وأشعة الضوء وموجات الراديو هي موجات ضمن هذا الأثير، بما يماثل تماماً أن الصوت هو موجات ضغط في الهواء ... لكن بجلول نهاية القرن بدأت تظهر التناقضات الموجودة في فكرة الأثير الذي ينتشر في كل مكان، فقد كان متوقعاً حسب هذه الفكرة أن سرعة الضوء ثابتة، ومنه إذا كان المرء يتحرك في الاتجاه نفسه للضوء من خلال الأثير فستبدو سرعة الضوء أبطأ وبالعكس.

وقد أجريت عدة تجارب فشلت كلها في دعم هذه الفكرة، وكان أكثر تلك التجارب دقة تجربة مايكلسون وإدوارد مورلي عام 1887، إذ قارن العالمان سرعة الضوء في شعاعين كل منهما متعامد على الآخر، فعندما تلف الأرض حول محورها وتدور حول الشمس، فإن جهاز التجربة سيتحرك خلال الأثير بسرعة واتجاه مختلفين، لكن الضوء بدا وكأنه يتحرك دائما بالسرعة نفسها وهذا ما خالف النظرية المتعلقة بالأثير ...[[4]](#footnote-4)

# مبادئ وأفكار اعتمدت عليها النسبية:

افترض أينشتاين أن قوانين الطبيعة ينبغي أن تكون متماثلة لكل الملاحظين الذين يتحركون بحرية، وهذا الافتراض هو الأساس من نظرية النسبية، وقد سميت هكذا لأنها تتضمن ان الحركة النسبية هي وحدها المهمة، والافتراض الثاني كان ان سرعة الضوء ينبغي أن تكون متماثلة لكل شخص ....

حققت نظرية النسبية نتائج مهمة وإحدى هذه النتائج كانت العلاقة بين الكتلة والطاقة، فعندما يستخدم المرء الطاقة ليسرع من حركة أي شيء فإن ما سيحدث حينها هو ان كتلة هذا الشيء ستزيد، مما يجعله من الصعب زيادة تسارعه أكثر من ذلك، ومنه سيكون من المستحيل تعجيل سرعة هذا الجسيم ليصل لسرعة الضوء؛ لأن هذا سيتطلب كمية لامتناهية من الطاقة، فالكتلة والطاقة متكافئتين كما تلخص معادلة أينشتاين ((E=MC2)).

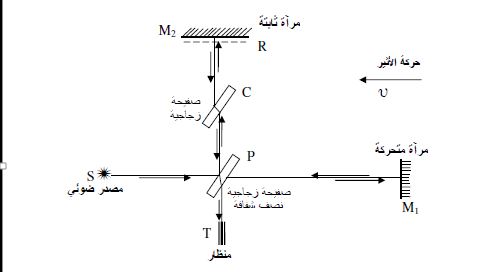
على الرغم من أن نظرية النسبية تلاءمت جيداً مع القوانين التي تحكم الكهرباء والمغناطيسية إلا أنها لم تكن متوافقة مع قانون نيوتن للجاذبية، إذ يقول هذا القانون أنه إذا غير المرء من توزيع المادة في إحدى مناطق الفضاء، سيحدث توّاً تغير محسوس في المجال الجذبوي في كل مكان في الكون. وهذا يعني أن المرء يستطيع إرسال إشارات أسرع من الضوء (وهذا ما تحظره النسبية)، وحتى نعرف ما تعنيه كلمة ((توًاً)) يتطلب هذا منا وجود زمان مطلق أو كلي، الأمر الذي قضت عليه النسبية لمصلحة الزمان الشخصي.

## فرضيات النسبية الخاصة:

* قوانين الفيزياء هي نفسها في كافة المراجع العطالية.
* سرعة الضوء في الفراغ ثابتة ومستقلة عن حركة المصدر الضوئي

## تجربة مايكلسون ومورلي:

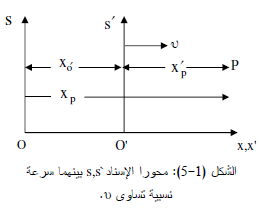
مقياس التداخل لمايكلسون جهاز بصري ذو أهمية علمية كبيرة، إذ أن له القدرة على تجزئة حزمة ضوئية إلى جزأين تم جمعهما لتكوين نموذج تداخل. يستخدم الجهاز لقياس الطول الموجي للضوء، ومن أهم استعمالاته دراسة حركة الأرض خلال فضاء مطلق ((الأثير))[[5]](#footnote-5)



رسم توضيحي 1

عندما يبدأ مشاهدان بقياس سرعة جسيم في حالة حركة فإنهما سيحصلان على نتائج مختلفة إذا كان أحدهما يتحرك بسرعة معينة بالنسبة للآخر والسرعة المقاسة من قبل أي منهما نسبةً للآخر تسمى السرعة النسبية.

لنعتبر إلان قطاراً يتحرك بسرعة v باتجاه الإحداثي x وأن هناك راكبين داخله أحدهما جالس والآخر ستحرك باتجاه حركة القطار بسرعة ثابتة u. وإذا فرضنا أن هناك شخص يقف إلى جانب القطار فإنه يشاهد الراكب الآخر بسرعة تساوي u + v باتجاه الإحداثي x. والنتيجة هذه ستكون مختلفة عما إذا كان الراكب الآخر يتحرك بحركة معاكسة لحركة القطار، وأي مشاهد إذا كان مجهزاً بأدوات قياس للإزاحة والسرعة والزمن فإنه يرتبط بما يسمى محور الأسناد. وهكذا نعرف محور الإسناد بأنه نظام إحداثيات مثبتة في مكان ما تجرى فيه قياسات مختلفة عن حركة جسيم ضمن ذلك النظام.



رسم توضيحي 2

لنرمز إلان لمحور الإسناد للشخص الذي يقف بجانب القطار بالرمز s ولمحور اسناد القطار المتحرك بسرعة v بالرمزs' , يلاحظ أن xp هي موقع تلك النقطة بالنسبة لمحور الإسناد s مقاسةً من نقطة الأصل o و كذلك x'p . وإذا كان بعد نقطة الأصل o' عن نقطة الأصل o يساوي xo' في لحظة ما فإن:

X'p = Xp – Xo'

وبإجراء عملية التفاضل لطرفي المعادلة بالنسبة للزمن t = t' نجد أن:

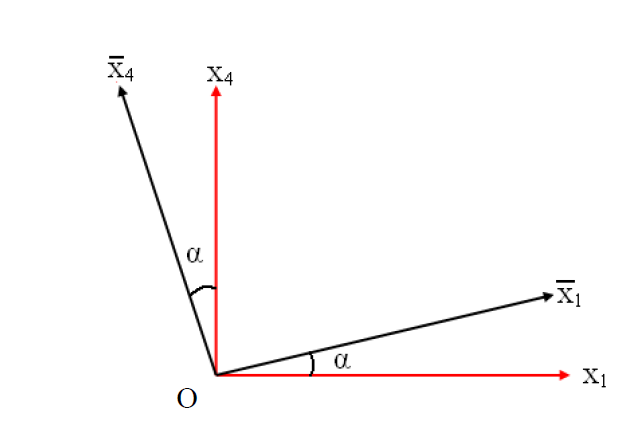
U'x= Ux – v

## تحويلات غاليليو :

لقد وجد غاليليو خلال دراسته للأجسام الساقطة أن الحجر الذي يسقط بصورة حرة من قمة صارية يضرب ظهر السفينة عند قاعدتها , ووحد أيضاً أن هذه النتيجة هي نفسها سواء كانت هذه السفينة ساكنة أو تتحرك بسرعة ثابتة، فاستنتج أن الأرض لا يمكن اعتبارها ساكنة في ذلك الوقت بالرغم من أن جميع الأجسام الساقطة بصورة حرة تسقط عمودياً للأسفل , وإن سقوط هذا الحجر عند قاعدة الصارية لا يمكن أن يصف بالضبط الحالة الحركية للسفينة.

تحويلات لورنتز[[6]](#footnote-6)

هي عبارة عن روابط تربط بين إحداثيات مرجعين لاستنتاج هذه الروابط نقوم بدوران محور بقيمة α درجة بالنسبة للمحور و بموازاة الصفحة , في هذا الدوران المحوران ثابتان , كذلك المركز الإحداثي ثابت .



رسم توضيحي 3

نستعين إلان بطريقة منكوفسكي نستبدل t زمان كل حادثة في المرجع s بإحداثية خيالية هي  *, فتصبح إحداثيات الفضاء (x ,y ,z) بهذا الشكل*

*فلأي حادثة أربعة إحداثيات ويمكن كتابة معادلات الدوران بهذا الشكل:(بالتعويض)*

*تعبر هذه المعادلة عن صفحة ساكنة في المرجع ولجميع مقادير ,معادلة هذه الصفحة هي:*

*معادلة هذه الصفحة في المرجع S في كل لحظة من t بهذا الشكل:*

*وذلك بتعويض القيم في المعادلة السابقة .... نجد المطلوب.*

*إذا كان فهذا سطح صفحة الإحداثي معادلة هذه الصفحة في المرجع S هي و هذا هو سطح الصفحة , وعليه فإن سطح الصفحة و معادلته في المرجع S :*

استنتاج ذلك من المعادلة رقم (1) نجد أن:

هذه هي صفحة موازية للصفحة و بمقدار  *تم انتقالها في امتداد المحور .*

*نستنتج من هذا أن معادلات لورنتز هي حالة خاصة من إحداثيات المرجع ناتجة من انتقال المرجع في امتداد المحور*  و بفاصلة و في كل لحظة t .

إذا كانت سرعة انتقال المرجع بالنسبة للمرجع تساوي u إذن :

و من هذه المعادلة نستنتج أن الزاوية زاوية فرضية و ترتبط بسرعة انتقال الإحداثي إذن:

من بعض التحويلات المثلثية نصل :

نضع هذه الروابط في المعادلات :

النتيجة النهائية لتحويلات لورنتز هي :

إذا كانت قيمة u صغيرة جدا بالنسبة ل c تصبح هذه المعادلات تقريباً :

هذه المجموعة من المعادلات تعرف بتحويلات غاليليو , ويستعان بها في الفيزياء الكلاسيكية لربط حوادث ووقائع حادثتان لمرجعين مختلفين . لكن في الفيزياء الكلاسيكية لن تطرح الرابطة  *لأنها بديهية , فالزمان في الفضاء الكلاسيكي كما هو معلوم مطلق.*

# أهم نتائج تحويلات لورنتز:

النتيجة الأولى: انكماش الطول:

يحدث انكماش الطول في جهة حركة الجسم بينما أبعاد الجسم العمودية على جهة الحركة تبقى بدون تغير.

نفرض قضيب صلب على المحور¯𝜘 من المرجع الساكن ¯ѕ، انتهائي هذا القضيب في

طول هذا القضيب في المرجع¯ѕ هو

، طرفي هذا القضيب في المرجع ѕ هماt استناداً على تحويلات لورنتز في اللحظة

الرابطة بين إحداثيات طرفي القضيب بيت هذين المرجعين هي:

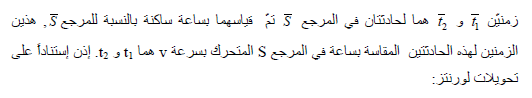
إذن:L=𝜘2-𝜘1هو s طول القضيب في المرجع

إن انكماش الطول هذا ليس سوى نتيجة تغيرات فيزيائية على الجزيئات كما هو الحال في الانقباض والانبساط الحراري وإنما هو نتيجة تغير الرابطة بين طول القضيب ووسيلة القياس التي يقاس بها الطول.

¯ʟ هو عبارة عن طول القضيب المقاس بمسطرة هي ساكنة بالنسبة للقضيب بينما ʟ طول القضيب المقاس بمسطرة هي ليست ساكنة بالنسبة لهذا القضيب كذلك تم قياس ¯ʟ مستغنين عن ساعة لقياس الزمن بينما قياس ʟ يستلزم ساعة لتزامن قياس طرفي القضيب، ولكن في الفيزياء الكلاسيكية كلا هذان القياسان ذي نتيجة متساوية حيث كان التصور بأن الطول هو صفة ذاتية للجسم لكن اتضح إلان بأن الطول يعرف بالطريقة التي يتم قياسه بها.

النتيجة الثانية: اتساع الزمن:

إذا كانت الساعة في مرجع ساكنة بالنسبة للمراقب في ذلك المرجع الزمن في تلك الساعة هو الأسرع وإذا كانت الساعة ذا سرعة ᴠبالنسبة للمراقب فإن الزمن سيتباطأ بالنسبة لهذا المراقب بنسبة :



النتيجة الثالثة: جمع السرعة النسبية:

إذن كانت سرعة القطار بالنسبة للأرض ي وسرعة مسافر داخل القطار بالنسبة للقطار¯ᵁ من الفيزياء الكلاسيكية سرعة المسافر بالنسبة للأرض هي:

من تحويلات لورنتز

النتيجة النهائية من تحويلات لورنتز هي:

إذا كانت سرعة المسافر بالنسبة للأرض ف إذن الفاصلة التي يقطعها المسافر بالنسبة للأرض هي

إذن

إذا استبدلنا سرعة القطار وسرعة المسافر بنبضات ضوئية

فالسرعة النسبية لهذين المصدرين تبقى نفسها سرعة الضوء وهذا أحد الدلائل على أن سرعة الضوء مطلقة لا تخضع للمرجع أي سرعة الضوء مستقلة عن سرعة مصدر الضوء.

ديناميك النسبية الخاصة

أهم رابطة في ديناميك النسبية الخاصة هي الرابطة:

في هذه الرابطة 0 m الكتلة الكلاسيكية أو كتلة السكون في مرجع العطالة ¯ѕ و m الكتلة النسبية في المرجع ѕ وسرعة الجسم ذو الكتلة m بالنسبة للمرجع ѕ هي ᵤ.

الطاقة الحركية في الميكانيك النيوتني هي:شغل قوة خارجية لوصول السرعة من الصفر إلىᵤ إذا كانت الطاقة الحركية K والقوةF وتغير المسافة x ԁ إذن:

في الميكانيك النيوتني الكتلة لا تتغير بينما في ميكانيك النسبية تتغير الكتلة مع تغير السرعة، لذلك الطاقة الحركية في النسبية الخاصة هي:

في هذه الرابطة m وᵤ متغيرات والرابطة بينهم هي:

من هذه الرابطة نحصل على :

من تفاضل هذه الرابطة وتقسيمها على m2

نصل إلى:

الطرف الأيسر في هذه الرابطة هو نفسه تحت التكامل:

بما أن:

الطاقة الكلية للذرة لذلك:

هي طاقة سكون الذرة في حالة0= ᵁو0=K.

تتساوى الطاقة الحركية النيوتنية والنسبية في حالة:

وذلك:

بما أن:

)

لذلك:

# مفهوم المراقب في النسبية:[[7]](#footnote-7)

هو عبارة عن مجموعة لا متناهية من الساعات موزعة في الفضاء , متزامنة مع بعضها و كل بالنسبة للأخرى ساكنة .

هناك الطول والزمان في النسبية مطلق؛ لكن بالنسبة لكل مراقب في مرجع عطالته , أي أن طول قضيب معين مثلاً يبقى ثابتاً في مرجعه , ولو زدنا طوله سيكون نفسه في جميع المراجع .

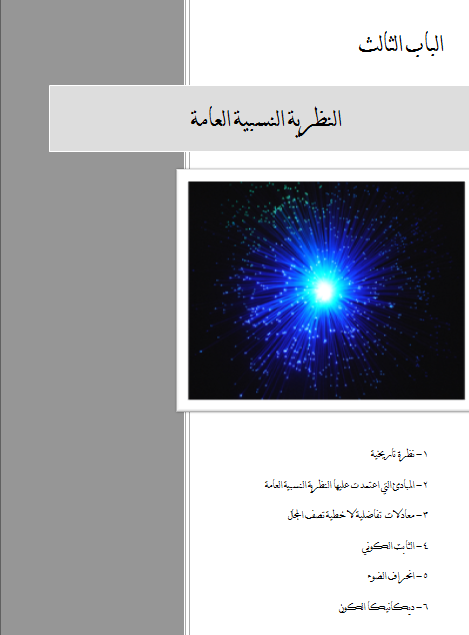
# السفر عبر الزمن:

الزمان أحد أعظم أسرار الكون، فكان مما كتبه أوغسطين عن الزمان:" كيف يكون الماضي والمستقبل، عندما لم يعد هناك ماض، ولم يأت المستقبل بعد؟ أما بالنسبة للحاضر فلو كان حاضراُ دوماً ولم يتحرك أبداً ليصبح الماضي، فلن يكون زماناً بل خلوداً" فحسب منطق أوغسطين الزمان غير ممكن لأن الماضي ذهب والمستقبل غير موجود والحاضر يستمر لحظة فقط. طرح أوغسطين تساؤلات دينية ليستنتج في النهاية أن الله قادر على كل شيء لذلك لا يمكن تقييده في الزمان (خارج الزمن) مع أن هذه الفكرة تبدو غريبة إلا أنها تتكرر في الفيزياء الحديثة.

حتى اليوم رغبة البشر في السفر عبر الزمان موجودة، فكلنا نتساءل لماذا لا يمكننا أن نمشي عبر الزمان كما يمكننا السير في المكان؟

من وجهة نظر العلم كان السفر عبر الزمن مستحيلاً في كون نيوتن حيث ينظر للزمن على انه شكل سهم باتجاه واحد , إذا ما انطلق فلن ينحرف عن مساره في الماضي , و الثانية على الأرض هي ثانية خلال الكون بأكمله , لقد قلب أينشتاين هذا المبدأ و بين أن الزمان أشبه بنهر حيث يسرع و يبطأ أثناء مروره بين النجوم و المجرات , و بالتالي الثانية على الأرض ليست مطلقة فالزمان يتغير عندما نتحرك في أرجاء الكون , فحسب نظرية أينشتاين في النسبية الخاصة يبطأ الزمان في الصاروخ كلما زادت سرعته , لقد خمن كتاب الخيال العلمي أنك لو كسرت حاجز الضوء ستعود للوراء في الزمن ! لكن هذا غير ممكن لأنه يجب أن تكون كتلتك لا نهائية لتصل لسرعة الضوء، فسرعة الضوء هي الحاجز النهائي للصاروخ ومع ذلك فالسفر عبر الزمن نحو المستقبل ممكن وقد تم التحقق منه مخبرياً ملايين المرات. فلو سافر رائد فضاء بسرعة قريبة من سرعة الضوء قد يستغرق دقيقة واحدة للوصول لأقرب النجوم، وستمر أربع سنوات على الأرض لكن بالنسبة إليه فقد مرت دقيقة واحدة، لأن الزمان سيتباطأ داخل السفينة الصاروخية، لذا سيكون سافر أربع سنوات نحو المستقبل. لذلك فرجال الفضاء يأخذون رحلة قصيرة نحو المستقبل في كل مرة يسافرون فبها عبر مركباتهم أذ تتباطأ ساعاتهم بجزء بسيط عن ساعات الأرض.

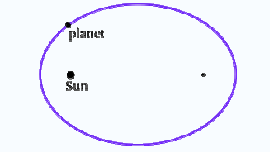
إذا فآلة الزمن تأخذنا نحو المستقبل مع نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين، لكن يبقى السفر نحو الماضي موضوعاً مستحيلاً. لأنه بذلك سيكون من المستحيل كتابة التاريخ، فحالما يعود شخص للوراء سيعيد كتابة تاريخ جديد فربما دسنا على حيوان ثديي صدف أنه جدنا، حينها سنكون محونا الجنس البشري بأكمله !!



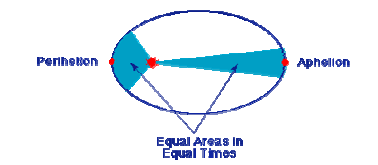
النظرية النسبية العامة.

**عصر ما قبل أينشتاين:**

لن نبدأ هنا من قبل التاريخ ولكن سنبدأ بعالم الفلك والرياضيات الألماني جوهان كبلر الذي درس سلوك الكواكب وتمكن من شرح حركتها واستنباط القوانين الثلاثة الأساسية في حركتها وهم:

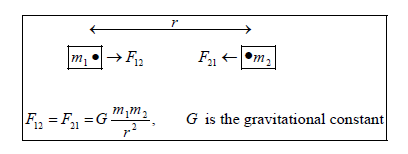
**القانون الأول**: تدور الكواكب حول الشمس في مسار بيضوي أو على شكل قطع ناقص وتكون الشمس إحدى بؤرتي المسار.

رسم توضيحي 4

**القانون الثاني:** يكون الخط الواصل بين الشمس والكوكب يمسح مساحات متساوية في الأزمنة المتساوية، أي تزداد سرعة الكوكب كلما كان قريباً من الشمس.

رسم توضيحي 5

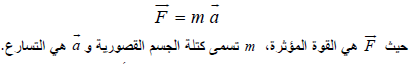
**القانون الثالث:** الكوكب الأقرب إلى الشمس يكون زمن دورانه حول الشمس أقل من الأبعد عن الشمس.

من هذه القوانين الثلاثة استطاع إسحاق نيوتن أن يستنتج **قانون الجاذبية العام** والذي ينص على أن: كل جسيم مادي في الكون يجذب أي جسيم مادي أخر بقوة تتناسب طردا مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكساً مع مربع المسافة بينهما.

رسم توضيحي 6

إضافة إلى قوانين نيوتن الثلاثة:

**القانون الأول**: يستمر الجسم على حالتهِ من السكون أو الحركة في خط مستقيم إلا إذا أثرت عليه قوة خارجية.

**القانون الثاني:** إذا أثرت قوة على جسم فإنَّ التسارع الناتج يتناسب طرداً مع القوة المؤثرة وعكساً مع كتلة الجسم.

والكتلة القصورية: تعبر عن معامل لقياس مدى مقاومة الجسم للعوامل الخارجية.

**القانون الثالث:** لكل فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار ومعاكس له في الاتجاه.

واعتبر نيوتن أن المكان والزمان كميات مطلقة.[[8]](#footnote-8)

**الأسس التي كانت الفيزياء مبنية عليها حتى نهاية القرن التاسع عشر:**

قوانين نيوتن في الميكانيكا وقانون الجاذبية.

معادلات ماكسويل لوصف الكهربية والمغناطيسية.

الميكانيكا الإحصائية لوصف حالة التجمعات الكبيرة من المادة.

هذه القوانين الثلاثة وصفت الطبيعة المجردة بطريقة صحيحة تحت جميع الظروف.

# نظرة تاريخية:

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 للتكنولوجيا ثم 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 اليوم إلا إذا رسمت الحالة الابتدائية للكون عند لحظة الانفجار العظيم وبدقة بالغة تقتضي نظرية التوسع بأن الكون الفتي في ما رحل نشأته الأولى قد توسع بسرعة أكبر بما لا يقاس من سرعة توسعه الحالية )حيث صار حجمه متمدداً تمدداً انفجارياً (

في سنة 7881 وفي واحدة من أهم التجارب بالعلمية على الاطلاق تمكن العالمان الأمريكيان ألبرت مايكلسون وادوارد مورلي من إثبات أن السرعة الظاهرية للضوء من إثبات أن السرعة الظاهرية للضوء لا تتأثر بحركة الأرض وكانت هذه التجربة محرجة جداً للجميع آنذاك إذ ناقضت الفكرة التي تمليها الفطرة السليمة بأن السرعات تتزايد دوما

وجاءت النظرية النسبية الخاصة لأينشتاين في جزء منها استجابة لتجربة مايكلسون\_مورلي فما أدركه أينشتاين هو أنه مالم تتغير قيمة الثابت) سرعة الضوء (فهناك شيء آخر يترتب على هذا المفهوم \_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 قابلا للانثناء والتغير يتمدد ويتقلص تبعاً لحركات النسبية للراصد والمرصود في حينان

الجانب الوحيد الذي لا يتغير من الكون هو سرعة الضوء[[9]](#footnote-9)

وهكذا ظهرت النظريتان النسبيتان لأينشتاين الخاصة والعامة....

# تاريخ النظرية النسبية العامة

بعد وقت قصير من نشره للنظرية النسبية الخاصة، بدأ آينشتاين التفكير في كيفية دمج الجاذبية بالنسبية في إطار جديد، 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 عرض في الاكاديمية 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 وجد عالم الفلك كارل شوارتزشيلد الحل التام لمعادلات أينشتاين ودعيت مترية شوارتزشيلد. وهذه الحلول وضعت الحل لوصف المراحل ا لأخيرة من انهيار الجاذبية، والأجسام التي تعرف اليوم بالثقوب السوداء. وآنت الخطوة الأولى في تعميم شوارتزشيلد في حلول الأجسام المشحونة كهربائيا وفي النهاية أسفرت عن مترية ريسنر نوردستوورم. وهي حاليا مرتبطة بشحنة الثقب لأسود. طبق أينشتاين نظريته على الكون ككل، والشروع في النسبية الكونية. وكان قد فرض تماشياً مع الفكر السائد أن الكون ساكن وأضاف حد أو معامل جديد إلى معادلات. المجال) الحقل (وهو الثابت الكوني Λأدت حلول ألكسندر فيردمان إلى فكرة تمدد 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 من أن الكون تطور من حالة بدائية مفرطة في السخونة والكثافة. اعترف أينشتاين فيما بعد بأن اعتباره بأن للكون 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 التي تخدم في العديد من الحالات التي يمكن شرحها من خلال قانون نيوتن. والتي بدت منسجمة مع النسبية الخاصة التي تخدم في العديد من الحالات التي يمكن شرحها من خلال قانون نيوتن.

# هندسة الجاذبية النيوتنية

حسب قواعد الميكانيك الكلاسيكي فإن حركة الجسم توصف بدرجات الحرية وبأنها 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 بلقيمة الشعاعية للتسارع. ترتبط الحركة المقصورة بهندسة الزمان والمكان، 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

# مبدأ التكافؤ في النسبية العامة[[10]](#footnote-10)

نميز في الفيزياء بين مراجع عطالية) جمل مرجعية عطالية (حيث يمكن لجسم 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 ا لجسام في الجمل غير العطالية تسارعًا ناتجًا عن حركة الجملة نفسها وتسارعها وليس نتيجة تأثير جسم داخلي ضمن في حالة الجملة. تم 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 النيوتنية لكن في النسبية العامة ليس هناك

مجالاً لمثل هذا التمييز حسب مبدأ التكافؤ. وليس هناك من قوة ثقالية ضمن المعلم المرجعي في حالة السقوط الحر) الحركة المتسارعة (عدا القوى التي تشوه ا لأجسام دون التأثير على حركتها وسرعتها) دون تسارع (. وحتى محاولات الكشف عن الامواج الثقالية تعتمد على هذه القوى وقد استند اينشتاين في الواقع على حقيقة معروفة منذ غاليليو ألا وهي تماثل الكتلتين الثقالية والعطالية للأجسام، مما يؤكد أن التسارع الحركي والثقالة هي مظهر واحد ويفترض أنه لا وجود لتجربة يمكن أن تميز بين حقل ثقالي-جاذبية -وتسارع منتظم. وسرعان ما وسع اينشتاين مبدأ التكافؤ في نظريته ليشمل مفهوماً 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.

وبكلام آخر: ينص هذا المبدأ على عمومية السقوط الحر بمعنى أن جميع الأجسام تسقط بنفس المعدل في مجال الجاذبية بغض النظر عن كتلتها وتركيبتها المادية وهو مبدأ استقرائي مبني على الملاحظات التجريبية وليست النظرية.

ورياضياً لشرح مبدأ التكافؤ فلنسترجع قانون نيوتن لحركة جسيم كتلته القصورية هي وواقع تحت تأثير قوة خارجية بالشكل

*حيث أن الكتلة القصورية تعبر عن معامل قياس مدى مقاومة الجسم لتأثير القوى الخارجية أما كتلة التثاقل فهي معامل يعين مدى قوة جذب الجسم بالمجال الجاذبي ويأتي من المعادلة*

وبتطبيق مبدأ التكافؤ للكتلتين نجد أن

*ومنه يكون*

من المعادلة الأخيرة نستطيع أن نجزم أن معدل سقوط جميع الأجسام تحت تأثير الجاذبية لأي قوى خارجية أخرى لا يعتمد على كتلتها وقد أثبت غاليليو هذهِ الحقيقة سابقاً في القرن الثامن عشر.

ومن الشرح السابق اقترح أينشتاين فرضه بنسبية الزمان والمكان(الزمكان) وهما من الأشياء الطلقة في نظريات نيوتن.

ولقد لوحظ أن الجاذبية تتسبب في تسارع الأجسام المتساقطة، ولكن لوحظ أيضاً من تطبيقات النظرية النسبية الخاصة أن الحركة تؤدي إلى تقلص الطول وتمدد الزمن، وذلك وقد حاول أينشتاين أن يبرهن أن الجاذبية تؤثر أيضاً على الزمكان.

ويمكن وضع هذا المبدأ بصيغ مختلفة منها:

يستحيل على أي مراقب في غرفة مغلقة أن يميز حركة الغرفة هل هي تحت تأثير الجاذبية؟ أم هي تسارع نتيجة قوة خارجية؟ بمعنى أن

* الكتلة القصورية والكتلة التثاقلية متكافئتان، ولا يمكن التمييز بينهما.
* القوى التثاقلية(التجاذبية) تكافئ القوى القصورية.[[11]](#footnote-11)

الإطار المتسارع يكافئ الإطار التثاقلي.

**مبدأ التوافق:**

القوانين الفيزيائية يجب أن تتوافق وإلا ترتبط بتغير نوع الاحداثيات الزمانية والمكانية المستخدمة.

نعلم من النظرية النسبية الخاصة التي تصف الظواهر الفيزيائية في الفراغ، يجب أن تكون مستقلة عن سرعة المراقب الذي بدون القياسات ويجب أيضاً أن يكون لها نفس الشكل والمكونات وذلك عندما نرجعها إلى إحداثيات كارتيزية أخرى تتحرك بسرعة منتظم، وفي النظرية النسبية العامة يجب أن توضع هذه القوانين بصورة عامة ومستقلة عن اختيارنا لأي إحداثيات زمانية أو مكانية.

ولهذا اقترح أينشتاين أنه يجب وضع القوانين الفيزيائية بمعادلات لا تعتمد على إحداثيات خاصة، وهذه الطريقة لا تأتي إلا من خلال استخدامنا لحساب الممتدات، وذلك لأن صياغة معادلات القوانين بصيغة الممتدات لها نفس الشكل والتركيبة بجميع نظم الاحداثيات الآخرى

**النتائج الهندسية**

بالرغم من الاهتمام الأساسي في الهندسة كان منصبًا لفترة طويلة على القواعد في الفضاء الإقليدي فيما يعرف بالهندسة الإقليدية فقد قام عدد من علماء الرياضيات بصياغة هندسات لا اقليدية مثل لوباتشوفيسكي وريمان وغاوس وغيرهم.

لكن التصور الأساسي للفضاء بقي إقليدي طيلة قرون لتوافقه مع معظم النظريات الفيزيائية خاصة 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[[12]](#footnote-12)

معادلات أينشتاين للمجال أو معادلات أينشتاين هي مجموعة عشر معادلات في نظرية أ لبرت أينشتاين للنسبية العامة والتي تصف التأثر الأساسي في الثقالة جراء تقوس الزمكان مع كل من المادة والطاقة. نشرت بداية بواسطة أينشتاين على أنها معادلة موتر، تعادل معادلات أينشتاين للمجال انحناء الزمكان) يعبر عنها بموتر أينشتاين (مع الطاقة وكمية الحركة ضمن

ذلك الزمكان) المعبر عنها بموتر الإجهاد -الطاقة (. وبشكل مشابه لكيفية إيجاد المجالاًت الكهرومغناطيسية باستعمال الشحنات والتيارات من خلال معادلات ماكسويل، تستعمل معادلات أينشتاين للمجال لإيجاد الهندسة الفضائية للزمكان من وجود الكتلة والطاقة وكمية التحرك الخطي، أي أنها تعطي الموتر المتري للزمكان بدلالة ترتيب كل من الإجهاد-والطاقة تسمح العلاقة بين الموتر المتري وموتر أينشتاين بكتابة معادلات أينشتاين كمجموعة من معادلات تفاضلية لا خطية عند استخدامها بهذه الطريقة

فحلول معادلات أينشتاين للمجال تمثل مركبات الموتر المتري. المقذوفات العطالية للجسيمات وجي ودوسيا الإشعاع في الهندسة التحليلية الناتجة تحسب بعد ذلك باستعمال المعادلة الجيوديسية. إضافة لامتثالها لقوانين إحفاظ كمية الحركة-والطاقة، تؤول معادلات أينشتاين للمجال إلى قانون نيوتن إذا كان المجال الثقالي ضعيفاً والسرعات أقل بكثير من سرعة الضوء في الزمكان.

يمكن أن تتضمن الحلول التقنية لمعادلات أينشتاين للمجال تبسيط الفرضيات مثل التماثل ويمكن الحصول على تبسيطات أفضل تقريب الزمكان الفعلي كزمكان مسطح

معادلات أينشتاين للحقل:

**المعادلة الأولى**

حيث ريتشي و هو انحناء سلمي و هو موتر المترية و هي الثابت الكوني و ثابت الجذب العام و *سرعة الضوء و موتر الإجهاد \_ الطاقة*

**المعادلة الثانية**

نعرف موتر أينشتاين على أنه :

وهو من الرتبة الثانية ويشكل دالة في المترية وبالتالي يمكن كتابة المعادلة على الشكل:

باستعمال وحدات حيث نستطيع إعادة كتابتها بالشكل التالي

*الحد الأيسر يمثل تقوس الفضاء والزمان الذي يتم إيجاده من المترية بينما الحد على الطرف الأيمن يمثل محتوى (الطاقة \_المادة) من الزمكان بالتالي يمكن تفسير معادلات أينشتاين للحقل كمجموعة من المعادلات تملي علينا كيفية ارتباط تقوس الزمكان*

*بالتالي يمكن تفسير معادلات أينشتاين للحقل كمجموعة من المعادلات التي تملي علينا كيفية ارتباط تقوس الزمان والمكان بمحتوى الطاقة والمادة في هذا الكون العظيم هذه المعادلات مع المعادلة الجيوديسية تشكل نواة الصيغ الرياضية في النسبية العامة*

*استخدم الباحثون بمن فيهم أينشتاين إشارة مختلفة لموتر ريتشي والذي يحول في المعادلة وتصبح الإشارة في الطرف الأيمن سالبة*

*ويمكن كتابة معادلات أينشتاين بالشكل المكافئ التالي:*

*قام أينشتاين بتعديل معادلاته الأصلية للمجال كي تتضمن حداً كونياً متناسباً مع المترية*

*الثابتيعد ثابتاً فلن يتأثر مبدأ انحفاظ الطاقة فقد قدم آينشتاين ثابت الحد الكوني أصلاً لوصف الكون الديناميكي هناك تقنيات فلكية متطورة حديثة وجدت أن القيمة الموجبة ل ضرورية لتفسير بعض المشاهد الكونية التي هي جوهر البحوث العلمية المعاصرة كان أينشتاين يعتقد بأن الثابت الكوني وسيطاً مستقلاً لكن حده في المعادلة يمكن أن ينتقل إلى الطرف الآخر جبرياً المكتوب كجزء من موتر الإجهاد الطاقة*

*يعبر عن طاقة الفراغ بالعلاقة*

*وبالتالي وجود ثابت كوني في المعادلات ضرورة حقيقية من أجل الوصف وكما لاحظنا أنه موجود في علاقة الطاقة الكونية[[13]](#footnote-13)*

# انحناء الضوء:

حتى يستطيع أينشتاين أن يؤكد نظريتهُ فقد أعلن عن توقع يمكن إثباته علمياً فعن طريق حساباته النظرية أوضح أينشتاين أن شعاع الضوء والمار بالقرب من سطح الشمس سوف ينحرف عن مساره المستقيم وذلك لأن المكان الذي يمر به الشعاع يكون منحنيا وبلفظ أخر فإن جاذبية الشمس قد أثرت على شعاع الضوء وحرفته، ولم يظهر توقع هذا التأثير في النظرية الميكانيكية لنيوتن حيث أن الضوء عديم الكتلة.

الشكل المرافق يوضح شعاعاً ضوئياً يصل للأرض من أحد النجوم ماراً بالقرب من الشمس ولأن شعاع الضوء قد انحرف عن مساره المستقيم، فسوف يظهر النجم لنا على الأرض أنه تم إزاحته من مكانه الحقيقي وقد تم حساب أكبر انحراف بزاوية مقدارها 1.74 وذلك عندما يلامس الشعاع سطح الأرض.

وقد تم التحقق من هذا التوقع علميا في عام 1919 خلال الكسوف الكلي للشمس، عندما يحجب القمر ضوء الشمس تماماً، وفي لحظة تاريخية وأثناء حجب القمر الكلي لقرص الشمس نجح الفلكيون في تصوير النجوم حول الشمس، بقياسات دقيقة بعد ذلك ظهرت أن النجوم قد أزيحت من أماكنها الحقيقية بمقدار يتفق مع ما توقعته نظرية أينشتاين.

# إزاحة الجاذبية الحمراء:[[14]](#footnote-14)

هذا هو التوقع الثالث وقد توقع ذلك لأن جاذبية الأجسام تؤثر على المكان وتبطئهُ فعلى سبيل المثال فإن الساعة بالدور الأرضي لمبنى قريباً من الجاذبية تكون دقاتها أبطأ من دقات الساعة بالأدوار العلوية البعيدة عن الجاذبية بالطبع فإن إحساسنا بهذا التغير يكون منعدماً نظراً للتغير الطفيف جدّاً بقيم الجاذبية قريباً من الأرض، وبالمقارنة فإن تردد موجات الضوء تعمل عمل دقات الساعة حيث نستطيع حساب عدد ذبذبات الضوء المار بالثانية، لذلك فإن الشعاع ضوئي ذا التردد الثابت اللون الأزرق كما بالشكل التالي والمنطلق بالقرب من مركز الجاذبية سوف يقل تردده بالاتجاه بعيداً عن مركز الجاذبية حيث وبالتالي يزداد طوله الموجي، اللون الأحمر كما بالشكل التالي ولأن الزيادة في الطول الموجي هي الإزاحة الحمراء لذلك سميت إزاحة الجاذبية الحمراء أو الإزاحة الحمراء لأينشتاين، وقد تم قياس هذا التأثير عام 1960 بواسطة العالمين باوند وربيكا وذلك باستخدام أشعة غاما والإزاحة المقاسة عملياً بواسطتهما تعتبر صغيرة بالمقارنة مع طيف الغازات الناتجة من طيف النجوم عالية الكثافة مثل نجوم الأقزام البيضاء.

ملاحظة: يجب إلا نخلط بين إزاحة الجاذبية الحمراء وإزاحة دوبلر حيث أن إزاحة دوبلر تتطلب حركة مصدر الضوء قرباً أو بعداً من المراقب وعلى العكس تماماً فإن إزاحة الجاذبية الحمراء تتسبب من تمدد الزمن ولا تتطلب أي حركة من المصدر أو المراقب.

الإثبات النظري للإزاحة الحمراء من نظرية هايزنبيرغ الازدواجية للطاقة والمادة نجد أن علاقة الطاقة الكلية E لجسيم (فوتون مثلاً) تواتره f وكتلته m تعطى بالمعادلة

ومنه نجد أن طاقة الوضع لهذا الجسيم من جسيم آخر كتلته M

لكن عند هروب الفوتون من مجال الجاذبية سوف يكتسب ترددا مختلفاً يحسب بالعلاقة

*وحيث أن الإزاحة باتجاه التقليل من التردد فإنها تسمى إزاحة الجاذبية الحمراء أو الإزاحة الحمراء لأينشتاين (في حالة أن الفوتون يترك مجال الجاذبية) أما إذا سقط في مجال الجاذبية فإن الإزاحة تعطى بالعلاقة*

*وتسمى ازاحة الجاذبية الزرقاء*

*وتصبح الصيغة العامة للقانون هي*

حيث أن الإشارة السالبة للضوء الهارب من مجال جاذبية النجم والإشارة الموجبة للضوء الساقط في مجال جاذبية النجم.

تنبأت النظرية النسبية العامة أن الكون يتمدد إلى ما لا نهاية ولم يستطع أينشتاين تقبل هذه النتيجة فأضاف ثابت يسمى الثابت الكوني، وقد تخلى أينشتاين عن هذا الثابت واعتبره أكبر خطأ في حياته وأول من استخدم النظرية النسبية العامة لبناء سلسلة من النماذج الرياضية لكون منظم ومتمدد هو خبير الأرصاد الجوية ألكسندر فريدمان والذي نشر أعماله في عام 1922، ويمثل الشكل الآتي تمدد الكون وفقاً للاحتمالات الثلاثة التي وضعها فريدمان ، وتبدأ المنحنيات الثلاثة من نقطة الصفر ويتسم النموذجان 1و2 بأنهما يتمددان إلى مالا نهاية أما النموذج الثالث فإنه يتعرض للتباطؤ حتى يصل إلى مرحلة التوقف والتي يتبعها انقباض يعود به الكون مرة ثانية إلى العدم، ولا يستطيع العلم أن يتحقق من هذه التنبؤات

حفظ الطاقة وكمية التحرك:

النسبية العامة متطابقة مع مبدأي حفظ الطاقة – كمية التحرك المحلية المعبر عنهما بالعلاقات:

اشتقاق انحفاظية الطاقة – كمية التحرك المحلية:

بتقليص متطابقة بياتشي التفاضلية:

مع \_ وبفضل الحقيقة القائلة أن الموتر المتري هو ثابت تبايني، أي \_نحصل على:

يسمح نقيض تماثل موتر ريمان للحد الثاني في التعبير السابق بإعادة كتابته على الصورة:

وهي مكافئة للعلاقة:

باستعمال تعريف موتر ريكسي.

بالاختصار مرة أخرى بالمتري:

*لتحصيل:*

*من تعريفات موتر ريمان وقياسي ريكسي تبين أن:*

*ويمكن إعادة كتابتها بالصورة:*

*اختصار أخير يعطي :*

*والتي تعطينا من التماثل بين الحاصرتين وتعريف موتر-أينشتاين \_ بعد إعادة عنونة المعاملات:*

باستعمال EFE، يعطينا هذا مباشرة:

وهي تعبر عن بقاء الطاقة – الإجهاد. يعد قانون البقاء هذا متطلباً فيزيائياً. بفضل معادلاته للمجال تأكد أينشتاين بأن النسبية العامة متوافقة مع شرط البقاء هذا.

اشتقاق قانون الجذب العام لنيوتن:

يمكن صياغة الجاذبية النيوتنية كنظرية مجال قياسي، , والتي هي توتر الجاذبية بوحدات الجول لكل كيلوغرام.

*حيث كثافة الكتلة. يحقق مدار السقوط الحر العلاقة:*

*بعلامات الموتر تصبح:*

نستبدل هذه المعادلات في النسبية العامة بمعادلات مجال أينشتاين بصورة انعكاس الأثر:

*لثابت ما K، ومعادلة جيودويسية:*

لتوضيح كيفية اختصار هذه الأخيرة، نفترض أن سرعة عينة الجسم هي صفر تقريباً:

*وعليه*

*والمتري ومشتقاته هي ساكنة تقريباً، وأن مربعات الانحراف من متري منسكوسكي مهملة. بتطبيق فرضيات التبسيط هذه على المركبات المكانية للمعادلة الجيوديسية يعطينا:*

حيث أن عاملين من قد تمت قسمتهما، هذا يخفضها إلى نظيرتها النيوتنية، شريطة أن:

*افتراضاتنا تجبر مشتقات (0) على البقاء أصفاراً، على هذا الأساس تتبسط إلى:*

*والتي تتحقق بوضع*

بموائمتها بمعادلات أينشتاين، سنحتاج فقط لمركبة الزمن-الزمن

*تقتضي افتراضات السرعة المنخفضة والمجال الساكن أن:*

*إذن:*

وبالتالي:

من تعريف موتر ريكسي

افتراضاتنا البسيطة تنهي مربعات ببعضها مع مشتقات الزمن:

*بدمج المعادلات السابقة:*

*والتي تنخفض إلى معادلة المجال النيوتني بشرط:*

والذي سيتحقق إذا كان:

أهم مفاهيم المترية في نظرية النسبية العامة[[15]](#footnote-15)

أحد أهم مورد استعمال مترية الزمكان هو محاسبة مسير الأشعة الضوئية، هذا المسير عبارة عن متقاصر أو جيودويسية هذه المترية. كذلك من خلال المترية يمكن تعيين نوع الفضاء وتقوسه ومحاسبة حقل جاذبيته. تتم هذه المحاسبات من خلال تينسور ريمان وريتشي، والأهم معادلات حقل آينشتاين سواء في الخلاء أم في حالة تواجد المادة في حقل جاذبيته. سنبحث في هذ الفصل بعض هم أنواع المتريات التي طرحت في نظرية النسبية العامة.

الصورة العامة لمترية في فضاء زمان هي:

المعامل A والمعامل B وغيرها هي توابع من t و x2 و x1 وغيرها. لكن في حقل ساكن فالحالة الخاصة لهذه لمترية هي:

في هذه الرابطة هي  *و* i=1 *و2 و3 فمثلاً*

فالخطوط العالمية لهذه المترية هي

إذا كان هي جهد حقل جاذبيته و إذن :

في حقل ضعيف معامل هذه المترية متساوية.

إذا استعملنا هذا التقريب في هذه الحالة لحقل خارج الشمس

ومن هذا تصبح معامل الإحداثية تقريباً تساوي واد وهذا بمعنى أن الزمكان حول كتلة ضخمة مثل الشمس تقريباً منكوفسكي أي:

من خلال مترية منكوفسكي ومترية شوارتزشيلد سنطالع الارتباط بين فضاء منكوفسكي وفضاء شوارتزشيلد وذلك من خلال هذه التحويلات:

إذن

كذلك:

إذن:

هذه مترية منكوفسكي في فضاء (X، Y، Z، T) رباعي الأبعاد.

مترية شوارتزشيلد هي:

للتبسيط نكتبها بهذا الشكل:

كذلك نستبدل r وt بهذه الاحداثيات R وT ونفرض نحصل على:

)

النقطةهي نقطة غامضة في هذه المترية إذا فرضنا

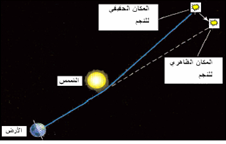
*في هذه الحالة:*

*نحصل على:*

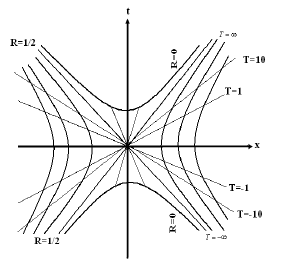
*في هذه المترية يجب أن تكون*

*هذه صيغة أخرى لمترية منكوفسكي وقد لاحظنا الارتباط بين مترية منكوفسكي أو فضاء منكوفسكي ومترية شوارتزشيلد أو فضاء شوارتزشيلد.*

*يمكن فرض هذا الشكل نموذج لفضاء كروسكال KRUSAL، إحداثيات كروسكال X و T (عادة تستعمل U، V ) مترية فضاء كروسال رباعي الأبعاد بهذه الصورة:*

**

في هذه المترية R تابع من x2-t2 وتصدق فيه هذه الرابطة:



رسم توضيحي 7

تصدق هذه المترية في معادلات خلاء آينشتاين لكن R>0 منتظمة لكن النقطة R=0 هي نقطة غامضة. إذا كنت قيمة t في كل لحظة ثابتة فهذه المترية ذات تنظر كروي. يمثل احداثي كروسكال مسير أشعة  *و*

*كذلك الخطوط*  درجة في شكل الصفحة السابقة هي كذلك مسير أشعة ضوئية في احداثي كروسال.

نكتب هذه المترية حسب احداثيات T وR أي:

إذن:

*هذه المترية متكافئة مع مترية شوارتزشيلد (و النقطة الغامضة) أو أفق الحدث في هذه المترية هي النقطة . تصدق هذه المترية في معادلات خلاء أينشتاين.*

*معادلات خلاء آينشتاين هي*  إذا كان الحقل غير فارغ وهناك مادة في هذا الحقل في هذه الحالة وتصبح معادلات أينشتاين بهذا الشكل  *سنبحث هذه المعادلات في الفصل القادم.*

*المترية التي تصدق في معادلات آينشتاين لحقل غير فارغ هي:*

*إذا*

*تستطلب معادلات حقل أينشتاين لفضاء فارغ أن يكون*   
  
*لجميع ومن بينهما الروابط أعلاه بينما لفضاء غير فارغ يجب أن يكون إذا :*

من نحصل على

نفرض

هذا الجواب يصدق في معادلات اينشتاين في هذه الرابطة m ثابت التكامل، ثم نحصل على هذه المترية:

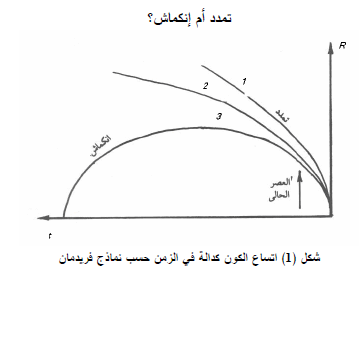
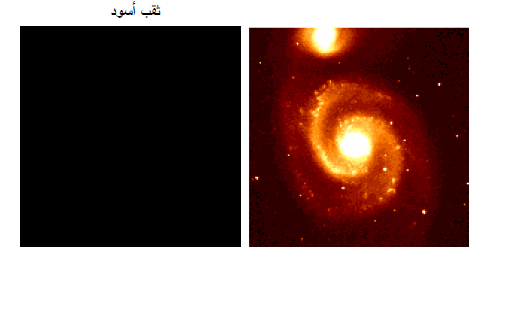
مدار الحركة في فضاء هذه المترية تقريباً أشبه بمدار نيوتن في جهد مركزي في حالة سعي m نحو الصفر أي تصبح مترية هذا الفضاء بهذا الشكل:

تعرف هذه المترية بمترية دي سيتر (de sitter ) في القوانين الكونية كشفها عام 1917، والفضاء الناتج من هذه المترية هو فضاء دي سيتر. تمثل هذه المترية فضاء شبه كروي ذو تقوس قيمته هذه أشبه بمترية شوارتزشلد لكن النقطة هي أفق الحدث في هذه المترية. في حالة يصبح مبدأ الإحداثية (نقطة غامضة أو) أفق الحدث لمترية دي سيتر.

إذا كانت المعادلات هي الحاكمة على فضاء فارغ في هذه الحالة فضاء دي سيتر هو البديل لفضاء منكوفسكي.

المترية الأخرى التي سنبحثها هي المترية الناتجة من نموذج ميلن milen الذي طرحه عام 1932.

يستند هذا النموذج على مبداً الكوسومولوجيا (الكون متجانس فضائياً وزمنياً) في فضاء فارغ منكوفسكي رباعي الأبعاد مع غض النظر عن الجاذبية لمجموعة لا متناهية لذرات عديمة الوزن والحجم، ذات سرعة تنتشر في كل جهات الفضاء. تنتشر هذه الذرات من مبدأ الإحداثي o في المرجع s(x,y,z,t) بسرعة أقل من سرعة الضوء. يمكن فرض هذه الذرات المنتشرة بكرة غبار لا حدود لها وسرعة توسعها تساوي سرعة الضوء. يصدق قانون هابل في هذه الكرة والذي ينص على تناسب السرعة والفاصلة. حدود المادة في هذا النموذج أشبه بصدر موجة wave front.

تنبأت النظرية النسبية العامة أيضاً بأنه في منظومة الزمكان يوجد منطقة لها صفات شاذة أي خالف القواعد والقوانين الفيزيائية ولم يستطع أينشتاين أن يتقبل هذه النتيجة أيضاً فأضاف بعض الشروط الحدودية للتخلص من النقطة الشاذة وقد تم التعامل لاحقاً مع معادلات أينشتاين بدون هذهِ الشروط لتفسير بعض الظواهر مثل ظاهرة الثقوب السوداء وهي منطقة في منظومة الزمكان لها صفات شاذة أي تخالف القواعد والقوانين الفيزيائية وقوة جاذبية جبارة يستحيل على أي شيء الإفلات من جاذبيتها بما في ذلك أشعة الضوء لذلك تبدو هذه المنطقة غير مرئية وهي تعتبر من النجوم التي أفلت. 

رسم توضيحي 8

رسم توضيحي 9

ديناميكا الكون[[16]](#footnote-16)

* **استناداً على النظرية الشبه نيوتنيه**

قبل البدء بالديناميكا الكونية للنسبية العامة الأفضل أن نبدأ بالنظرية الشبه نيوتنيه لاستنتاج معادلة ونموذج يمكن انتزاعه لاحقاً من نظرية النسبية العامة.

نبدأ من معادلة بواسون 4= في هذه المعادلة الكثافة وهي دالة المتغير فيها الزمن نفرض أن الزمان الذي يحيط بالمراقب الواقف في النقطة P هو فضاء ذو تناظر كروي، ولا يمكن أن تكون في هذه النقطة ما لا نهاية وجوابها هو

*في هذا التساوي الفاصلة في الفضاء الإقليدي من النقطة* P *، أو بالأحرى كرة مركزها النقطة* P *. أحد أجوبة هي:*

*معادلات نيوتن للحركة الدورانية هي*  *لذلك إذا فرضنا أن الفضاء حول النقطة P هو كرة نصف قطرها والكتلة الموجودة في هذه الكرة هي لهذا*

*إذن*

*إذا فرضنا أن الفواصل في حدود المجرات والفاصلة من المجرة Q إلى النقطة* P *تساوي r في هذه الحالة من الفضاء ثابتة ولا تتغير مع الزمن، لأن في حالة انبساط الفضاء فإن المادة لا تدخل ولا تخرج من هذه الكرة وهذا استناداً على قانون نيوتن في الحفاظ. إذا فرضنا أن الفاصلة بين المجرة Q والمجرة P عبارة عن الدالة هذه الدالة متغيرها الزمن إذن:*

في هذه الرابطةو M= هنا h ثابت فلكي وM الكتلة الموجودة في كرة نصف قطرها R .

* نظرية النسبية العامة لآينشتاين:

لقد فرضنا أن جواب حسب الفاصلة بصورة   
*وتوصلنا إلى الجواب*  *بما أن هو ثابت لذلك يمكن فرض جواب آخر مع ثابت آخر كالثابت وسنحصل على جواب آخر هو إذا استعنا باتفاقية الجمع أو التراكب سنحصل على:*

*لقد فرضنا أن الفاصلة بين المجرتين P و Q عبارة عن الدالة* R لهذا R= و

*إذن:*

*نضرب طرفي المعادلة*

*في* 2R *(هذا الضرب عبارة عن تكامل) مع العلم أن و =*

*ونصل إلى:*

*في هذه الرابطة ثابت التكامل إذا فرضنا أن نصل إلى هذه المعادلة:*

*تعمدنا في هذه المعادلات بالاستفادة من ثوابت خاصة وذلك للتوفيق بين هذه المعادلة والمعادلة التي سنستنتجها من ميكانيك النسبية العامة:*

* *استناداً على نظرية النسبية العامة لآينشتاين:*

*نبدأ هذا البحث بمترية روبرتسون – واكر*

*في هذه المترية و*

*معادلات حقل آينشتاين لحل هذه المترية:*

إذن:

كذلك يمكن مراجعة المثال الثامن:

إذا كانت في هذه الحالة كذلك ( في هذه الرابطة T الطاقة و c سرعة الضوء و الكثافة) إذا وضعنا هذه الرابطة والمعادلتين أعلاه في قانون حقل عام آينشتاين سنحصل على هذين الشرطين:

الطرف الأيمن في هذه المعادلة هو قيمة الضغط P صفر

إذا نقصنا المعادلة الثانية من المعادلة الأولى نحصل على:

نضرب طرفي المعادلة

في نحصل على:

اشتقاق الطرف الأيسر يساوي

نضرب طرفي المعادلة في فنحصل على

إلان يمكن أن نستنتج أن تفاضل الرابطة يساوي صفر إذن تكامل هذه الرابطة يساوي عدد ثابت مثل C أي:

إذا وضعنا هذه النتيجة أي في المعادلة

نحصل على

هذه هي المعادلة الاشتقاقية لفريدمان وقد تمكنا من استنتاجها من النظرية الشبه نيوتنيه ومن نظرية النسبية العامة. تمثل هذه المعادلة حدود النسبية العامة في النموذج "الغباري" لروبرتسون-واكر، لسنا هنا بصدد حل هذه المعادلة والبحث في نتائجها، يمكن مراجعة المصادر للتعرف على هذه المعادلة وأجوبتها. في نموذج فريدمان هناك نتائج شيقة للكون يمكن استنتاجها من هذه المعادلة وحلها، كذلك يمكن مقايسة ناتج هذا الحل مع النموذج الشبه نيوتني.

في النسبية العامة ثابت التقوس k هو بديل الثابت النيوتني "للطاقة" في معادلة فريدمان. في جميع النماذج النيوتنية يفرض أن الفضاء مسطح ، لهذا فالنموذج النسبي العام الوحيد الذي هندسياً يشابه النموذج النيوتني هو النموذج الذي فيه k =0. نماذج النسبية العامة التي فيها1 k=

تشابه نظائرها النيوتنية التي فيها= هذا التشابه هو تشابه موضعي، أي الدالة

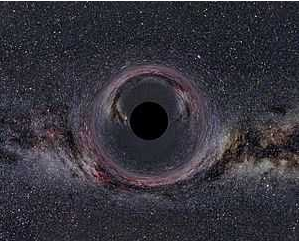
لكلا هذان النموذجان مساوية أما فضاء النسبية متقوس. من مقايسة هذان النموذجان، إذا كانت الطاقة الكنماتيكية الموضعية أكبر من طاقة الهروب ، في النسبية العامة تقوس الفضاء سالب ، وإذا مانت أقل فتقوس الفضاء موجب . استنادا على ثابت هابل، طاقة الهروب متناسبة مع الكثافة الكونية، لذلك ناتج الكثافة العالية هو كون مغلق وناتج الكثافة القليلة كون مفتوح.



الثقوب السوداء

يقول نيوتن أن شدة الجاذبية التي تُمارس بين جسمين مُعينين في علاقة تناسب مع مجموع كتلتيهما وفي علاقة تناسب عكسي مع مربع المسافة الفاصلة بينهما.

الجاذبية من أهم القوى التي تحدث عنها نيوتن، لقد علم نيوتن أن قانون الجاذبية ينفذ على الأرض كما ينفذ بنفس الطريقة في كل المجموعة الشمسية وفي كل الكون فقد علم التكامل والتناسق بين كل الأجسام التي تسير عليها القانون، فكل الأجسام التي تحمل كتلة تجذب الأجسام تجاهها نحو مركزها.[[17]](#footnote-17)

سؤال. 

رسم توضيحي 10

**لماذا لا يصطدم القمر بالأرض والكواكب بالشمس بالرغم من كل الجاذبية التي تحملها. ؟؟**

ببساطة نقول إن القوة النّابذة الناتجة عن القمر نتيجة دورانه حول الأرض تساوي بدقة فائقة تلك التي تؤثر فيها الأرض على القمر. مما يؤدي إلى أن القمر يرسم مدراً حول الأرض. بنفس الطريقة تتصرف الكواكب تجاه الشمس.

لقد أثبتت نظرية نيوتن للجاذبية صحتها بعد أن حاول العلماء التنبؤ بمواقع الكوكب حسابياً بعد عدة سنوات، كما أنها تستخدم بشكل أساسي في سير الأقمار لصناعية والمسابير الفضائية بحركتها حول الأرض.

في فوائد هذه النظرية وعلاقتها بالثقوب السوداء، فهي تعرفنا على بعض المصطلحات التي لها علاقة بالثقوب السوداء كمصطلح سرعة التحرر (هي السرعة التي يحتاجها أي جسم للتخلص من الثقب الأسو).

لقد استطاع العالمان (جون ميتشيل) و (بيير سيمون دو لا بلاس) أن يتنبآ من وراء قانون التجاذب أن هناك بعض النجوم ذات الكتل الكبيرة جداً و الضخمة جداً لها سرعة تحرر تساوي سرعة الضوء أو أكثر حيث تبنى الفكرة لا بلاس بقوله:" لا شيء يمنعنا من أن الكون يحتوي على نجوم كتلتها من الضخامة بحيث تجعل سرعة التحرر على سطحها أعلى من سرعة الضوء " , حيث و بحسب نظرية نيوتن : إن سرعة التحرر تتزايد بتزايد كتلة الكوكب الذي يُراد المغادرة منه و في هذه الحالة لن يستطيع حتى الضوء مقاومة تلك القوة الهائلة و الجاذبية الكبيرة ‏1و هذا ما سيجعل منها نجوم سوداء.[[18]](#footnote-18)

**آينشتاين**

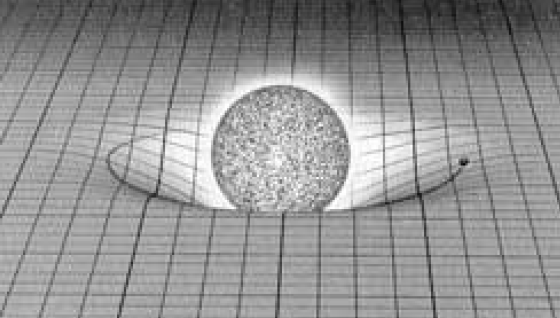
وصف آينشتاين النسبية الخاصة (1905) والعامة (1915) وقال فيها أن الزمان والمكان نسبيين (من هنا أتت كلمة نسبية) وليس مطلقين (أي ليسا مشتركين بين الجميع) كما كنا نتصور، والأكثر من ذلك أن الزمان لا يوجد بمعزل عن المكان، هكذا كان ينظر إلى الكون حيث أنهما مكونان ينتظمان ضمن بنية ذات أبعاد أربعة سماها الزمكان.

تقول إحدى بنود النسبية الخاصة أن سرعة الضوء تبقى نفسها مهما كان عدد الملاحظين وأينما كان مكانهم.

كما و بحث آينشتاين في نظريته حول لعلاقة بين الطاقة و الكتلة قائلاً أن الطاقة و الكتلة وجهان لعملة واحدة واصفاً تلك النظرية بالعلاقة الشهيرة و هي( (E=MC2 حيث تمثلM الكتلة و C سرعة الضوء في الخلاء و E الطاقة, حيث أن هذا مما تحدث عنه آينشتاين بشأن النسبية الخاصة و سميت بالخاصة لأنها تنفذ في وقت خاص و هو حين إهمال الجاذبية .

**ولكن ماذا عن الحالة التي لا يتسنى فيها لنا إهمال الجاذبية. ؟؟**

هذا ما سمي بالنسبية العامة حيث وصفت النسبية العامة أن قوة التجاذب للكواكب تحدث في الزمكان فجوة كما تحدث تماماً كرة حديدية صغيرة في قطعة قماش. فهي تؤدي إلى حدوث فجوة في الزمكان. كما في الشكل(1)



الشكل(11). مثال توضيحي لتوضع الجسم في الزمكان كما وصفه آينشتاين في النسبية العامة

ت

بعد ذلك لم يعد ينظر إلى الجاذبية عل أنها قوة بل على أنها هندسة الزمكان.

إن المسارات التي ـتأخذها الأجسام عندما تسقط سقوطاً حراً ليست في خطوط مستقيمة بل على شكل جيوديزيات[[19]](#footnote-19)

كما أن المسار الذي ترسمه الأرض حول الشمس يتخذ شكلاً اهليليجياً لأن هذا هو شكل الجيوديزات الموجودة في جوار الشمس.

يمكن تبسيط تلك الفكرة الزمكان يُملي حركته على المادة بينما المادة تفرض تقوسها على الزمكان.

وعندما تكون قوى الجاذبية غير قوية بما فيه الكفاية فإن العلماء يلجؤون إلى تفسيرها بنظريات نيوتن لأنها أبسط وأيسر في التعامل، لكن النسبية العامة تكون أقوى وأكثر دقة.

أما عندما تكون الجاذبية قوية يصبح العتب كله على النسبية العامة في تفسيرها.

إن كل الذرات (باستثناء الهدروجين) تصنع من النجوم، فهي تعتبر مصانع الذرات فهي تطبخ فيها الذرات لتصبح ذرات أثقل، باستثناء الهدروجين الذي وُجد مع وجود الانفجار العظيم.

سؤال قوي.

بما أن الإنسان مصنوع من ذرات وكل شيء في هذا الوجود وكل الكون أيضاً مصنوعة من الذرات نفسها بما فيها الكرسي والعصا وبما أن البعد هائل جداً بين النواة والإلكترونات وبما أن الإلكترونات تعتبر ذرة غبار مقارنة بحجم النواة وبما أن كتلة النواة أكبر بكثير من كتلة الإلكترونات. إذن فلماذا أي فعل

الجواب ببساطة بسبب غيمة الإلكترونات ففي القسم الخارجي من أي ذرة ما في الجسم الأول توجد شحنة سلبية على غرار أي شحنة في الجسم الثاني ولكن الشحنات السلبية تتدافع فيما بينها ولأن للذرات الكترونات تدور حولها ولأن القوة الكهربائية قوية ....

كل حياتنا إذن تعتمد على الذرة وخواصها ...

لنفترض أننا أطفأنا كل الشحنات الكهربائية. ببساطة لن يكون بسيط يفعل أي جسم تجاه أي جسم يؤدي إلى الاصطدام. فلماذا لا تتداخل الذرات مع بعضها بما فيها هذه الجسام. ؟؟

هناك دائي لدوران الإلكترون حول النواة. وبالتالي لن يكون هناك حياة. فستكون الحية بهذه الحالة كلها مفتتة.

إن الذرة تتألف من الكترونات ونواة التي تتألف تلك الأخرى من نترونات وبروتونات. لكن السؤال يكون ...

هل يمكن قطع البروتونات أو النترونات ...؟؟

يوجد لدينا الكواركات يوجد بداخلها خيوط صغيرة. ولكن هل يوجد نهاية للصغر أم أن الصغر شيء لانهائي ... ولكن ماذا عن الكبر ... هل هو أيضاً له نفس الصفة بأنه لانهائي ... ؟؟؟.

بسبب هذه الخواص للذرات والإلكترونات والنواة عُرف في القرون الوُسطى وعرف بعلم السيمياء، حيث قيل في هذا العلم أن المادة مزيج من أربع مواد أساسية (الماء والنار والتراب والهواء) وهذه هي فكرة إغريقية قديمة، وقد فكروا أن تغيير نسب التراب والنار يجعل من الممكن تحويل النحاس إلى ذهب.

**النوفا والسوبر نوفا**

من أهم الظواهر التي تحدث للنجوم وهي من الظواهر الكونية المثيرة التي لا تزال تحير العلماء إنها ظاهرة السوبرنوفا اتي تحدث للنجم عندما ينفجر النجم فجأة دون ن يدخل في مرحلة العمالقة الحمر إذ تبلغ إضاءة نجم عندما يصبح في هذه المرحلة من السوبرنوفا إضاءة مليون نجم. حيث تستمر هذه الحالة لمدة أسبوعين في المتوسط وفيها يشع النجم طاقات جبارة تساوي تلك الناتجة من مليون شمس من شمسنا ولهذا فقد نرى ضوء النجم في ضوء النهار.

وهناك أيضاً ظواهر فلكية أقل قوة من السوبرنوفا وهي النوفا وهي عبارة عن انفجارات تقذف في الفضاء بجزء من مادة النجم. والفرق بين النوفا والسوبر نوفا أن النجم في حالة النوفا لا يفقد الكثير من مادته أما في حالة السوبرنوفا فهو يتمزق تماماً.

متى يدخل النجم في حالة السوبر نوفا. ؟؟

إذا بلغت كتلته 1.4 من كتلة الشمس أو كثر قليلاً. ولا يدخل في مرحلة القزم الأبيض.

إن التفاعل النووي في قلب النجم تنتج عنه مادة الحديد في درجة حرارة 2000 مليون درجة مئوية وتنتج كمية هائلة من الطاقة على شكل نيوترونات تفر من النجم وهنا لا بد أن ينكمش النجم ليعوض ما فقده وينتج عن هذا التقلص زيادة في درجة الحرارة في قلب النجم فتندفع بارتفاعها إلى ما بين أربعة إلى ستة آلاف مليون درجة مئوية في مدى أسابيع قليلة وهكذا ينهار كل شيء بشكل مفاجئ وهائل.

وعندما تبلغ درجة الحرارة 7000 مئوية فإن بناء العناصر من الخفيف إلى الثقيل ينعكس تماماً فيتحول عنصر الحديد والعناصر الأخرى الثقيلة إلى نوى هيليوم ويتبع عملية التحويل العكسية هذه إلى امتصاص طاقة بدلاً من إطلاقها. فيجد النجم نفسه مضطراً لأن يستعيد كل الطاقة التي بددها خلال ملايين سنين وجوده ...

بفعل الجاذبية فإن الطبقات الخارجية تدخل إلى النواة. تعد من أشهر سوبرنوفا هي لتي وصلت إلينا عام 1054 ويبعد عنا حوالي 7000 سنة ضوئية وهذا يعني أن الانفجار لم يتم في حقيقة 1054 بل قبل ذلك بحوالي 7000 عام لكننا لم نستطع رؤية هذه الظاهرة إلى بعد أن وصل الضوء الهائل إلينا.

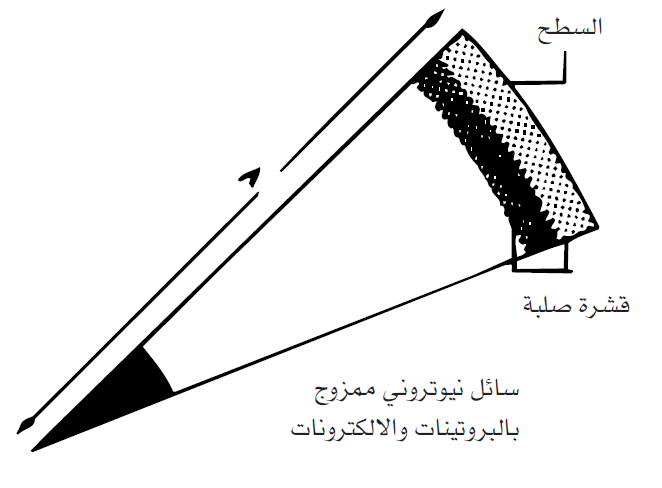
**النجم النيوتروني**

في الظروف العادية يمكن أن يتفكك النيوترون إلى بروتون والكترون ولكن تحت ظروف قوى الجاذبية الهائلة التي تعتري النجم في مرحلة السوبرنوفا فإن تقلص المدة الشديد في حجم غاية في الصغر النسبي الذي يقرب ما بين الذرات واندفاع كتل هائلة إلى قلب النجم بسرعة جنونية لتسحق مادتها ثم تتولد لها طاقة إضافية عالية نتيجة اقترابها من النواة تتيح لها التفاعل مع البروتونات.

ويؤدي هذا التفاعل إلى تشكل النترونات واختفاء الإلكترون ويؤدي هذا التحول إلى نقص مفاجئ في التركيب الذري وبهذا الانخفاض تحمل الجاذبية على تقليص المادة أكثر، وهكذا ينشأ النجم النيوتروني مكوناً كله تقريباً من نيوترونات وكنتيجة لتلك الانكماشات واختفاء الفراغات الذرية يتقلص حجم النجم الهائل إلى أن يبلغ قطره عشرة كيلومترات فقط ومع هذا يحتوي على مادة هائلة وهكذا يزن السنتيمتر المكعب من مادة النجم حوالي مئة مليون طن.

حيث إن بزيادة جاذبية النجم النيوتروني فشان حتى ذرات الضوء لا تستطيع الفلات منه بالرغم من أن فوتونات الضوء تتأثر أحياناً قليلاً بالجاذبية فتنحرف من مسارها.

هناك رابط قريب جداً بين الثقب الأسود والنجوم النيوترونية لكن الثقوب السوداء تكون أكثر كثافة وأقل حجماً وأعظم تقلصاً وأثقل وزناً.



12قطاع من النجم النيوتروني

الثقوب السوداء

الثقب الأسود هو عبارة عن كتلة مركزة في حجم صغير مما يمنع أي جسم من الإفلات منها، إذ أن لكل جسم سماوي يوجد له ما يسمى بسرعة الإفلات حيث أنها السرعة التي يحتاجها أي شيء داخل هذا الجسم السماوي كي يتمكن من التخلص من قوة جذب الجسم السماوي الذي هو فيه، سرعة الإفلات للأرض مثلاً تساوي (40000 كم في الساعة).

إن تركيز المادة في الثقب الأسود عالي جداً لدرجة أنه حتى الضوء بسرعته (3000000 كم في الثانية) لا يستطيع الإفلات منها، فإن الثقب الأسود لديه القدرة على امتصاص الضوء حتى.

تقول النسبية العامة أن الجاذبية هي مظهر من مظاهر تقوس الزمكان.

للثقب الأسود يوجد ما يسمى بأفق الحدث event horizon وهو منطقة كروية الشكل تدل على حافة الثقب الأسود وفيها تكون سرعة الإفلات مساوية لسرعة الضوء ... حيث عندما يتجاوز الضوء أو أي شيء بسرعة الضوء تلك الحافة لن يكون بإمكانه الخروج بل سيتم ابتلاعه باتجاه المركز (singularity) وهو نقطة شديدة الكثافة تتمدد إلى ما لا نهاية

**هناك طريقتان لمعرفة حجم الثقب الأسود ... الكتلة والمساحة.**

الكتلة: كتلة الثقب الأسود قد تكون أية قيمة فهي يمكن أن تضغط حتى كثافة عالية جداً، يقول العلماء أن الكثير من الثقوب السوداء قد تتشكل نتيجة موت نجوم ضخمة تساوي كتلتها (1031) كيلوغرام أي ما يساوي عشر مرات كتلة الشمس.

المساحة: كلما ازدادت كتلة الثقب الأسود كلما ازددت المساحة التي يحتلها... قطر أفق الحدث يتناسب مع كتلة الثقب الأسود، فإذا كان هناك ثقب أسود كتلته أكبر بعشر مرات من كتلة الآخر فإن نصف قطر أفق حدث الأول أكبر بعشر مرات من نصف قطر أفق حدث الثاني...

سؤال ...

كيف يمكن لنا معرفة أين هو الثقب الأسود طالما أن الضوء لا يستطيع اجتيازه بل يُمتص من قبل الثقب. إذن فالثقب الأسود هو ظلام دامس فكيف يعرف العلماء مكانه وكيف يكتشفون موقعة بالنسبة للزمكان. ؟؟

بفضل جاذبيته القوية ... فإنه في المنطقة قبل أفق الحدث أو في منطقة قريبة جداً منها ولكن ليس بعدها ينحني مسار الضوء القادم من المجرات كما أنها تقوس الزمكان.

حيث أنه بفضل الثقوب السوداء التي تقوم بحني مسار الضوء لما وصل إلينا أبداً الضوء من المجرات البعيدة جداً.

دليل آخر.

من المادة التي تقوم الثقوب السوداء بابتلاعها. كلما زادت قوة الجاذبية كلما زاد قوة الضغط الواقع عليها مما يزيد درجة حرارتها. وبارتفاع درجة حرارتها ترتفع ترددات الإشعاعات الإلكترو مغناطيسية التي تصدر عنها.

أنواع الثقوب السوداء:[[20]](#footnote-20)

1. النجمية: نجم يكون كبير يصل في نهاية حياته إلى انفجاره. كانفجار سوبرنوفا (سنتحدث عنه فيما يلي).
2. المتوسطة الكتلة
3. فائقة الضخامة: تنشأ عن ثقب أسود نجمي يلتهم نجماً أو تنشاً عن اندماج عدة ثقوب سوداء مع بعضها، توجد عادة في مراكز المجرات مما يجعل نوتها شديدة التوهج.

افق الحدث

يؤثر الثقب الأسود في الزمان والمكان بطريقتين فجاذبيته الهائلة تعوق مرور الشارات منه إلى ي مصدر خارجي كما أن مرور الوقت بالقرب من الثقب الأسود يتباطأ بشكل غريب. وكما نعلم فإن أفق الحدث هو تلك المنطقة الذي إلى تجاوزها أي جسم أصبح بين يدي الثقب الأسود والتي تكون سرعة الفلات منها تساوي سرعة الضوء.

**ما مصير الضوء الذي يدخل إلى أفق الحدث ...؟**

لو افترضنا أن الضوء يتجه نحو الثقب الأسود فبمجرد عبورها لأفق الحدث فإنها لن تستطيع النجاة منه نهائياً.

داخل الثقب الأسود

ماذا يوجد إذن في مركز الثقب الأسود. ؟؟

لو فرضنا أن هناك سفينة فضاء قد أمكن لها اجتياز أفق الحدث إلى داخ الثقب الأسود فإنها ستنجذب بقوة نحو المركز، وقبل وصولها إلى المركز فإنها تسحق تماماً بفعل تيارات الجذب المتزايدة كلما اقتربنا من المركز.

في المركز تتراكم كل مادة الثقب الأسود حيث ينعدم الحجم ويصبح مساوياً للصفر وتكون كثافته غير محدودة.

إن أفق الحدث يشكل ما يسمى بالحاجز بين الثقب الأسود والعالم الخارجي فكما نعلم لا شيء يعبر أفق الحدث ويخرج منه.

اشعاع هوكينغ

عكس الفيزياء التقليدية فإن ميكانيكا الكم لا تفترض أن الفراغ "فراغ لا يحتوي على شيء" وإنما هو حالة معقدة يتأرجح فيها الفراغ. ويفترض في ذلك أن التأرجح الفراغي يتكون من جسيمات افتراضية حيث تظهر فجأة جسيم ونقيض الجسيم طبقا لمبدأ عدم التأكد ل هايزينبيرغ لفترة زمنية قصيرة جدا جدا ثم يختفيان. كما يشكل أفق الحدث للثقب الأسود منطقة يحدث فيها إنتاج زوجي لجسيمات افتراضية واختفائها كثيرا. تنشأ فجأة تلك الجسيمات المزدوجة الافتراضية وتكون -طبقا لقانون بقاء الطاقة -طاقة جسيم موجبة أما نقيضه فتكون طاقته سالبة. ونظرا لكون شدة الجاذبية للثقب الأسود بالغة الكبر فمن الممكن أن تحتوي على جسيمات حقيقية ذات طاقة سالبة. وعلى ذلك فمن الممكن أن يسقط جسيم افتراضي ذو طاقة سالبة في الثقب الأسود ويصبح فيه جسيما حقيقيا أو نقيض جسيم حقيقي. تؤدي تلك الحالة إلى انفصال الجسيم عن نقيضه عند أفق الحدث قبل أن يفني كل منهما الآخر. ويسقط أحدهما في الثقب الأسود بينما يسوح الجسيم الآخر كجسيم حقيقي في الفضاء وقد يترك نطاق الثقب الأسود. ويفقد الجسيم الحقيقي الساقط في الثقب الأسود طاقة الوضع وهي تكون كافية لتوليد ازدواج جديد وكافية لإطلاق الجسيم الآخر لكي يغادر حقل الجاذبية للثقب الأسود.

طبقا لمعادلة أينشتاين لتكافؤ الطاقة والمادةE=mc) حيث E الطاقة، وm كتلة المادة و c² مربع سرعة الضوء في الفراغ) فتكون الطاقة متناسبة طرديا مع الكتلة. فإذا اكتسب الثقب الأسود طاقة سالبة فيفقد بسبب ذلك جزءا من كتلته. وتشكل الجسيمات الحقيقية التي تهرب من الثقب الأسود ما يسمى بإشعاع هوكينغ. ونظرا لأن هذا لافتراض يمكن أن ينطبق أيضا على لفوتونات فيمكن أن يحتوي اشعاع هوكينغ على طيف مستمر من موجات كهرومغناطيسية مختلفة في أطوال موجاتها.

ونظرا لأن انحناء الزمكان يكون شديدا بالقرب من الثقب الأسود فإن اهتزازات الفراغ هناك تكون شديدة أيضا، وتكون تلك ظاهرة مهمة بالنسبة إلى الثقوب السوداء القليلة الكتلة نسبيا. وتكون أبعاد الثقوب السوداء ذات كتلة صغيرة نسبياً\_حد شوارتزشيلد\_، ويكون أفق الحدث لها وكذلك الزمكان المحيط بها شديدي الانحناء. أي أنه كلما زادت كتلة الثقب الأسود كلما قل ما يخرج منه من أشعة. وكلما قلت كتلة الثقب الأسود كلما كان معدل تبخره سريعا.

ترموديناميك الثقوب السوداء

لعل الثقوب السوداء هي أكثر الموجودات حرارةً في الكون وإلى إلان ما تزال خواصها الحرارية ليست مفهومة بشكل تام

لكن ...قد وصفت خواصها بشكل دقيق إلى حد ما من خلال عدد صغير من المعلمات العيانية (الكتلة –العزم الزاوي-الشحنة) لكن درجات حرية هذه المعلمات التي تقود إلى السلوك الحراري لم تعرف بشكل كافي حتى إلان

تلميحات قوية من الخصائص الحرارية للثقوب السوداء أتت من سلوك وخواص معيناتهم والتي نموذجة في القوانين الأربع من ترموديناميك الثقوب السوداء[[21]](#footnote-21)

* القانون الصفر في ترموديناميك الثقب الأسود هو أن جاذبية السطح K لثقب أسود ثابتة في أفق حدثه والجدير بالذكر أن هذا نظير للقانون الصفر في الترموديناميك التقليدي(الحرارة T ثابتة في نظام ذو توازن حراري)[[22]](#footnote-22)
* القانون الأول في ترموديناميك الثقوب السوداء يعبر عن مصونيه الطاقة عن طريق الربط بين التغير في كتلة الثقب الأسود M إل التغيرات في مساحة سطحه A وعزمه الزاوي J وشحنته الكهربائية Q عبر العلاقة الآتية

*حيث أن هي السرعة الزاوية و التشويش الكهربائية*

* *القانون الثاني في ترموديناميك الثقوب السوداء يدعى ب (نظرية منطقة هوكينغ) هي عبارة عن منطقة من أفق الثقب الأسود لا تتناقص كما أن هذه القاعدة تكافئ إلى حد ما القانون الثاني في الترموديناميك التقليدي \_إن انتروبية نظام مغلق S لا تنقص\_[[23]](#footnote-23)*
* *القانون الثالث في ترموديناميك الثقوب السوداء ينص على أن K ثابت جاذبية السطح لا يمكن أن ينتهي إلى الصفر بسلسلة محددة من العمليات وهذا يناظر شكل نيرنست الضعيف للقانون الثالث في الترموديناميك التقليدي (هو أن حرارة نظام لا يمكن أن تنتهي إلى الصفر الطلق بسلسلة منتهية من العمليات)*

*لكن لو دققنا جيداً لوجدنا أنه لا يكافئ شكل بلانك \_الشكل القوي\_للقانون الثالث وهو أن انتروبية نظام تسعى للصفر عندما حرارة هذا النظام تسعى إلى الصفر*

# صيغة هوكينغ للإصدار

من أجل مترية كير نيومان (التي تعد مقاربة رياضية فريدة للثقوب السوداء الثابتة في نظرية أينشتاين ماكسويل)

قليلة هي الصيغ التي يمكن أن توضح حيث أن السطح A وجاذبية السطح K والسرعة الزاوية وامكانية التشتت الكهربائي أما عن الكميات المصونة العيانية فإننا نرمز للكتلة M والعزم الزاوي والشحنة الكهربائية مستخدمين الرمز للدلالة على استخدام الاحداثيات الشعاعية r في أفق الحدث كمعلم وسيطي فتصبح المعادلات بالشكل

حيث أن و كما أنه في هذه الاحداثيات يكون للزمن والطول والكتلة والشحنة نفس الواحدة أما العزم مثلاً يكون له مربع هذه الواحدة

أما بالنسبة لثقب أسود غير مشحون لا يدور (نأخذ بعين الاعتبار مترية شوارتزشيلد) يكون

*ومنه يكون*

*معادلة هوكينغ للإصدار للثقب الأسود ضمن الحقول الحرة التي تعطي العدد المتوقع من الجزيئات من نوع معين مع شحنتها المطروحة على شكل موجة معينة بالتواتر أو الطاقة والتوافق الشبه الدائري والعدد الكمومي المحوري والعزم الزاوي* m *والاستقطاب* p

*حيث أن الإشارة السالبة هي للبوزونات أما الإشارة الموجبة هي للفرميونات و هي عبارة عن امكانية الامتصاص لموجة قادمة وبشكل أكثر دقة يمكننا القول أن هي عبارة عن نفي الطاقة الجزئية المكتسبة من تشتت موجة كلاسيكية مع مجموعة شعاعية داخلية وحيدة في أفق الحدث لذلك الثقب الأسود*

*كما أن موجب لجميع الأمواج ذات النمط الفرميوني والبوزونات التي تحقق والتي هي على الأقل ممتصة جزئياً من قبل الثقب الأسود لكنه سالب لبعض الأمواج ذات النمط البوزوني التي تضخم من قبل الثقب*

*والجدير بالذكر أن* يستحيل أن يكون سالباً *لأن عامل بلانك الحراري سالب للأمواج ذات النمط البوزوني كما أن لا يتباعد أبداً على الرغم من أن ثابت بلانك الحراري( ) يتناهى إلى الصفر لكن يسعى معه إلى الصفر في هذه الحالة أيضاً مما يجعل محدودة*

*إن مصفوفة الكثافة لإشعاع هوكينغ \_للحقول الحرة هي الناتج التنسوري (التنسور عبارة عن موتر تفاضلي) الغير مترابط لمترية الكثافة الحرارية لكل نوع مع تواتر محدد وعزم زاوي وشحنة، كما أن مترية الكثافة الحرارية لكل نمط هي قطرية في الأساس الرقمي مع احتمالية* n جزيئة *في النمط*

*والجدير بالذكر أن النمط المتوقع للجزيئات هو نمط ذو جزيئة أي في هذه المعادلة [[24]](#footnote-24)*

*وكما أن* n *يمكن أن تكون أي عدد صحيح غير سالب للبوزونات \_الإشارة العلوية \_ لكنها تنحصر على الصفر والواحد بالنسبة للفريميونات\_إلاشارة السفلية\_*

*وتحسب انتروبية فون نيومان لمصفوفة الكثافة الحرارية لكل نمط بالعلاقة*

*فلنعتبر أن الضياع المتوقع للطاقة، العزم الزاوي، الشحنة للثقب من إصدار N جزيء في النمط هي*

*يكون التغير المتوقع في انتروبية الثقب الأسود من هذا النمط من الإصدار هو*

*وهنا يكون التغير الكلي في إلانتروبية هو مجموع التغيرات في إلانتروبية أي*

*إن إصدار هوكينغ من الثقب الأسود إلى فضاء فارغ يتبع للقانون الثاني في الترموديناميك وفي الحقيق تنتج إلانتروبية من كل الأنواع التي يكون فيها إلاصدار (إصدار هوكينغ) لا يساوي الصفر ولما كان إلاصدار من الثقب الأسود ذو درجة حرارة لفضاء خال ذو فهو تقدم أو تفاعل خارج عن التوازن*

*والجدير بالذكر أن كون لا يعتمد فقط على عامل بلانك بل وأيضاً على كما أن الحرارة الفعالة تتغير من نمط إلى نمط ولعل أفضل طريقة لتحديدها هي من علاقة عامل بولتزمان*

*ولما كانت هذا يعطي*

*عندما (كما في مترية شوارتزشيلد) يصبح عامل بلانك*

*عندما وبالتالي إن الموجة الكلاسيكية سيتم امتصاصها بالكامل من قبل الثقب الأسود ومنه يكون وغالباً ما تعتمد الحرارة على نمط الثقب الأسود*

*فمثلاً عندماعندها عموماً يكون و التي [[25]](#footnote-25)لديها عزم زاوي كبير بالمقارنة مع طاقتها وبالتالي هي بالمعظم تفتقد إلى الثقب الأسود وتمتلك إمكانية امتصاص ضئيلة* والحرارة الفعالة هي أقل بكثير من حرارة الثقب الأسود

ومن ناحية أخرى هناك الشديدة القرب من الثقوب السوداء حيث و وما تم ذكره هو عبارة عن قيمة شوارتزشيلد ومن أجل إلانماط التي فيها (كما في البوزونات التي لديها ومن أجل الفرميونات التي لديها )

لكن عندما تكون هذه هي الحالة حيث يكون لها تأثير مهمل وتصبح معادلة هوكينغ للإصدار تقريباً بالشكل حيث أن عامل التضخيم هنا *والجدير بالذكر أن أول اكتشاف للإصدار التلقائي كان على يد زيلدوفيش*

تدل على *طاقة الثقب، والعزم الزاوي، والشحنة ومن انحفاظ الطاقة ملاحظات على المعادلات السابقة حيث*

*الكلية والعزم الزاوي والشحنة فالثقب الأسود يخسر هذه الكميات بسرعة السرعات التي اكتسبهم بها الإشعاع*

*لكن هذا لا ينطبق على إلانتروبية الكلية والتي بشكل عام ترتفع وكما لاحظنا أن انتروبية ثقب أسود تتغير بالنسبة للسرعة*

*وتصبح إلانتروبية الكلية*

# ملخص عن حياة النجوم

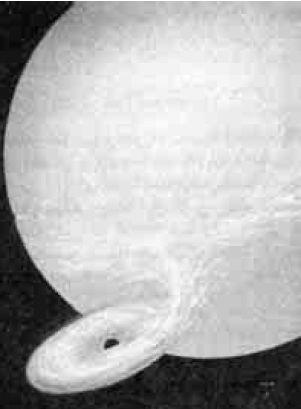
منذ لحظات الميلاد الأولى للنجوم ومعظم الغاز الذي يدخل في تكوينه هو الهيدروجين، مخلوطاً بكميات صغيرة من الهيليوم وشوائب بسيطة من العناصر الأثقل منه، حيث كلما ازدادت الكتلة كلم قصر الوقت اللازم لإمام مرحلة النجم الأولى، فالنجم كبير الكتلة يمكنه بسبب شدة مجال جاذبيته إنجاز ميلاده في وقت قصير نسبياً.

تبدأ التفاعلات النووية داخل النجم حينما يصل إلى حد تقلص معين وتكون درجة حرارته الداخلية حوالي نصف مليون درجة مئوية وعندها يتحول الهدروجين إلى هيليوم بفعل الاندماج النووي (حيث تتحد أربع ذرات هدروجين مشكلة ذرة هيليوم). وعندما تصل حرارة النجم في اللب إلى حوالي الثمانين مليون درجة يدخل الهيليوم متحولاً إلى عناصر أثقل،

ثم يأتي الوقت الذي يتعادل فيه ضغط الحرارة العالية في داخل النجم مع قوة الجاذبية وهكذا يتوقف الانكماش ويدخل النجم في مرحلة التتابع الرئيسي ويصبح النجم مجرد آلة تشع ضوء وقودها مادتها.

تنتهي حياة النج عندما يستهلك كل وقوده النووي ومن ثم لن يستطيع الاحتفاظ بحرارة كافية في باطنه للإبقاء على طبقاته الخارجية وهكذا ينكمش أكثر.

تنتهي حياة النجم ذو الكتلة الصغيرة إلى نجم نيوتروني أو قزم أبيض أما إذا زادة كتلته عن حد معين فيصبح ثقب أسود.



هل يوجد في مجرتنا ثقب أسود. ؟؟

هناك أدلة مؤكدة عن أحداث عنيفة تجري في مركز مجرتنا فمثلاً هناك تركيب في شكل ذراع هائل يتألف غالباً من الهدروجين ويبعد نحو تسع سنوات ضوئية من المركز يُمكن أن يّشاهد مقبلاً نحو الكوة الأرضية سرعة تبلغ حوالي 50 كيلومتر في الساعة، وهذه الحركة يُمكن معرفتها بالتغير الذي يحدث في طول الموجات الراديوية التي يطلقها الهدروجين وهذا وغيره من الاضطرابات في لنبضات الراديوية تؤيد فكرة أن مركز مجرتنا يحوي ثقب أسود هائل.

رأي العلماء عن الثقب الأسود

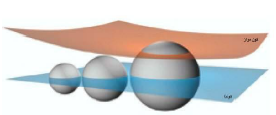
فكر العلماء باستخدام الثقب كسلاح وقالوا بأنه يمكن أن يستعمل كقنبلة نووية هائلة التدمير.

نظرية النسبية تقول إن العلاقة بين الطاقة والكتلة هي أن الطاقة تساوي الكتلة مضروبة بمربع سرعة الضوء.

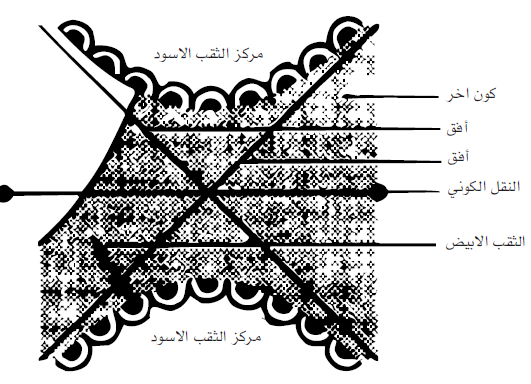
وعلى غرار هذه العلاقة بين الطلقة والكتلة قال عالمان من المعهد التكنولوجي بكاليفورنيا بإمكان استخدام الثقب الأسود كقنبلة ففي ظروف معينة يمكن تضخيم قوة الموجات الراديوية الطويلة بارتدادها من الثقوب السوداء وهذه الزيادة في القوة يُمكن أن تبلغ حداً معيناً ولكن إذا أحيد الثقب الأوحد بمجموعة من المرايا التي تستطيع عكس أكثر من 99.9% من الإشعاع الساقط عليها يُمكن أن تتضخم عدة مرات بارتدادها من الثقب الأسود حتى يصل الأمر إلى انفجار المرايا المحيطة بالثقب بشكل كبير.

الثقوب البيضاء والسفر عبر الزمن

وضع بعض العلماء تصورات نظرية ونماذج رياضية لتفسير بعض الظواهر الكونية الغامضة، من هذه التفسيرات أن هناك تدفقات كونية تأتي إلى كوننا المرئي من كون مجهول لا يعرفون عنه شيئاً.



فالمادة التي تختفي في الثقب الأسود تنتقل إلى كون آخر عن طريق ما يسمى بالنفق الكوني وتنبثق هناك في شكل متدفق كوني يطلق عليه اسم الثقب الأبيض والثقب الأبيض هو عكس الثقب الأسود، فبينما تختفي المادة وتفقد كل خصائصها داخل مركز الثقب الأسود فإنه تندفع خلال نفق كوني لتنبثق مرة أخرى بشكل مختلف من الكون الآخر بشكل ثقب أبيض.



سؤال.

**ألا توجد قوة م تمكننا من الهروب من الثقب الأسود ...؟**

إن أية قوة كهذه يجب أن تمنع مزيداً من الانهيار، يجب أن تشتمل على طاقة حتى تحدث تأثيراً قويا.

ومصدر هذه الطاقة سيفعل هو نفسه (كما لو أن له كتلة) ولكن سيكون هناك أيضاً جاذبية لهذه الكتلة، وها يعجل الانهيار وكلما كبر حجم الطاقة التي تحاول منع الانهيار زادت قوة الجاذبية. وهذا يُحدث مزيداً من الضغط، ومن ثم لن يمكن أبداً الهروب من قوة هذا التأثير والانهيار إلى مركز الثقب الأسود.

وفي داخل الثقب الأسود لا يمكن أبداً تفادي الفناء التام ولا حتى تأجيله إلى بعد فترة من الزمن. لأن الوقت الذي يستغرقه السقوط إلى المركز في داخل الثقب الأسود صغير ...يبلغ حواليواحد على مليون من الثانية الواحدة.

الملخص

لقد درسنا في هذا الفصل (لثقوب السوداء) عن النجوم وأنواعها وكيف تنهي حياتها. فإذا كان كتلة النجم ذو كتلة صغيرة فإنه ينهي حياته بقزم أبيض أو بنجم نيوتروني وإذا كانت كتلته أكبر من ثلاثة أضعف شمسنا فإنه ينهي حياته بثقب أسود.

وتتوقف حياة النجم عندما تتوقف التفاعلات النووية الموجودة في دخله.

وكل هذا الكلام عن الثقوب السوداء (إذا كان لها وجود طبعاً) فهي تنشأ من غبار النجوم وأهم ما يميز الثقوب السوداء أنها تحوي أفق حدث (وهو حد كروي يفصل بين داخل الثقب الأسود العالم الخارجي عن الثقب الأسود).

وتحدثنا أيضاً عن احتمال السفر عبر الزمن عن طريق النفق الدودي واحتمالية وجود ثقوب بيضاء.

وكل ما تحدثنا عنه في هذا الفصل مع الفئة المؤيدة لفكرة الثقب الأسود. حيث يوجد أيضاً فئة غير مقتنعة بوجود الثقب الأسود ولها دلائل عليها.

قد حاول ألبرت أينشتاين في نهاية حياته أن يحل لغزاً كبيراً .... وهو أن يجد نظرية واحدة تقوم بوصف كل ما يجري في الكون لكنه وللأسف قد كان الموت حاجزاً بينه وبين تحقيق حلمه لكن الفيزيائيين اليوم يعتقدون أنهم يمسكون بحل ذاك اللغز العظيم إلا وهو نظرية الأوتار ال فائقةString theory نظرية تنسف أفكارنا التقليدية عن الكون وتجعل العالم ساحة للخيال البحت...



نظرية الأوتار الفائقة

تنص نظرية الأوتار الفائقة على أننا نعيش في كون يلتقي فيه الخيال العلمي مع الحقيقة كون يتألف من أحد عشر بعداً وأكوان موازية أقرب إلى كوننا مما نتخيل. كون تنسجه موسيقى الأوتار .... والمبدأ بسيط ٌ جداً فالنظرية تقول إن كل ما في الكون من النجوم العملاقة إلى أصغر جزء في الذرة مكونة من خيوط مهتزة متحركة صغيرة جداً من الطاقة ندعوها أوتاراً والنغمات التي تستطيع أوتار الطاقة هذه إصدارها تشكون الكون بأكمله

استنادا إلى نظرية الأوتار الفائقة فإن الكون الذي نعيش فيه ليس وحيدا، وإنما هنالك أكوان عديدة متصلة ببعضها البعض، ويرى العلماء أن هذه الأكوان متداخلة ولكل كون قوانينه الخاصة به، بمعنى أن الحيز الواحد في عالمنا قد يكون مشغولاً بأكثر من جسم ولكن من عوالم مختلفة، وبحسب هذه النظرية فإن الكون ما هو إلا سيمفونية أوتار فائقة متذبذبة، فالكون عزف موسيقي ليس إلا ومن الممكن معرفة الكون ومما يتكوّن من خلال معرفتنا للأوتار ونغماتها، فالكون يتصرف على نمط العزف على الأوتار.

# نظرية الأوتار الفائقة. الفكرة الأساسية:

تقدم نظرية الأوتار نموذجاً قوياً مبنياً على الفهم يتضمن لأول مرة ظهور إطار يجيب عن تلك التساؤلات. ولنبدأ بالفكرة الأساسية.

إن الجسيمات الدقيقة التي تبدو لنا كأنها "حروف" جميع المواد، وفق النظرية الوترية هي ليست مجرد "نقطة" بل تتكون من أنشوطة أحادية البعد مغلقة أو مفتوحة وطولها أصغر بمئة مليار مرة من نواة الذرة (1020 مرة). وكل جسيمة تتكون من فتيل (string) يتذبذب ويهتز ويتراقص مثل حلقة من المطاط متناهية النحافة (صورة الأوتار ثم صورة تسلسل البناء من تفاحة إلى وتر) وهذا الانحلال المباشر للجسيمات محل جدائل الأوتار كعناصر أساسية يؤدي إلى نتائج بعيدة المدى أولها وأهمها أنه يزيل التناقض بين النسبية العامة وميكانيك الكم حيث أن الطبيعة الفراغية الممتدة للوتر هي العنصر الحرج الجديد الذي يسمح بإطار فريد متجانس يربط بين النظريتين. وثانيهما أن نظرية الأوتار تقد نظرية موحدة تقترح أن كل المادة وكل القوى تنشأ من مكون أساسي واحد هو الأوتار المتذبذبة وأخيراً فإن هذه النظرية تغير مرة أخرى وبصورة جذرية فهمنا للزمكان.

استناداً إلى نظرية الأوتار الفائقة فإن الكون ما هو إلا سيمفونية أوتار فائقة متذبذبة، فالكون عزف موسيقي ليس إلا ومن الممكن معرفة الكون ومما يتكوّن من خلال معرفتنا للأوتار ونغماتها، فالكون يتصرف على نمط العزف على الأوتار.

مازالت هذه النظرية في بداياتها المتواضعة لكنها بالفعل تطرح مفهوماً جديداً كلياً عن الكون وما في داخله

### The unification

التوحيد هو صياغة قانون وحيد يصف كل ما في هذا الكون بواسطة فكرة واحدة أو معادلة واحدة رئيسية يعتقد العلماء أن التوحيد موجود لأن فهمنا للكون أعطانا مجموعة من التفسيرات العديدة والتي تشير إلى الاتجاه نفسه تقود إلى طريق واحد

"التوحيد هو ما نسعى لتحقيقه لأن هدف الفيزياء الأساسي هو أن نصف المزيد والمزيد من ظواهر الكون بطرق ومبادئ أبسط وأبسط “ستيفن وينبرغ

"إن قدرتنا على وصف الظواهر الهائلة العدد بشكل واحد بسيط هو خطوة خطيرة جداً في مفاهيمنا عن الكون ووجوده “مايكل غرين

يعد التوحيد من خلال نظرية الأوتار النموذج القياسي إلى جانب عدم مقدرته على احتواء قوة الجاذبية فإنه أيضاً لا يوجد تفسيراً لتفاصيل التركيب. فهو يأخذ قائمة الجسيمات كمدخلات تجريبية ولا يقدم أي تنبؤ إن لم يتم إدخال البيانات عن الخواص الأساسية للجسيمات. أما نظرية الأوتار فهي مختلفة جذرياً ولا تتطلب أي مدخلات. فكل خواص العالم الميكروي تقع داخل مجال قدرتها على التفسير.

فمثلاً. لوتر الكمان عدد هائل من لانساق الاهتزازية المختلفة وتسمى الرنين (Resonance) وأنساق الموجات هذه بقممها ومنخفضاتها تفصل بينها مسافات متساوية وتناسب تماماً المسافة بين نقطتي تثبيت الوتر وتشعر إذنانا برنين لانساق الاهتزازية المختلفة كنغمات موسيقية متباينة.

وللأوتار في نظرية الأوتار الفائقة صفات مماثلة حيث هناك رنين لنسق اهتزازي يحدثه الوتر نتيجة المسافات المتساوية بين القمم والمنخفضات التي تناسب تماماً بعده المكاني. وكما تعطي لانساق الاهتزازية لأوتار الكمان نغمات موسيقية مختلفة، فإن لانساق الاهتزازية المختلفة لوتر أساسي تعطي كتلاً وشحنات وقوىً مختلفة أي أن خواص الجسيمة الأولية تتحدد بنسق الرنين الدقيق للاهتزازات التي يحدثها وترها الذاتي. [[26]](#footnote-26)

والجدير بالذكر أنه تم اقتراح خمس نظريات في توحيد الكون لا واحدة وهذا ما سنتطرق إليه إلان في مفهوم الثنائيات

مفهوم الثنائيات في نظرية الأوتار الفائقة[[27]](#footnote-27)

ينطلق مفهوم الثنائيات من إعطاء تفسيرين لحالة واحدة ومما ساعد على قيامه في نظرية الأوتار الفائقة هو وجود خمس نظريات لا نظرية واحدة كما ذكرنا سابقاً

**مفهوم الثنائيات في نظرية الأوتار:**

تعتبر الثنائيات من المفاهيم الأساسية في نظرية الأوتار، وذلك لأنَّ نظرية الأوتار ليست نظرية واحدة وإنّما خمس نظريات ترتبط ببعضها من خلال هذه الثنائيات، **مفهوم الثنائية** هو إعطاء تفسيرين مختلفين لحالة واحدة، أهم الثنائيات في نظرية الأوتار:

T-Duality ثنائية-تي

S-Dualityثنائية-أس

U-Dualityثنائية-يوث

**ثنائية-تي: T-Duality**

**أولاً**

تحجب الثنائية-تي قدرة التشخيص بين الثنائيات الصغيرة والكبيرة نفرض الجهة للبعد التاسع في ومكان ذو عش أبعاد في دائرة: R نصف قطرها

الزخم أو كمية الحركة لذرة متحركة حول هذه الدائرة عبارة عن كمات من 1/R مربع كتلة الذرة في حالة n عدد صحيح عدد الكمات يساوي:

الوتر يلتف حول هذه الدائرة زخم كتلة الوتر كما هو للذرة الوتر المغلق يلتف حول الدائرة أو أحياناً الذرة لا تستطيع، عدد لفات الوتر حول الدائرة يعرف بعدد اللفات ويرمز له w وهو كذلك عدد صحيح.

شدة سحب الوتر عبارة عن طاقة في وحدة طول الوتر.

شدة السحب في الوتر:

الطاقة:

طول الوتر:

مربع كتلة أي وتر مغلق تساوي:

ذبذبات الوتر المغلق في الحركة ذات اليمين وذات الشمال.

في هذا التطبيق: الثابت هو

إذا حولنا صيغة الالتفاف إلى صيغة الزخم الكمي هذا التحويل يعتمد على ثنائية تعرف بثنائية-تي.

إلىأي يمكن تحويل نصف القطر

إذا كان طول الوتر المضغوط R أصغر بكثير من طول الوتر

بعد التحويل ثنائية-تي تزيل في هذه الحالة يصبح طول نصف القطر المضغوط أكبر بكثير من طول الوتر

الاختلاف بين هذه المقاييس المضغوطة التي ينتج عنها تعاظم في الكبر والصغر.

**S-Dualityثنائية-أس**

يبين الثابت المزدوج شدة التفاعلات مثلاً G ثابت نيوتن يظهر في قانون الجذب العام لنيوتن ومعادلات أينشتاين هو ثابت مزدوج، في الكهرومغناطيسية الثابت المزدوج للشحنة الكهربائية يظهر من خلال ثابت التركيب الدقيقα.

في الفيزياء الذرية ونظرية الأوتار الفائقة سعة أو نطاق الانتشار (والقيم الأخرى) تحسب على شكل متتاليات أية المتغير فيها الثابت المزدوج وبهذه الصورة

في الكهرومغناطيسي الثابتα وفي الميكانيك ثابت الجاذبية هما صغيران، لذلك تظهر قيمة هذه النظريات، تعاظم الثابت المزدوج يقلل من أهمية النظرية وذلك لأن كلما كبرت قيمة الثابت المزدوج بالنتيجة تكبر قيمة المتتالية الأسية لذلك الثابت وتصبح النظرية غير عملية.

نظريتين من الأوتار الفائقة عندما يرتبطان بثنائية –أس يعني ذلك أن إحدى النظريتين مع ثابت مزدوج قوي والآخر مع ثابت مزدوج ضعيف.

الدلالون في فيزياء الجسيمات ذرة افتراضية بلا كتلة وبلا إسبين تظهر في بعض نماذج نظرية الأوتار في الحقل السلمي φ.

عبارة عن: (x) الثابت المزدوج للديلاتون لحقل φ

لحقل مثل

مجموع قيمتين حقيقية وخيالية، إذا كان تأثير الحقل لا شيء، فيهذه الحالة التحويلات:

: c=-1, b=1 في حالة

إذن:

هي نفسها مع الثابت المزدوج الثاني. وهذا يعني أن النظرية مع الثابت المزدوج

**ثنائية-يوث:**

ثنائية-يوث في نظرية الأوتار الفائقة أو في نظرية-إم هي عبارة عن دمج الثنائيتين ثنائية-تي وثنائية-إس

وكما لاحظنا ان الثنائية – تي للمقاييس والثنائية-إس للثوابت، مفاهيم الثنائيات في نظرية الأوتار شبيهه بمفاهيم الطوبولوجية للهندسة كيف يتعامل الخبير في الطوبولوجيا مع الأشياء والأشكال الهندسية؟ كيف يفكر؟ كيف يرتقي التفكير الطوبولوجي بالأشياء من الشكل الظاهري إلى مفهوم يتحرر من قيود الشكل الظاهري.

نظرية الأوتار الفائقة هي نظرة طوبولوجيا لمجرى الفيزياء والمفاهيم الفيزيائية

**: أنواع نظريات الأوتار الفائقة**

في النموذج العياري للفيزياء الذرية الذرة عبارة عن نقطة تتحرك في الفضاء على خط يسمى الخط العالمي، في هذا النموذج محاسبة مكان وسرعة وإسبين الذرة إطار هذا النموذج هو العقل الكرومي.

استطاع هذا النموذج بموفقيه عالية شرح وتفسير القوى الكونية الأساسية (الكهرومغناطيسية والنووية الشديدة والضعيفة)لكنه عجز أمام القوى الأربعة(الثقالة) حيث تصبح نتائج هذا النموذج للغرافين وهو الذرة الحاملة للثقالة ما لانهاية ورياضياً وفيزيائياً هذه النتيجة غير مقبولة، استطاعت نظرية الأوتار إعطاء تفسير للقوة الرابعة هذه وربطها بسائر القوى الأساسية الأخرى ، نظرية الأوتار البوزينية هي أول نظريات الأوتار لكن هي فقط للبوزونات حاملات القوى ذات الإسبين الصحيح ، تعميم نظرية الأوتار لتشمل البوزونات والفرميونات تحت اسم نظرية الأوتار الفائقة لتشمل ثلاث نظريات اثنان منها الشيء الأساسي فيها الوتر المغلق ولا أخرى الشيء الأساسي فيها الوتر المفتوح، دمج نظرية الأوتار البوزينية مع نظرية الأوتار الفائقة هي نظرتين متوائمتين للأوتار باسم نظرية الأوتار الهيدروليكية النظرية التي جمعت هذه الخمس نظريات هي (الأوتار الفائقة ثلاث نظريات والهيتروتيكية اثنتان)هي نظرية-إم، أضافت نظرية-إم بعدا آخراً لتصبح هذه النظرية ذات 11 بعد، البعد الحادي عشر هذا هو عبارة عن غشاء معارض للوتر.

الأغشية هي مشابهة للأوتار عندما نلف البعد الحادي عشر في دائرة صغيرة.

**الأبعاد ودي برانه في نظرية الأوتار:**

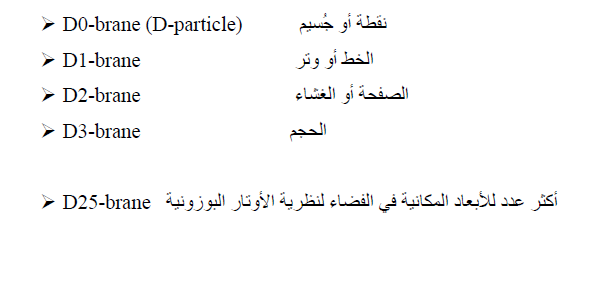
أول نظرية في نظرية الأوتار لكي تصبح قادراً على محاكاة تناظر لورنتس هي بحاجة إلى 26 بعد، وجود ذرات أسرع من الضوء حرف هذه النظرية عن مجراها الطبيعي لكنها من النظريات القوية في تفسير الظواهر الفوتونية والغرافيتونية لكنها عاجزة عن تفسير الظواهر الإلكترونية.

عدد أبعاد الفضاء في أكثر نظريات الأوتار الفائقة 10 أبعاد، تسعة أبعاد مكانية وبعد زمني واحد وفي نظرية-إم 11 بعد. تبرر نظرية الأوتار الفائقة وجود ستة أبعاد مكانية إضافية على أنها مضغوطة وتشبّه هذا الانضغاط بالأبعاد المختفية لجسم حجمي من فاصلة جداً بعيدة، كلما اقترب الجسم منا تظهر وتتجلى أبعاده المختفية، الأنبوب من فاصلة بعيدة نراه مثل الخط وهكذا في ثائر الأشكال.

من الأشياء المهمة في نظرية الأوتار يتحرك أو ينزلق رأسي أو أحد رؤوس الوتر المفتوح على هذه الأشياء

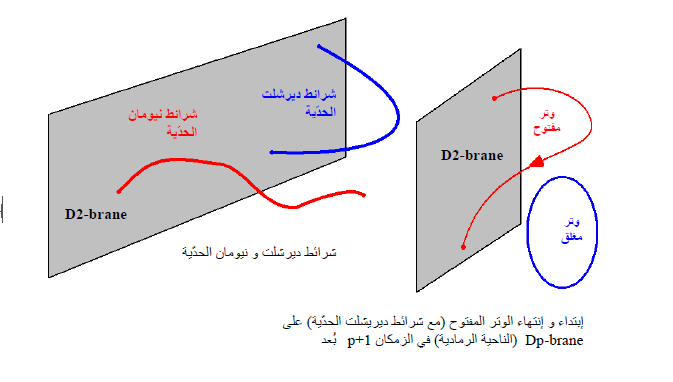
DP -b͟rane بهذه الصورة D -b͟raneولتعين عدد أبعاد الفضاء تكتب

الحرف p يعين عدد أبعاد الفضاء المكانية وبالتالي (p+1) يعين عدد أبعاد الفضاء الزمانية والمكانية والحرف D هو أول حرف من عالم الرياضيات الذي أوجدها.

في نظرية الأوتار الغير حرجة عدد أبعاد الفضاء أربعة أبعاد كعدد أبعاد الفضاء في النسبية، عادة لا تدعم هذه النظرية لا متغير لورنتيز وهي غير مناسبة لنظرية كل شيء.

الأوتار نوعان لها نقطتان إنتهائيتان وطوبولوجيا هي متكافئة مع الخط ومغلقة نقاطها إلانتهائية متصلة ببعضها وطوبولوجياً هي متكافئة مع الدائرة أي الوتر المغلق دائرة، ليس كل أنواع نظريات الأوتار، أوتارها مفتوحة، لكن كل نظرية من نظريات الأوتار الفائقة يجب أن تكون فيها أوتار مغلقة، طول الوتر في نظرية الأوتار الفائقة هو طول الثقالة الكمومية أو طول بلانك.

يتمتع الوتر بعدة شرائط حدية، على سبيل المثال الوتر المغلق يتمتع بشرط حدِّي دوري أي يرجع الوتر على ما كان عليه، والوتر المفتوح له شرطان حدِّيان هما شرط ديريلشت ونيومان شرط ديريلشت النقطة إلانتهائية ثابتة، وشرط نيومان النقطة إلانتهائية حرة الحركة.

**فضاء هيلبرت:**

في نظرية الأوتار الفائقة مفهوم الفضاء يتعدى مفهوم الفضاء الإقليدي والتقليدي ذو ثلاثة أبعاد، وكذلك يتعدى مفهوم الزمكان رباعي الأبعاد، في نظرية الأوتار الفائقة الفضاء متعدد الأبعاد تصل أبعاده إلى 9و10و11 بُعد، وفي النظرية البوزينية تصل أبعاد الفضاء إلى 26 بعد، لذلك لا يمكن التعامل مع هذا الفضاء وفق قوانين الفضاء التقليدي ونحن بحاجة إلى فضاء جديد فيه مكانية الأبعاد اللامتناهية والفضاء المناسب لهذه الخصائص وهذه النظرية هو فضاء هيلبرت.

فضاء هيلبرت عبارة عن فضاء متجهي H مع جداء  
 داخلي<f¸g>

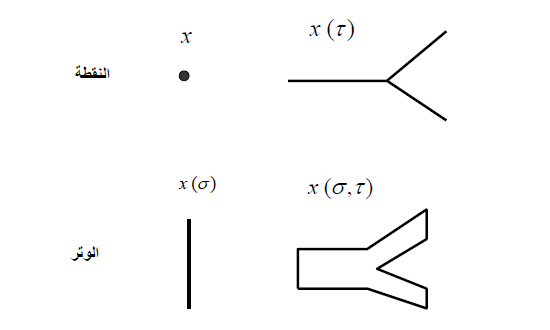
مثلاً فضاء هيلبرت لا متناهي الأبعاد

مجموعة كل الدوال (f¸ g) بحيث R͢<ــــــR˸ f وتكامل²f معين في هذه الحالة الجداء الداخلي عبارة عن:

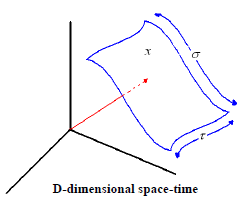
ترجع تسمية هذا الفضاء إلى عالم الرياضيات الذي اكتشفها، هذا الفضاء هو عبارة عن توسيع طريقة الجبر المتجهين من بعدين الصفحة وثلاثة أبعاد الفضاء إلى فضاء لا متناهي الأبعاد.

**الفرق بين النقطة والوتر:**

النقطة أو الجسيم شيء بعده صفر في الفضاء الخط العالمي فيه أحادي البعد، هذه النقطة على الخط العالمي في مسار الزمكان، بينما الوتر المفتوح أو المغلق شيء بعده واحد في الفضاء، الصفحة العالمية فيه ذات بعدان، هذا الوتر على الصفحة العالمية ينتشر في الزمكان.

الصفحة العالمية

و1-D,...,2,1,0=µ الدليل السفلي الصفر هو للزمن، σ متغير المكان و متغير الزمن.



**مبدأ العمل في نظرية الأوتار الفائقة:**

عادة تبدأ قوانين الفيزياء بمبدأ العمل وفي الميكانيكا الكلاسيكية تستنتج معادلة حركة الذرة من هذا المبدأ في هذهِ الحالة هو

في هذه المعادلة L لاغرانج هو دالة من المكان q وسرعة

لاغرانج الطاقة والزخم وفقاً لقانون الطاقة في النسبية:

تعتبر هذه الرابطة من الروابط المهمة التي يمكن من خلالها استنتاج رابطة للعمل في نظرية الأوتار.

عمل نامبو-غوتو:

الصفحة العالمية:

محددة:

في هذه الرابطة ₒᴛ شدة سحب الوتر.

في نظرية الأوتار الفائقة لتسهيل العمليات الحسابية ولبعض الأغراض يستغنى عن المقادير الفيزيائية لبعض الثوابت الفيزيائية وتستبدل بقيمة الواحد لها، وتبديلها إلى وحدات عددية، هذه الثوابت: سرعة ال ضوء1=c ثابت بلانك(هايزنبرغ)1=h ثابت نيوتن 1=G.

في نظرية الأوتار يستعان بالثابت á بهذه الصورة:

الرابطة النهائية لهذا العمل في نظرية الأوتار البوزينية هي:

تبدأ نظرية الأوتار الفائقة بمبدأ العمل، حركة الوتر كمسح ينتج عنه الصفحة العالمية بأقل مساحة، أشبه بأقصر فاصلة بين نقطتين، ويرمز لها بالحرف S.

توجد عدة صيغ لهذا المبدأ ومن أهمِّها عمل بلايكوف:

مصفوفة قطرية:

إذن عمل بلايكوف عبارة عن:

بعض التعاريف التي يستفاد منها في نظرية النسبية العامة وثلبت لورينتز للوصول إلى رابطة العمل في نظرية الأوتار:

متربة مينكوفسكي في فضاء خالٍ وفقاً لنظرية النسبية العامة

=[ct,x,y,z]

صيغة أخرى لعمل بلايكوف هي:

في هذه الرابطة ᴛ شدة السحب في الوتر

مترية المانيفولد

مترية الصفحة العالمية



الأكوان المتعددة[[28]](#footnote-28)

كوننا الذي نعيش فيه يمكن ألا يكون هو الوحيد وفي الحقيقة من الممكن أن يكون كوننا هو واحداً من بين عدد غير منته من الأكوان التي تشكل ما يسمى بـ multiverse.

على الرغم من أن هذا المفهوم قد يكون صعب التصديق وقد يبدو ساذجاً، لكنه يتضمن أفكاراً فيزيائية جيدة. هناك عدة طرق للوصول إلى مفهوم الكون المتعدد “ multiverse ” فهناك الكثير من النظريات الفيزيائية المستقلة عن بعضها البعض و التي توصلنا إلى هذا الاستنتاج، في الواقع فإن عدداً من الخبراء يعتقدون أن احتمال وجود أكوان خفية عنا أكبر من عدم وجودها.

فيما يلي أكثر خمسة نظريات علمية قابلة للتصديق تقترح أننا نعيش في كون من مجموعة أكوان متعددة.

وبكلام آخر:

هيو إيفيرت الشاب اتفق مع ما اقترحه الفيزيائي القدير نيلز بور عن عالم الكم. هو وافق على فكرة الوضع الفائق وأيضاً فكرة دالة الموجة. لكن إيفيرت اختلف مع بور في نقطة حيوية أخرى.

بالنسبة لإيفريت، فقياس الشيء الكمي لا يجبره على اتخاذ حالة معينة أو أخرى. وبدلا ً من ذلك، فقياس الشيء الكمي يسبب تفرع حقيقي في الكون. فالكون تم نسخه تماماً إلى كونين، وكل واحد من الكونين يمثل نتيجة محتملة للقياس. على سبيل المثال، لنفترض أن دالة الموجة لشيء ما هي كلا ً من جسيم وموجة. حينما يقوم الفيزيائي بقياس هذا الشيء، فهناك نتيجتين محتملتين: إما أن يلاحظ هذا الشيء كجسيم أو كموجة.

حينما يقوم الفيزيائي بملاحظة الشيء، ينقسم الكون إلى كونين اثنين لتلبية كلا ً من الاحتمالين. وعلى ذلك، فالعالم الفيزيائي في أحد الكونين وجد أن الشيء تم قياسه على أنه موجة. أما العالم الفيزيائي المشابه في الكون الآخر فقد قاس الشيء على أنه جسيم. وهذا أيضاً يفسر لماذا يتم قياس الشيء الواحد على أكثر من حالة.

هذا الفارق، هو ما يجعل نظرية العوالم المتعددة لإيفريت منافسة لتفسير كوبنهاجن، كتفسيرين لميكانيكا الكم.

على قدر الأثارة التي قد تبدو عليها، فنظرية العوالم المتعددة لإيفريت لها معاني ضمنية بعد المستوى الكمي. فلو هناك حدث له أكثر من نتيجة محتملة، إذن -لو نظرية إيفيرت صحيحة-الكون سيتفرع حينما يتم هذا الحدث. وهذا يحدث حقيقة ً حتى لو اختار الفرد ألا يقوم بأي فعل.

وهذا يعنى أنك لو تعرضت لموقف يكون فيه الموت نتيجة محتملة، إذن ففي كون موازي لنا، أنت ميت. هذا مجرد سبب واحد يجعل البعض يشعر بالانزعاج تجاه نظرية العوالم المتعددة.

الوجه الآخر المزعج أيضاً في تفسير العوالم المتوازية أنه يهدم مفهومنا الخطى عن الزمن. تخيل أن خط الزمن يعرض تاريخ حرب فيتنام. فبدلا ً من خط زمني مستقيم يعرض أحداث جديرة بالملاحظة تتقدم للأمام، فخط الزمن حسب نظرية العوالم المتعددة يتفرع ليعرض كل نتيجة محتملة لكل حدث تم. ومن هنا، كل نتيجة محتملة لحدث تم، ستؤرخ.

لكن الشخص لا يستطيع أن يكون مدرك لتوائمه الآخرين -أو حتى موته شخصياً-الموجودة في أكوان موازية. إذن كيف نستطيع أن نعرف أن نظرية العوالم المتعددة صحيحة؟ التأكيد على أن هذه النظرية ممكنة نظرياً، حدث في التسعينيات عن طريق تجربة فكرية thought experiment (تجربة متخيلة تستخدم لإثبات أو تفنيد فكرة ما نظرياً) اسمها الانتحار الكمي quantum-suicide.

هذه التجربة الفكرية جددت الاهتمام بنظرية إيفيرت. التي اعتبرت هراء ً لسنوات عديدة. ومنذ أن تم إثبات إمكانية العوالم المتعددة، توجه الفيزيائيين والرياضيين إلى البحث في المعاني الضمنية للنظرية في العمق. لكن نظرية العوالم المتعددة ليس النظرية الوحيدة التي تريد أن تشرح الكون. وأيضاً ليست الوحيدة التي تقترح وجود أكوان موازية لنا. وفى الجزء التالي سنقرأ معاً عن نظرية الأوتار string theory وأيضا يمكن ان نجد اشباه لنا في الأكوان الموازية.

## متعدد الأكوان في نظرية الأوتار.

**String theory**

نظرية العوالم المتعددة وتفسير كوبنهاجن ليسوا المتنافسين الوحيدين في محاولة شرح المستوى الأولى من الكون. في الحقيقة، حتى ميكانيكا الكم ليست المجال الوحيد في الفيزياء الذي يبحث عن مثل هذه الشرح. النظريات التي ظهرت من دراسة الفيزياء تحت الذرية ما زالت نظريات. وتسبب هذا في أن مجال الدراسة انقسم بكثرة بنفس طريقة عالم علم النفس. النظريات لها مؤيدين ونقاد، مثل ما يحدث في أطر علم النفس المقدمة من كارل يونج وألبرت إليس وسيجموند فرويد.

منذ أن تطور علمهم، انشغل الفيزيائيين بعكس هندسة الكون reverse engineering، درسوا ماذا يمكن أن يلاحظوا وعملوا من الخلف تجاه مستويات أصغر وأصغر في العالم الفيزيائي. بهذا العمل، يحاول الفيزيائيون أن يصلوا للمستوى النهائي والأكثر أولية. هذا هو المستوى، الذي يأملون، أن يساعد على تأسيس فهم كل شيء آخر.

بعد نظريته الشهيرة عن النسبية، قضى ألبرت أينشتين بقية حياته باحثاً عن المستوى النهائي الذي سيجيب على كل الأسئلة الفيزيائية. أشار الفيزيائيون إلى هذه النظرية الشبحية باسم نظرية كل شيء Theory of Everything. فيزيائيو الكم يعتقدون أنهم على طريق اكتشاف هذه النظرية النهائية. لكن مجال آخر من الفيزياء يعتقد أن المستوى الكمي ليس هو المستوى الأصغر، ولذلك هو لا يمكن أن يمدنا بنظرية كل شيء. بدلا ً من ذلك، تحول هؤلاء الفيزيائيون إلى مستوى نظري تحت الكم، يسمى نظرية الأوتار، من أجل الإجابة على كل ما في الحياة. الشيء المدهش أن هؤلاء الفيزيائيون خلال أبحاثهم النظرية أيضاً استنتجوا -مثل إيفيرت-وجود الأكوان المتوازية!

نظرية الأوتار أنشئت بواسطة الفيزيائي الياباني-الأمريكي ميشو كاكو. نظريته تقول إن كتل البناء الأساسية لكل المواد وأيضاً لكل القوى الفيزيائية في الكون -مثل الجاذبية-موجودة في مستوى تحت الكم. هذه الكتل البنائية تشبه أربطة مطاطية صغيرة جداً -أو أوتار-وهي التي تصنع الكواركات (جسيمات كمية)، وتباعاً الإلكترونات، والذرات، والخلايا وهكذا. ويتحدد بالضبط أي نوع من المادة ينتج بواسطة الأوتار وكذلك سلوك هذه المادة، حسب تذبذب هذه الأوتار. وتتذبذب الأوتار فتؤدي إلى نشوء القوى المختلفة الحاكمة للكون. بهذه الطريقة فإن كوننا بأكمله عبارة عن عزف موسيقى. ووفقاً لنظرية الأوتار فهذا العزف يحدث عبر 11 بُعد منفصل.

مثل نظرية العوالم المتعددة، فنظرية الأوتار تـُظهر وجود الأكوان المتوازية.

فهذه الأبعاد تلتف حول نفسها بحيث لا ندركها في عالمنا. وبما أن الكون يحتوي على هذه الأبعاد المختلفة بهندساتها العديدة والمتنوعة، وعلماً بأن قوانين الطبيعة تعتمد على هندسة الطبيعة، فمن المتوقع أن تُشكِّل هذه الأبعاد العديدة أكواناً مختلفة في قوانينها وحقائقها. هكذا تؤدي نظرية الأوتار إلى نتيجة أنه توجد أكوان عديدة ومختلفة. بالإضافة إلى ذلك، يشير كاكو إلى حقيقة أنه تم اكتشاف بلايين من الحلول لمعادلات نظرية الأوتار، وكل حلّ من هذه الحلول يصف كوناً متناسقاً رياضياً ومختلفاً عن الأكوان الأخرى التي تصفها الحلول الآخر للنظرية. هكذا، تدل نظرية الأوتار على وجود أكوان عدة.

وفقاً للنظرية، فكوننا يشبه فقاعة بجانب أكوان موازية شبيهة. وعلى نقيض نظرية العوالم المتعددة، فنظرية الأوتار تفترض أن هذه الأكوان يمكنها أن تكون على اتصال مع بعضها البعض. نظرية الأوتار تقول إن الجاذبية يمكنها التدفق بين هذه الأكوان المتوازية. وحينما تتفاعل هذه الأكوان فإنه ينشأ انفجار كبير مثل الذي خلق كوننا.

حينما يستطيع الفيزيائيون خلق آلة تستطيع رصد المواد الكمية، فالأوتار تحت الكمية ستظل بعيدة عن الملاحظة، وهذا يجعلهم -وبالتالي النظرية القائمة عليهم-نظريين كلية ً. البعض رفض هذا، والبعض الآخر يعتقد أنه صحيح.

أكوان لانهائية

لا يستطيع العلماء التأكد من شكل الزمكان لكن من المرجح أنه مسطح (وذلك مقابل أن يكون شكله كروياً أو بشكل قطعة من الدونات) ويمتد الزمكان إلى اللانهاية. لكن إذا استمر الزمكان إلى ما لا نهاية فإنه من الواجب أن يبدأ بتكرار نفسه في نقطة معينة، وذلك لأن هناك عدداً محدداً من الطرق التي يمكن للجسيمات أن تتودع فيها في الزمان والمكان.

لذلك إذا نظرت بعيداً بما يكفي فستصادف نسخة أخرى عنك في الواقع نسخاً غير منتهية عنك. بعض هذه “التوائم” ستفعل ما تفعله أنت إلان وبعضها الآخر سيكون قد ارتدى لباساً مختلفاً هذا الصباح أو قد يختلف عنك تماماً في اختياره لمهنته وقرارات حياته التي اتخذها.

بما أن الكون الذي يمكن أن نراه يمتد فقط إلى المسافة التي تمكن الضوء من الوصول إليها خلال 13.7 مليار سنة منذ الانفجار العظيم (وهذا يقدر طبعاً ب 13.7 مليار سنة ضوئية)، فإن الزمكان بعد تلك المسافة يمكن أن يعتبر كونا منفصلاً بحد ذاته. وبهذه الطريقة فإن هناك الكثير من الأكوان التي توجد بجانب بعضها البعض لتشكل رقعة عملاقة من الأكوان.

* خصائصها: تنطبق عليها نفس القوانين الفيزيائية، لكن مع اختلاف في الظروف الأولية.
* الافتراضات: فضاء غير محدود، تتوزع فيه المادة الكونية ايرجوديكياً ergodic.
* الأسانيد:

1. قياسات الموجات المايكروية تشير إلى تسطح، وفضاء لا متناهي، ونعومة واسعة النطاق.
2. النموذج الأبسط.

الأكوان الفقاعية

 إضافة إلى الأكوان المتعددة الناتجة عن امتداد الزمكان إلى ما لا نهاية، فإن عدداً من الأكوان قد تنشأ من نظرية تسمى التضخم الأبدي“eternal inflation ” التضخم هو المفهوم بأن الكون يتوسع بشكل سريع منذ الانفجار العظيم وهذا ما يجعل الكون ينتفخ مثل البالون.

اقتُرِحَت نظرية التضخم الأبدي في البداية من قبل عالم الكون في جامعة توفتس Alexander Vilenkin ، الذي اقترح أن هناك بعض الجيوب في الفضاء توقفت عن التضخم وبالمقابل فإن مناطق أخرى استمرت في التضخم و لذلك ستنشأ العديد من ” الأكوان الفقاعية ” المعزولة.

 وبالتالي فإن كوننا الذي توقف فيه التضخم مما سمح للنجوم والمجرات بالتشكل، ليس إلا فقاعة صغيرة في بحر واسع من الفضاء، بعضه ما زال يتضخم، ويحتوي الكثير من الفقاعات الآخرى مثل فقاعتنا (كوننا). وفي بعض هذه الأكوان الفقاعية الآخرى فإن فوانين الفيزياء والثوابت الأساسية يمكن أن تكون مختلفة عن المقابلة لها في كوننا، وهذا ما سيجعل هذه الأكوان الآخرى غريبة جداً بكل تأكيد.

* خصائصه: نفس المعادلات الأساسية للفيزياء، ولكن ربما بثوابت وعناصر وأبعاد مختلفة.
* الافتراضات: حدوث التضخم الفوضوي.
* الأسانيد:

1. نظرية التضخم تفسر الفضاء المستوي، والتذبذبات ثابتة المقدار، وتحل مشكلة إلافك ومشاكل القطب الواحد ويمكن أن تفسر طبيعياً مثل هذه الفقاقيع.
2. تفسر الثوابت المضبوطة.

الأكوان المتوازية

 فكرة أخرى تأتي من نظرية الأوتار الفائقة و تسمى “braneworlds” العوالم الغشائية، و تتمثل بأكوان متوازية تحوم بعيداً عن متناولنا، اقتُرِحَت هذه الفكرة من قبل Paul Steinhardt من جامعة برنستون و  Neil Turok  من معهد بريمتر للفيزياء التطبيقية في أونتاريو كندا.

الفكرة تأتي من إمكانية وجود عدد أكبر من الأبعاد التي نعرفها وهي ثلاثة للمكان وواحد للزمان. بالإضافة لأبعادنا الثلاثة في المكان هناك ثلاثة أخرى ربما تطفو في مكان – فضاء – ما مرتفع.

يشرح لنا الفيزيائي Brian Greene من جامعة كولومبيا هذه الفكرة في كتابه فيقول بأن كوننا من المحتمل أن يكون أحد أكوان عديدة يطوف كل منها في فضاء ذي أبعاد أعلى، وهو كشريحة من الخبز داخل رغيف من الخبز هو مجموع هذه الأكوان.

هناك من يقترح أن هذه الأكوان قد لا تكون متوازية دوماً بل من الممكن أن تصطدم مع بعضها البعض لتعيد حدوث الانفجار العظيم والذي سيعيد تشكيل الأكوان مرة تلو الآخرى.

الأكوان البنات

تقترح نظرية الميكانيك الكونتية طريقة أخرى لوجود الأكوان المتعددة، تشرح هذه النظرية العالم من خلال الاحتمالات بدلاً من النتائج المحددة. والنتائج الرياضية الخاصة بهذه النظرية تقترح كافة الحوادث الممكنة في حال حدوث شيء ما وكل في كونه الخاص المنفصل عن الآخر.

على سبيل المثال إذا وصلت إلى مفترق طرق حيث يمكنك أن تذهب يميناً أو يساراً، فالكون الحاضر يعطي كونين ابنتين

“Daughter universes” أحدهما حيث تذهب إلى الاتجاه الأيمن و الآخر يساراً.

الأكوان الرياضية

ناقش العلماء فيما إذا كانت الرياضيات هي ببساطة أداة مفيدة لوصف الكون أوهي بحد ذاتها حقيقة أساسية ومراقبتنا للكون هي عبارة عن تصورات ناقصة لطبيعة الكون الرياضية الحقيقة. إذا كانت هذه القضية صحيحة فربما البنية الرياضية التي تشكل كوننا ليست هي الخيار الوحيد وبالتالي فإن جميع البنى الرياضية الموجودة تقابلها أكوان خاصة بها.

* خصائصه: معادلات الفيزياء الأساسية مختلفة.
* الافتراضات: الوجود الرياضي = الوجود الفيزيائي.
* الأسانيد:

1. التأثير غير المعقول للرياضيات في الفيزياء.
2. تجاوب على سؤال وتيلر وهوكينج: " لماذا هذه المعادلات بالذات، وليس غيرها؟"

## هل عثرنا على الأكوان الآخرى؟

علماء موجات الراديو الفلكي تمكنوا من العثور على منطقة فارغة، مساحتها تتجاوز كل المناطق الفارغة التي عثرنا عليها في السابق. هذه المنطقة الفارغة تقع عنا على بعد حوالي 8 مليارات سنة ضوئية، ويصل قطرها إلى مالا يقل عن مليار سنة ضوئية.

ليست هذه هي المرة الأولى التي يلاحظ فيها العلماء منطقة فارغة. نحن نعلم بوجود حوالي 30 منطقة هائلة تمتد على مساحة بضعة ملايين السنوات الضوئية. المنطقة المكتشفة حديثا أكثر كبرا حتى بالمقارنة مع الكون المرئي. وهي من الكبر إلى درجة ان علماء الفيزياء المعنيين بالانفجار العظيم يجدون صعوبة في تفسير الأمر.

إلان تعتقد مجموعة من علماء الفيزياء الأمريكان انهم عثروا على تفسير مناسب، بالرغم من انها مثيرة للدهشة. حسب هؤلاء العلماء فأن هذه البقعة عبارة عن بصمة كون آخر تضغط على جدار عالمنا. مجموعة باحثين على رأسهم Laura Mersin-Houghton من جامعة ساوث كارولينا. لورا تقول: "علم الكونيات التقليدي لا يستطيع تفسير فجوة كونية هائلة كتلك". وقد اشارت حساباتهم إلى أن هذه المنطقة الفارغة نشأت بتأثير ارتطام عالمنا بالعالم الجار له في لحظة مبكرة من نشوئه. الكون المجاور قام بدفع الأجسام الكونية في المنطقة التي اصطدم بها في كوننا بحيث أنها أصبحت خالية أو تحوي اجسام كونية اقل. لو كان هذا صحيحاً فإنه يعطى الدليل التجريبي الأول على الأكوان المتوازية مع النماذج النظرية الموجودة مسبقاً. وهو أيضاً يدلل ًعلى نظرية الأوتار. هذه المجموعة من العلماء تدعى وجود نتائج قابلة للاختيار، حيث أنه لو كانت نظرية الأكوان المتوازية صحيحة فسيكون هناك فراغ مشابه في نصف الكرة الجنوبي من الكرة السماوية

المادة المظلمة

بعد ثورة كوبرنيكوس ونسبية أينشتاين وجد العلماء أنفسهم أمام مشهد جديد في مسيرة العلوم، إذ أن المادة "العادية" (التي تشكل كل شيء وتدخل في تركيبة البشر وجميع الكائنات الحية) ما هي إلا نسبة بسيطة من الكتلة الكلية للكون فهناك عنصر أخر يدخل في تركيبته، وهو عنصر غير معروف ولا يصدر عنه ضوء، وكانت هناك آثار يمكن تتبعها ولكن ليس هناك ما يمكن رؤيته. وقبل أكثر من 60 سنة تنبه الفلكيون إلى أن النجوم في مجرة درب التبانة تدور حول مركز المجرة بسرعة أكبر مما تتوقعه النظريات والحسابات الفلكية، وبما أن سرعة النجوم تعتمد على الجاذبية الناتجة عن كتلة المجرة ككل، فقد توصل الفيزيائيون إلى نتيجة تقول بوجود كمية مادة أكبر من المادة المرئية لنا. تمت مراقبة نفس الأمر على مستويات أكبر؛ فالمجرات تدور حول مركز مجموعتها بسرعة أكبر من المتوقع. “قوانين الفيزياء تحدد وبدقة متناهية كما من المادة يجب أن يوجد حتى يتم التوازن بين تحركات الأجرام والمجرات، اكتشاف أن الكتلة الكلية للكون المرئي هي أدنى من الرقم الذي تم حسابه أمر محير، ". فالمادة الغامضة لا تصدر ما يمكن من رصده حتى بواسطة أدوات رصد الأشعة الكهرومغناطيسية مثل أشعة جاما أو أشعة إكس أو الأشعة تحت الحمراء، فلا يمكن معرفة تكوينها لأنه لا توجد أية طريقة تمكن من ذلك مع اختفائها الكامل عن كل أجهزة الرصد

## دور المادة المظلمة

لعبت المادة المظلمة دوراً أساسياً في تخليق النجوم في البدايات الأولى من الكون، إذا كانت المادة المظلمة على هذه الحالة، على أية حال، يجب أن يشتمل المادة المظلمة على الجزيئات المعروفة بـ “النيوترونات العقيمة". قام بيتر بريمان من معهد ماكس بلانك لعلوم الفلك الإشعاعي في بون، وألكسندر كوسينكو، من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجليس، بإظهار أنه عندما تضمحل النيوترونات العقيمة، فإنها تسرّع عملية خلق جزيئات الهيدروجين، هذه العملية ساعدت على إضاءة النجوم الأولى فقط منذ حوالي 20 إلى 100 مليون سنة بعد الانفجار الكبير، كل هذه المعطيات تعطينا تفسيراً بسيطاً لبعض الملاحظات المحيرة الآخرى التي تتعلق بالمادة المظلمة، النيوترونات العقيمة، والمادة المضادة.

اكتشف العلماء بأن تلك النيوترونات لها كتلة خلال تجارب قياس ذبذبة النيوترونات. هذا قاد إلى افتراضات بإن النيوترونات العقيمة الموجودة -هي كذلك معروفة أيضا بالنيوترونات اليمينية، وبأنها لا تشارك في التفاعلات الضعيفة مباشرة، ولكنها تتفاعل من خلال خلطها مع النيوترونات العادية. إن العدد الكلي للنيوترونات العقيمة غير واضح، إذا كانت كتلة المادة المظلمة نعادل بضعة كيلو إلكترونوفولتز (1 KeV تعادل مليون كتلة ذرة الهيدروجين)، فإنها توضح ضخامة الكتلة المفقودة في الكون، أحيانا، تسمى المادة المظلمة، ودعمت ملاحظات الفلكيين الفيزيائيين وجهة نظر باحتمال بأن المادة المظلمة تشتمل على النيوترونات العقيمة.

## المادة المظلمة البارونية والمادة المظلمة الغير بارونية

من الممكن لنسبة صغيرة من المادة المظلمة أن تكون مادة مظلمة بارونية: الأجسام الفلكية مثل هالة الأجسام الثقيلة المدمجة المؤلفة من مادة عادية تبعث القليل أو لا تبعث على الأطلاق أي اشعاع كهرومغناطيسي، ويشير التوافق مع المشاهدات الآخرى إلى عدم إمكانية الغالبية العظمى من المادة المظلمة الموجودة في الكون لأن تكون مادة مظلمة بارونية أي أنها غير مشكلة من الذرات ولا يمكنها التأثر مع المادة العادية عبر القوى الكهرو مغناطيسية ولا تحمل جسيماتها أي شحنة كهربائية، وتتضمن المادة المظلمة الغير بارونية النيوترينوهات مع إمكانية وجود جسيمات افتراضية مثل إلاكسيومز أو الجسيمات فائقة التناظر، وعلى عكس المادة المظلمة البارونية، لا تساهم المادة المظلمة غير البارونية في تشكيل العناصر في بداية الكون "الاصطناع النووي للانفجار العظيم" وبالتالي يتم الكشف عن وجودها فقط من خلال تجاذبها الثقالي، بالإضافة إلى ذلك، لو كانت الجسيمات المؤلفة للمادة المظلمة غير البارونية فائقة التناظر فإنها من الممكن أن تخضع لتفاعلات الإفناء مع نفسها مما يؤدي إلى ملاحظتها من النواتج الفرعية مثل الفوتونات النيوترينوهات "كشف غير مباشر".

تصنف المادة المظلمة غير البارونية من حيث كتلة الجسيمات المفترضة لتشكيلها و/أو السرعة النموذجية لانتشار تلك الجسيمات (حيث أن الجسيمات الأثقل تكون أبطأ). هناك ثلاثة افتراضات بارزة للمادة المظلمة الغير بارونية وهي المادة المظلمة الساخنة والدافئة والباردة مع إمكانية المزج بينهم. النموذج الأكثر مناقشة للمادة المظلمة الغير بارونية مبني على فرض المادة المظلمة الباردة ويفترض الجسيم المرتبط به ليكون في الغالب جسيم ثقيل ضعيف التآثر. من الممكن للمادة المظلمة الساخنة أن تتألف من النيوترينوهات الثقيلة. تؤدي المادة المظلمة الباردة إلى تشكيل "قاعدي-علوي" لبنية الكون والمادة المظلمة الساخنة إلى تشكيل "قمي-سفلي" لنفس البنية.

Dunkley Materiel: التعارض بين سرعة دوران النجوم في مجرتنا المشاهدة (احمر) بالمقارنة بالحسابات المبنية على كمية المادة المنظورة فيها (أزرق) ، مما يدعو طبقا لقوانين الجاذبية إلى الاعتقاد بوجود كتلة جسيمات أو أجسام غير منظورة تساعد في عملية الجذب، وسميت المادة المظلمة.

تسلط نظرية بيرمان وكوسينكو الضوء على عدد من الألغاز الفلكية الغير مفسرة، أولا، وأثناء الانفجار الكبير، كانت كتلة النيوترونات المخلوقة في الانفجار الكبير تساوي ما نحتاجه لتفسير المادة المظلمة، ثانياً، هذه الجسيمات يمكن أن تكون الحل لمشكلة كبيرة حول لماذا تتحرك البولسرات بسرعة كبيرة.

البولسرات هي نجوم نيوترونيه تدور بسرعة عالية جداً، ونشأت نتيجة لانفجار مستعر فائق \_سوبرنوفا\_وتكون عادة مقذوفة في اتجاه واحد. الانفجار أعطاها " دفعاً قويا"، مثل محرك صاروخ. مما يجعل البولسرات تسير بسرعات كبيرة تصل إلى مئات الكيلومترات في الثانية -وأحياناً إلى الألاف. مصدر هذه السرعات تبقى مجهولة، لكن إشعاع النيوترونات العقيمة توضح تحركات البولسرات.

يحتوي سديم القيثارة على بولسرات سريعة جداً، إذا كانت المادة المظلمة صنعت جزيئات مؤينة في الكون -كما يقترح بيرمان وكوسينكو-بأن حركة البولسرات هي التي أنشأت سديم القيثارة.

كما ان النيوترونات العقيمة يمكن أن تساعد على توضيح انعدام المادة المضادة في الكون. في بدايات الكون الأولى، كانت النيوترونات العقيمة "تسرق" ما يعرف بــ" ترقيات ليبتون" من البلازما. وفي وقت لاحق، أدت قلة ترقيمات ليبتون إلى تحويلها إلى عدد غير صفري من الترقيمات البريونية. اللاتناظر الناتج بين البريونات (مثل البروتون) والبريونات المضادة (مثل البروتون المضاد) يمكن أن يكون السبب حول عدم وجود مادة مضادة في الكون.

فتشكيلة الثقوب السوداء المركزية في المجرة، بإلاضافة إلى التركيب القياسي للمجرات الفرعية، تعطي تفسيراً مفضلا حول النيوترونات العقيمة في المادة المظلمة. والإجماع على آراء متعددة معقدة يقود إلى اتجاه واحد باعتقاد أن المادة المظلمة، في الحقيقة، هي نيوترونات عقيمة

## مؤشر لاكتشافها

من الصعب اكتشاف جسيمات المادة المظلمة مباشرة حيث أن تآثرها وتفاعلها مع المادة العادية ضعيف جدا جداً كما لو كان ليس لها وجود -مليارات من تلك الجسيمات تمر خلال جسمك وأنت تقرأ هذا ولا تشعر بها -ولكن يمكن قياس نواتجها. فعند اصطدام جسيمان من المادة المظلمة ينتج عنه جسيمان معروفان الإلكترون و نقيض الإلكترون المسمى بوزيترون. وقد زود علماء محطة الفضاء الدولية بمطياف خاص يقيس البوزيترونات. وقد مضى على وجوده في الفضاء نحو عامين من حتى إلان (2013) . سجل مطياف البوزيترونات خلال السنتين نحو 400.000 بوزيتروناً يعتقد أنها ناشئة عن اصطدامات جسيمات المادة المظلمة . ويأمل العلماء التأكد من ذلك بحيث لا تكون تلك البوزيترونات ناشئة عن مصدر آخر لا يعرفونه إلى الآن. هذا الرقم يتمشى مع تقديرات العلماء عن احتمال تصادم جسيمات المادة المظلمة بعضها البعض. ولكن لا بد من التأكد أن البوزيترونات ليست من مصدر آخر. لهذا سيتواصل عمل المطياف في الفضاء لزيادة المعلومات والتأكد من مصدر البوزيترونات

الخاتمة

وجدنا بعد البحث ودراسة النظريات الفيزيائية والمعادلات الرياضية المتعلقة بها أننا يمكننا أن نتخطى موقعنا الحالي من الكون ونوسع آفاقنا ووعينا بماهية الوجود

وارتأينا أيضاً وصفاً غير كامل عن شكل هذا الكون والجدير بالذكر ولحل نهائي لإشكالية مشروع البحث:

نستطيع القول أننا وصفنا جزءاً لا بأس به من الكون لكننا لم نؤمن الوصف الدقيق والنهائي لهذا الكون العظيم

نتمنى أن نكون قد قدمنا نتائج مهمة

|  |  |
| --- | --- |
| الموضوع | رقم الصفحة |
| المقدمة | 2 |
| اشكالية البحث | 2 |
| مخطط البحث | 3 |
| تصنيف النظريات الفيزيائية | 5 |
| الباب الأول: معادلات ماكسويل للكهرطيسية | 6 |
| الباب الثاني النظرية النسبية الخاصة | 15 |
| المبادئ التي اعتمدت عليها | 16 |
| تحويلات لورنتز | 20 |
| أهم نتائجها | 23 |
| ديناميك النسبية الخاصة | 26 |
| السفر عبر الزمن | 29 |
| الباب الثالث: النظرية النسبية العامة | 31 |
| نظرة تاريخية | 33 |
| المبادئ التي اعتمدت عليها | 36 |
| المعادلات التفاضلية اللاخطية | 38 |
| الثابت الكوني | 40 |
| الإزاحة الحمراء | 41 |
| انحراف الضوء | 41 |
| ديناميكا الكون | 53 |
| الباب الرابع: الثقوب السوداء | 57 |
| ماهية الثقوب السوداء | 63 |
| أنواع الثقوب السوداء | 64 |
| اشعاع هوكينغ | 65 |
| انتروبية ثقب أسود | 66 |
| معادلة هوكينغ الإصدارية | 68 |
| الباب الخامس: نظرية الأوتار الفائقة | 76 |
| نظرة تاريخية | 77 |
| مفهوم الثنائية في نظرية الأوتار الفائقة | 78 |
| مبادئ العمل في نظرية الأوتار الفائقة | 87 |
| الباب السادس: الأكوان المتعددة | 91 |
| لمحة عامة عن مفهوم الأكوان المتعددة | 97 |
| أنواع الأكوان المتعددة | 100 |
| خصائص كل منها | 103 |
| الخاتمة | 107 |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| اسم المرجع | اسم المؤلف |
| النظرية النسبية الخاصة | ناظم أحمد حسون\_عياد مفتاح شاحوت\_بثينة عبد المنعم إبراهيم |
| الكون والنظرية النسبية | إبراهيم محمود أحمد ناصر\_ابراهيم عبد الرحمن |
| النظرية النسبية العامة | جلال الحاج عبد |
| النظرية النسبية الخاصة لأينشتاين | حازم فلاح سكيك |
| نظرية الأوتار الفائقة | جلال الحاج عبد |
| ما الثقوب السوداء | باسكال بوردي |

|  |
| --- |
| المراجع الأجنبية |
| J.M BARDEEN , B.CARTER , S.W.HAWKING, COMM,MATH,PHYS.31,161(1973) |
| B.CARTER ,IN DEWETT AND B.S.DEWETT,EDS.,BLACK HOLES (GORDONAND BREACH,NEWYORK,1973)P.57 |
| D.N.PAGE,phys.rev.d13,198(1976) |
| S.W.HAWKING,PHYS.REV.LETT.26,1344(1971) |
| W,H,ZUREK,and k.s.thorne phys.rev.lett.54,2171(1985) |

|  |  |
| --- | --- |
| رقم الصورة(الرسم التوضيحي) | الدلالة |
| رسم توضيحي1 | تجربة مايكلسون مورلي |
| رسم توضيحي2 | محاور الاسناد |
| رسم توضيحي3 | تحويلات لورنتز |
| رسم توضيحي4 | قوانين كبلر |
| رسم توضيحي5 | قوانين كبلر |
| رسم توضيحي6 | قوى التجاذب |
| رسم توضيحي7 | فضاء كروسكال |
| رسم توضيحي8 | تمدد الكون |
| رسم توضيحي9 | ثقب أسود |
| رسم توضيحي10 | تخيل ثقب أسود في الفضاء |
| رسم توضيحي11 | تأثير الكتلة |
| رسم توضيحي12 | مقطع في نجم نيوتروني |

1. مشروع "دراسة معادلات ماكسويل الكهرطيسية نظرياً وتطبيقاتها" [↑](#footnote-ref-1)
2. "تاريخ أكثر ايجازاً للزمن [↑](#footnote-ref-2)
3. "تاريخ موجز للزمن" [↑](#footnote-ref-3)
4. تاريخ أكثر ايجازاً للزمن [↑](#footnote-ref-4)
5. النظرية النسبية الخاصة [↑](#footnote-ref-5)
6. "النظرية النسبية العامة " [↑](#footnote-ref-6)
7. النظرية النسبية العامة والخاصة [↑](#footnote-ref-7)
8. الكون والنظرية النسبية [↑](#footnote-ref-8)
9. \_ [↑](#footnote-ref-9)
10. النظرية النسبية العامة [↑](#footnote-ref-10)
11. الكون والنظرية النسبية [↑](#footnote-ref-11)
12. حلقة بحث النظرية النسبية العامة [↑](#footnote-ref-12)
13. النظرية النسبية العامة [↑](#footnote-ref-13)
14. الكون والنظرية النسبية [↑](#footnote-ref-14)
15. النظرية النسبية العامة [↑](#footnote-ref-15)
16. النظرية النسبية العامة [↑](#footnote-ref-16)
17. ما الثقوب السوداء [↑](#footnote-ref-17)
18. [↑](#footnote-ref-18)
19. هو أقصر طريق يصل بين نقطتين و يوجد احتمال إلا يكون الطريق المستقيم لأنه لو كان طريق مستقيم لما أطلقنا عليه اسم آخر .. و أيضاً بسبب افتراض ان الكائنات ثنائية إلابعاد تستطيع رؤية تلك الجيوديزيات. [↑](#footnote-ref-19)
20. مجلة العلوم والمعرفة JULY-AUGUST \2007 [↑](#footnote-ref-20)
21. J.M BARDEEN , B.CARTER , S.W.HAWKING, COMM,MATH,PHYS.31,161(1973) [↑](#footnote-ref-21)
22. B.CARTER ,IN DEWETT AND B.S.DEWETT,EDS.,BLACK HOLES (GORDONAND BREACH,NEWYORK,1973)P.57 [↑](#footnote-ref-22)
23. S.W.HAWKING,PHYS.REV.LETT.26,1344(1971) [↑](#footnote-ref-23)
24. D.N.PAGE,phys.rev.d13,198(1976)

    f.p.pijpers,mon not .roy astron .soc 297,L76(1998) [↑](#footnote-ref-24)
25. W,H,ZUREK,and k.s.thorne phys.rev.lett.54,2171(1985) [↑](#footnote-ref-25)
26. نظرية إلاوتار الفائقة للدكتور فيصل غازي محمد كلية العلوم\_جامعة بغداد [↑](#footnote-ref-26)
27. الأوتار الفائقة "جلال ال [↑](#footnote-ref-27)
28. موقع أراجيك [↑](#footnote-ref-28)