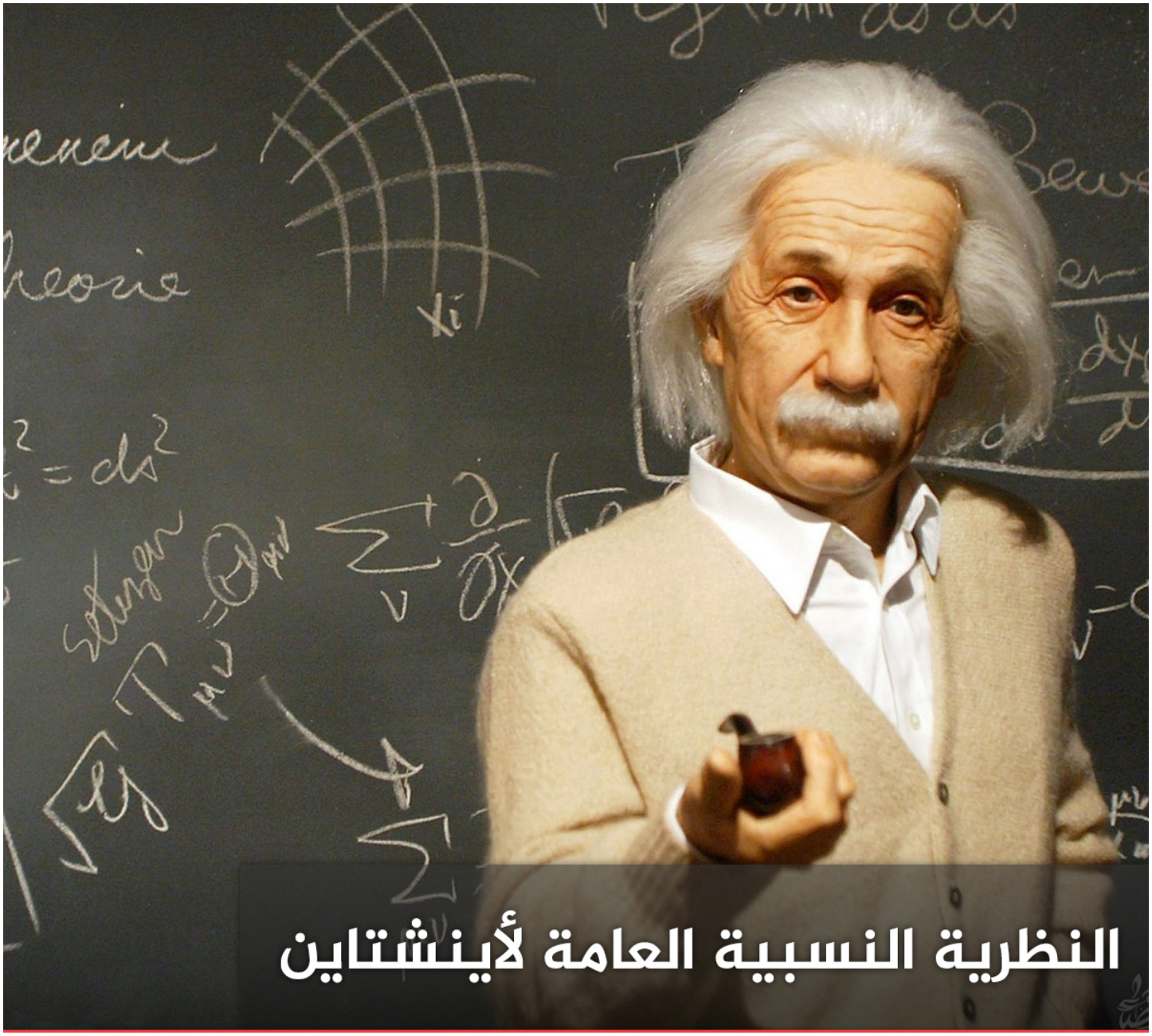
النظرية النسبية العامة لأينشتاين



www.nasainarabic.net
@NasaInArabic NasaInArabic NasaInArabic NasaInArabic NasaInArabic

النظرية النسبية العامة هي نظرية موسعة عن النظرية النسبية الخاصة لأينشتاين بحيث تشمل الثقالة (الجاذبية) كخاصية مميزة للفضاء.

مبدأ التكافؤ

تفترض النظرية النسبية الخاصة مقدمة أساسية تنص على أن الضوء يسافر بسرعة منتظمة تقدر بـ 300 ألف كم/ث، وذلك في جميع الأطر المرجعية. يؤدي هذا الافتراض إلى اعتبار سرعة الضوء هي الحد الأقصى للسرعة في الكون، كما أنه يؤدي أيضاً إلى إنتاج العلاقة المشهورة بين الكتلة والطاقة \(E = mc^2\).

أما بالنسبة للنظرية النسبية العامة فيشكل مبدأ التكافؤ القاعدة الأساسية الجوهرية لها، حيث ينص على وجود تكافؤ بين الكتلة الثقالية **Gravitational mass** وكتلة العطالة **Inertial mass**.

كتلة العطالة: هي الخاصية التي تحدد مدى صعوبة تغيير وتبديل حركة جسم ما، وهي الكتلة المقصودة في القانون الثاني لنيوتن:

$$F=ma$$

أما كتلة الثقالة فهي الكتلة التي تحدد مدى القوة التي يرتبط بها جسمان معاً بفعل الثقالة، على سبيل المثال، الجاذبية الأرضية:

$$F_{grav}=\frac {GM_\oplus m} {R^2_\oplus}$$

يؤدي هذا التكافؤ الواضح بين هذين النوعين من الكتلة إلى ثبات التسارع الثقالي، أي تلك القيمة التي توصل إليها غاليلو والتي تقول بأن جميع الأجسام تسقط بنفس المعدل بغض النظر عن كتلتها.

$$g=\frac {GM_\oplus } {R^2_\oplus}=9.8m/s^2$$

قبل كل من نيوتن وغاليلو هذا الأمر على أنه مصادفة سعيدة ليس أكثر، أما أينشتاين فقد جعل منه مبدأً أساسياً وجوهرياً. تنص طريقة أخرى لشرح مبدأ التكافؤ على أن التسارع الثقالي يتعذر تمييزه عن بقية أشكال التسارع. وبحسب هذا الرأي فإن طالباً موجوداً في غرفة مغلقة لن يتمكن من تمييز الاختلاف بين تجربة قوة الجذب الثقالي للأرض على سطحها وبين الوجود على متن مركبة فضائية في الفضاء تسير بتسارع يبلغ: $9.8m/s^2$

قوة الجذب الثقالي للأرض على سطحها ـ مركبة فضائية في الفضاء تسير بتسارع يبلغ: 9.8 m/s^2

وبنفس المعنى أيضاً لن يتمكن طلاب موجودون في غرف مشابهة من التمييز بين السقوط الحر بفعل الثقالة (الجاذبية) وبين الانعدام الكلي للوزن في الفضاء.

السقوط الحر بفعل الثقالة ـ السباحة في الفضاء

انحناء الزمكان

ينص المبدأ الأساسي الثاني في النظرية النسبية العامة على أن وجود المادة أو الكتلة يؤدي إلى انحناء الفضاء. وبحسب هذا المبدأ فإن الثقالة لا تعتبر قوة كما وصفها نيوتن، وإنما تعتبر انحناء في نسيج الفضاء. وما تفعله الأجسام هو الاستجابة للثقالة عبر اتباع هذا الانحناء في الفضاء بالقرب من الأجسام الكبيرة. وبالطبع يعتبر شرح ووصف هذا الانحناء في الفضاء بالمفاهيم الرياضية جزءاً صعباً للغاية من النظرية النسبية العامة، بما في ذلك "المقاييس **metrics**" التي تصف كيفية انحناء الفضاء بواسطة المادة وموتر حساب التفاضل والتكامل.

الانحناء في الفضاء نتيجة لوجود جسم فائق الكتلة

يمثل الشكل المبين أعلاه شريحة ثنائية الأبعاد في فضاء ثلاثي الأبعاد تظهر انحناء الفضاء الذي تسبب به جسم كروي الشكل ربما يكون الشمس. وبحسب رأي أينشتاين فإن الكواكب تتبع هذا الانحناء الموجود في الفضاء حول الشمس (كما أنها تنتج مقداراً صغيراً من الانحناءات الخاصة بها).

افتراضات النظرية النسبية العامة

افترض أينشتاين وجود عدة تأثيرات تجريبية تجعل النظرية النسبية العامة مختلفة عن قوة الجاذبية التي وضعها نيوتن.

1. انحراف الضوء بفعل الثقالة (الجاذبية) **Deflection of Light by Gravity**:

تنص إحدى النتائج المباشرة لمبدأ التكافؤ على أن الضوء يجب أن ينحرف أو ينحني بفعل الثقالة، وقد قام أينشتاين مرتين بحساب مقدار الضوء الذي يجب أن ينحرف نتيجة مروره بالقرب من الشمس التي تعتبر (الكتلة الأكبر).

استخدم أينشتاين في عملية الحساب الأولى كلاً من مبدأ التكافؤ وتكافؤ الطاقة_الكتلة للفوتونات المرئية أو الضوئية، بينما في عملية الحساب الثانية التي نشرت في عام 1916، استخدم أينشتاين مقاييس الزمكان التي تصف الانحناء الذي تسببت به الثقالة في كل من الزمان والمكان، فكانت النتيجة التي توصل إليها تبلغ ضعف عملية الحساب الأولى.

ويتوقع الحساب الثاني أن الضوء القادم من نجم بعيد والذي يمر بطرف الشمس سوف ينحرف بنسبة 1.75 ثانية قوسية (أقل من 1/2000 من الدرجة).

جاءت أول فرصة لاختبار حساب أينشتاين عند حدوث الكسوف الشمسي سنة 1919، حيث ترأس عالم الفلك البريطاني السير آرثر إدينجتون **Sir Arthur Eddington** بعثتين إلى كل من البرازيل وغربي إفريقيا لرصد انزياح نجوم عنقود القلاص **Hyades cluster stars** عن مكانها وراء الشمس المحجوبة.

وعلى الرغم من أن قياسات إدينجتون ليس دقيقة تماماً إلا أنها أظهرت بوضوح وجود انحراف ورجحت بأن يكون ذا قيمة أكبر وأعلى. جعلت هذه النتيجة من أينشتاين شخصاً مشهوراً على نطاق العالم بأسره، كما أصبح بمقدورنا الآن إجراء هذه الاختبار

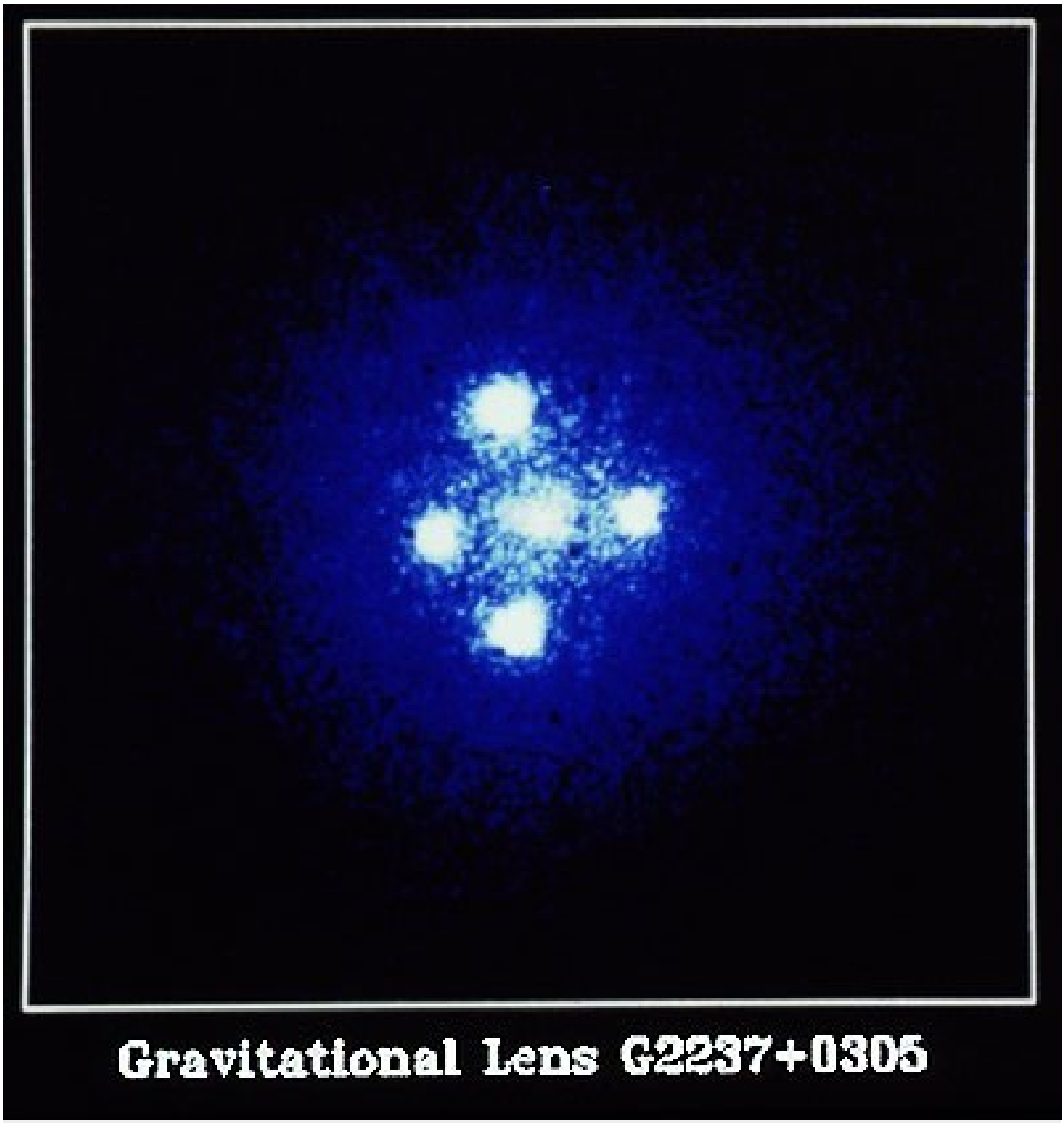
بدقة أعلى بكثير من السابق.

الكوازارات البعيدة عنا

وفي كل سنة يتم حجب الجسم المسمى **3C279** وهو مصدر للأشعة الراديوية بواسطة الشمس، ولا يحتاج علماء الفلك الذين يدرسون الأشعة الراديوية إلى انتظار حصول كسوف ما، وذلك لأنها (أي الشمس) تعتبر باعثاً معتدلاً للأشعة الراديوية. وقد أكد تداخل الإشعاع الرديوي المنبعث من 3C279 عند عبوره وراء الشمس صحة حساب أينشتاين بأكثر من 1% .

قدمت لنا فكرة انحناء الضوء بفعل الثقالة (الجاذبية) تنبؤاً مثيراً تم التحقق منه مؤخراً وهو وجود عدسات الجاذبية، والتي تعتبر بمثابة عدسات ضوئية تعمل على تركيز انحناء الضوء نتيجة لتغير سرعته بسبب عبوره في وسيط مسبب للانحناء. وباعتبار أن الثقالة قادرة على جعل الضوء ينحني، فإن الأجسام السماوية فائقة الكتلة تؤدي دور العدسات حيث تعمل على تركيز وتضخيم الأجسام البعيدة في الفضاء.

وبالطبع تتمتع عدسات الجاذبية (الثقالة) بعدة خصائص تميزها عن العدسات "العادية" من بينها القدرة على إنتاج صور متعددة من مثل صليب أينشتاين الذي اكتشفه ج. هاشرا **J. Huchra** وباحثون آخرون (**انظر إلى اليسار**)، وهو عبارة عن كوازار بعيد تم تصويره بمساعدة مجرة موجودة بيننا وبينه.



صليب أينشتاين

أما مصطلح حلقة أينشتاين **Einstein Ring** فيتحقق عندما تكون هنالك محاذاة بيننا وبين المجرة التي تؤدي دور العدسة وبين الجسم البعيد الموجود في الفضاء. ويمكن لعناقيد المجرات البعيدة أن تعمل كعدسات للجاذبية أيضاً، وبالتالي تعتبر هذه الظاهرة الفريدة من نوعها مهمة للغاية حيث بدأ علماء الفلك بالاستفادة من وجودها في دراسة المجرات والكوازارات البعيدة عنا.

2. الانزياح الثقالي نحو الأحمر **Gravitational Redshift**:

يفقد الضوء الطاقة أثناء هروبه من حقل الجاذبية، وباعتبار أن طاقة الضوء تتناسب مع تردده فإن أي تحول أو تغير في الطاقة يؤدي إلى انخفاضها سيمثل تغيراً وانزياحاً إلى ترددات أدنى وأطوال موجية أطول، أي بمعنى آخر الانزياح نحو الأحمر بالنسبة للضوء المرئي.

تم رصد الانزياح الثقالي نحو الأحمر لأول مرة بفعل خاصية الامتصاص التي تتمتع بها النجوم القزمة البيضاء، والتي يتم إزاحة ضوئها بمقدار **1A**، كما تم التحقق منها تجريبياً على سطح الأرض باستخدام أشعة غاما التي تنتقل من الأسفل إلى الأعلى داخل مختبرات برج جيفرسون للفيزياء في جامعة هارفرد.

3. التمدد الثقالي للزمن **Gravitational Time Dilation**:

تبطئ حقول الجاذبية القوية من حركة الزمن، بينما يصف مفهوم نيوتن الزمن بأنه قيمة مطلقة تتدفق بشكل موحد في جميع أرجاء الكون، أما أينشتاين فأظهر أن قياس الزمن هو أمر نسبي يتوقف على الإطار المرجعي للشخص الذي يجري عملية الحساب أو القياس.

أثبتت النظرية النسبية الخاصة أن أجهزة ضبط الوقت في الحركة (مع مراعاة وضع كل منهم) ستقيس أوقاتاً وأزمنة مختلفة للحدث وفقاً للإطارات المرجعية الخاصة بكل واحد منهم. ويمكن شرح هذا الأمر بالقول إن الشخص "**في حالة السكون**" والذي يقيس زمن حدث ما في إطار مرجعي يتحرك بسرعة فائقة سيستغرق وقتاً أطول (**أو سيمر عليه زمن أطول**) مما سيتغرقه شخص آخر يتحرك جنباً إلى جنب مع هذا الحدث. ولعل أشهر مثال على ظاهرة تمدد الوقت هي مفارقة التوأم **Twin Paradox**:

ولد التوأم بيل وجيل بفاصل زمني لا يتجاوز بضع دقائق، وقد اتخذ كل واحد منهما مساراً مختلفاً في الحياة فأصبحت جيل رائدة فضاء بينما أصبح بيل عالماً فلكياً يمارس مهنته من على سطح الأرض.

وفي عيد ميلادهما الحادي والعشرين تم تحديد بعثة فضائية إلى نجم الدبران والذي يبعد عنا حوالي 32 سنة ضوئية. وعلى اعتبار أن جيل تسافر بسرعة تقدر بـ 99,5% من سرعة الضوء، فستستغرق رحلتها إلى النجم 3,2 سنة، كما ستتسغرق رحلة العودة إلى الأرض نفس المدة الزمنية (**وبسبب سفرها بسرعة قريبة من سرعة الضوء، سترى جيل أن المسافة إلى النجم تقلصت لتبلغ تقريباً 3,2 سنة ضوئية**).

أما الحال فهو مختلف بالنسبة إلى بيل حيث يجد أن الزمن الذي استغرقته كل مرحلة من رحلة جيل هو 32 سنة وشهران. وبناء على ما سبق، فإن جيل سيبلغ عمرها عند عودتها إلى الأرض 27 سنة، أما أخوها فسيبلغ عمره عندئذ 85 سنة.

بالفعل إنه لأمر غريب حقاً كيف تبدو لنا هذه التأثيرات بطيئة الحركة، وتم مراراً وتكراراً تأكيد وجود هذا التمدد النسبي في الزمن من خلال مسرع الجسيمات عالية الطاقة، والتي تنتقل عبره الجسيمات بسرعة قريبة من سرعة الضوء كما وتستخدم فيه تلك الساعات الذرية التي تكون عادة في الطائرات التي تخترق جدار الصوت بسرعتها.

تحدث نفس العملية في وجود حقول الجاذبية القوية: سيقيس الشخص الذي يضبط الوقت في حقل جاذبية قوي زمناً أبطأ من الشخص الذي يقيسه في غياب الجاذبية (وليس السبب بالطبع هو الساعات). والشيء بالشيء يذكر فإن جميع العمليات الفيزيائية بما فيها تكات الساعة وضربات القلب والشيخوخة يجب أن تتباطأ، ولكن الشخص الوحيد الذي يرى ذلك هو ذلك الذي يقيس

الزمن من مسافة بعيدة جداً. أما بالنسبة للشخص الذي يقيس الزمن ضمن إطاره المرجعي، فإن كل شيء سيبدو في حالة طبيعية.

يؤدي التمدد الثقالي للزمن إلى تباطؤ الموجات الضوئية التي تنتقل عابرة الشمس بمقدار صغير يمكن قياسه. وفي هذا الصدد، قامت المركبة الفضائية فايكينج المرسلة لاستكشاف المريخ بإجراء تجربة أولية لتأكيد التمدد الثقالي للزمن، وذلك عبر نقل الإشارات الراديوية إلى الأرض من سطح المريخ الموجود على الجانب الآخر من النظام الشمسي.

وعلى الرغم من الدور السلبي التي لعبته الرياح الشمسية حيث جعلت تنفيذ التجربة أمراً صعباً ومعقداً، إلا أن علماء وكالة ناسا أظهروا بوضوح أن الإشارات الراديوية استغرقت في رحلتها ذهاباً وقتاً أطول بنفس النسبة المتوقعة نتيجة تباطؤ الزمن.

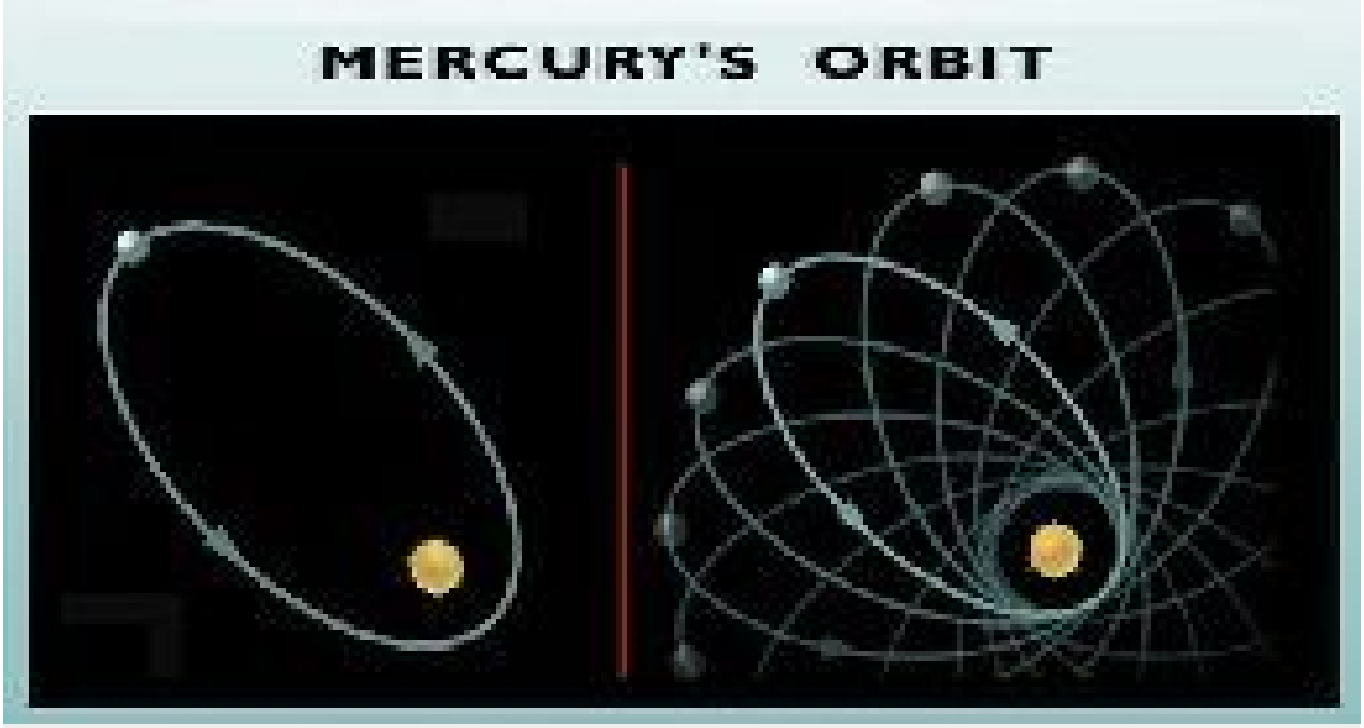
4. مبادرة سبق مدار عطارد **Precession of Mercury's Orbit**:

ينص قانون كبلر الأول على أن الكواكب تنتقل حول الشمس في مدارات إهليلجية وهذا ما أكده نيوتن باعتباره إحدى نتائج قانون الجاذبية. ولكن حتى وفقاً للقوانين الفيزيائية التي وضعها نيوتن فإن هذا القانون لا يطبق بشكل دقيق جداً لأن قوة الجذب الثقالية للكواكب الآخرى تسبب اضطراباً في المدار بشكل صغير لكن يمكن قياسه، ويعود الفضل لهذه الاضطرابات في اكتشاف كل من كوكب نبتون وبلوتو.

كان من المعروف قبل نظرية أينشتاين أن هذه التأثيرات جعلت مدار **Nercury** يدور ببطء، لذلك تتحرك وتدور نقطة الحضيض في هذا المدار (**أقرب نقطة في المدار إلى الشمس**) من مدار إلى آخر كما هو مبين في الشكل إلى اليمين المأخوذ من موقع **NCSA** الخاص بالنظرية النسبية.

تتصف هذه الحركة بأنها صغيرة جداً حيث يستغرق الحضيض في كوكب عطارد حول ربع مليون سنة لإكمال دورة كاملة حول الشمس. على كل حال لا يمكن إرجاع جميع أسباب حدوث مبادرة كوكب عطارد إلى تأثيرات الكواكب المعروفة.

لأن التفسير المنطقي لهذه الظاهرة وفقاً لقانون الجاذبية التي وضعه نيوتن هو وجود كوكب آخر يكون أقرب للشمس من عطارد، ولكن هذا الكوكب الذي أطلق عليه اسم فالكان **Vulcan** لم يتم العثور عليه مطلقاً رغم جميع عمليات البحث المضنية التي أجريت، وبالتالي بقيت نسبة السبق الإضافية هذه والتي تبلغ **1/100** من الدرجة في كل قرن لغزاً غامضاً مجهول السبب.



مدار عطارد

طبق أينشتاين نظريته النسبية العامة على حركة كوكب عطارد فاكتشف وجود قوة جذب أعلى تجعل من الكوكب عند اقترابه من الشمس وفقاً للنظرية النسبية العامة يتحرك بشكل أبعد قليلاً في كل مرة يدور حولها. وجاءت نتيجة عملية الحساب التي أجراها مطابقة تماماً لنسبة السبق الإضافية التي تم رصدها في المدار.

ونظراً لأن مبادرة السبق في مدار عطارد هي نتيجة مباشرة للنظرية النسبية العامة، نظر إليها أينشتاين باعتبارها الاختبار الأكثر همية لنظريته بالإضافة طبعاً إلى مبدأ التكافؤ.

5. **الإشعاع الثقالي:**

بنفس الطريقة التي تخلق فيها الجسيمات المشحونة والمتسارعة نوعاً من الاضطرابات في الحقول الكهرومغناطيسية- أي الإشعاع الكهرومغناطيسي- فإن الكتل المتسارعة تخلق أيضاً نوعاً من الاضطراب في حقول الثقالة (الجاذبية) أو ما يسمى بـالإشعاع الثقالي.

وعلى اعتبار أن الثقالة في النظرية النسبية العامة هي انحناء في الزمكان، فإن الموجات الثقالية هي تموجات في نسيج الزمان والمكان نفسهما. تستطيع موجة الثقالة بشكل متناوب أن تتسبب في تمدد وتقلص الفضاء عند مرورها عبره، ولكن هذه العمليات تحدث على نطاق صغير جداً (أي صغير كمعامل من 10–21 حتى عندما يكون مصدر الثقالة قوياً جداً).

تعتبر كل من انهيارات النوى النجمية وانفجارات السوبرنوفا (المستعر الأعظم) إحدى المصادر المتوقعة لموجات الثقالة القوية الموجودة في المجرة، حيث لعب كل منهما دوراً مساعداً في تكوين النجوم النيوترونية أو الثقوب السوداء، كما تعتبر أنظمة النجوم الثنائية والانفجارات في النجوم النيوترونية والثقوب السوداء بالإضافة إلى المواد التي تسقط في هذه الثقوب التي توجد

مركز المجرة، مصادر آخرى متوقعة لموجات الثقالة القوية.

ولم يتم رصد الموجات الثقالية بشكل مباشر إلى حد هذه اللحظة، ولكن يعتقد أنه تم رصدها بشكل غير مباشر في النظام الثنائي للنجم النابض **1913+16** من قبل علماء القلك المختصين بالأشعة الراديوية.

تفترض النظرية النسبية العامة أن الموجات الثقالية تنتج عند حركة النجم النابض المتسارعة حول النجم المرافق له والذي يدور حوله كل 8 ساعات في هذا النظام. وعلى الرغم من أن هذه الموجات الثقالية بعيدة جداً وضعيفة جداً كي يتم رصدها بطريقة مباشرة، إلا أن النجم النابض يفقد الطاقة من خلال هذه الإشعاعات.

ومن المتوقع أن يتخذ النجم النابض أو النجم النيوتروني ومرافقه معاً وببطء مساراً حلزونياً. تمنح النبضات الراديوية السريعة توقيتاً دقيقاً لمدار النجم النابض بواسطة تحولات دوبلر في مدة النبضة عند تحرك النجم النابض نحونا أو بعيداً عنا.

ومنذ اكتشاف النجم النابض الثنائي سنة 1974، أظهر توقيت النجوم النابضة أن النجوم فعلاً تتخذ معاً مسارات حلزونية متصاعدة تماماً كما هو متوقع. وستندمج هذه النجوم خلال 300 سنة الأمر الذي سيؤدي إلى إنتاج أشعة ثقالية يمكن رصدها بسهولة.

يتم تشييد مراصد التداخل الليزري **Laser Interferometer Observatories** لكي تكون قادرة على رصد الموجات الثقالية الآتية من المصادر المحتملة التي تبعد مسافة تقدر بـ 100 مليون سنة ضوئية. وأدى التعاون ما بين كل من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا وبين معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا إلى تشييد مرصد قياس التداخل الليزري للموجات الثقالية **Laser Interferometric Gravitational-Wave Observatory** أو اختصاراً **LIGO**، والذي بدأ بعملية الرصد منذ سنة 2000.

كما يوجد هناك أيضاً خمسة مشاريع على الأقل لبناء مراصد للموجات الثقالية تشترك فيها أستراليا والدول الأوروبية واليابان بالإضافة إلى عدة مجموعات بحث أخرى تعنى بفيزياء الفضاء.

إذاً كل ما سبق يرقى بالطبع لتأكيد صحة النظرية النسبية العامة.

حسناً، هل كان أينشتاين مصيباً في نظريته ونيوتن مخطئاً!!

حسناً في الواقع لا تجري الأمور على هذا النحو عندما يتعلق الأمر بالنظريات والمواضيع العلمية، حيث أن نيوتن لم يكن مخطئاً بشكل كامل كما أن أينشتاين لم يكن هو الآخر محقاً بشكل كامل أو مطلق.

فنظرية نيوتن يمكن اعتبارها صحيحة بشكل كامل في معظم العمليات الحسابية المتعلقة بالثقالة وذلك عندما لا يكون حقل الثقالة قوياً بشكل كبير، كما أن علماء وكالة ناسا لا يستخدمون النظرية النسبية العامة لحساب مسارات المركبات الفضائية التي يتم إرسالها بهدف استكشاف النظام الشمسي (ولا يعود السبب إلى أنها معقدة أو صعبة جداً، وإنما لأنها ستكون بمثابة مضيعة للوقت على اعتبار أن نيوتن كان محقاً فيما يتعلق بمعظم الأشياء الموجود في النظام الشمسي).

وعلاوة على ذلك، تفشل النظرية النسبية العامة عندما يتعلق الأمر بالمقاييس الصغيرة جداً والتي تصبح فيها التأثيرات الكمومية هي اللاعب الرئيسي والمهم. ويبذل علماء الفيزياء النظرية أقصى جهد لديهم لوضع نظريات خاصة بـ "**الثقالة الكمومية**"، ولكن لم يتمكن

أحد منهم حتى الآن من إضافة تحسينات على نظرية أينشتاين. ومما لا شك فيه أن أي نظرية مستقبلية تتعلق بالثقالة ستظل تقريبية دون أن تصل إلى "**الحقيقة المطلقة**".

يتضمن المنهج العلمي عدة مراحل لا بد من القيام بها

---

1. تطوير نظريات أو فرضيات.
2. اختبار تلك النظريات عبر التجربة أو الملاحظة.
3. استخدام تلك النظريات عندما يتضح أنها قابلة للتطبيق.
4. مراجعة النظريات وادخال عدة تحسينات عليها عندما لا تتفق مع نتائج التجربة.

فالمنهج العلمي هو عبارة عن بحث وسعي دائمين لا يتوقفان أبداً.

الثقوب السوداء

يعتبر عالم الرياضيات الفرنسي لو بلاك **LaPlace** هو أول من تنبئ وتكهن بوجود جسم مضغوط تكون فيه سرعة الهروب أعلى من سرعة الضوء. كما أجرى كارل شوارزشيلد **Karl Schwarzschild** أول عملية حساب بالاعتماد على النظرية النسبية في سنة 1916، أي بعد وقت قصير من نشر أينشتاين لنظريته.

ولعل المدهش في الأمر هو أن نتيجة شوارزشيلد هي نفس النتيجة التي توصل إليها لوبلانك أي وجود جسم مع كتلة **M** وذي حجم معين تكون سرعة الهروب فيه مساوية لسرعة الضوء. ويدعى مثل هذا الجسم باسم الثقب الاسود (**لكي تصبح الشمس ثقباً أسود يجب أن تكون مضغوطة بربع مليون مرة حتى يصل طول نصف قطرها إلى 3 كم فقط**).

الثقب الأسود هو جسم مضغوط بدرجة كبيرة بحيث لا يستطيع أي شيء بما في ذلك الضوء الهرب من جاذبيته. يعرف الثقب الأسود بالمفاهيم الرياضية بأنه جسم يبلغ حجمه صفراً أما كثافته فهي لا نهائية (ولكن كتلته متناهية)، أظهر حساب شوارزشيلد أن نصف القطر الثقالي والمسمى أيضاً بـ نصف قطر شوارزشيلد أو أفق الحدث، يوفر حجماً فعالاً للثقب الأسود لأنه لا يوجد شيء يمكنه الهرب من الشعاع الثقالي، كما لا يمكن وجود أي تواصل بين الأجسام الموجودة داخل نصف القطر الثقالي وبين العالم الخارجي.

$$R_{grav}=2GM/c^2$$

الزمكان المنحني حول الثقب الأسود: يعتبر داخل نصف القطر الثقالي منحنٍ للغاية بحيث لا يمكن لأي شيء الهرب منه.

يجب علينا ربما أولاً أن نزيل اللبس وسوء الفهم الحاصل حيال الثقوب السوداء، فهي ليست عبارة عن أدوات تنظيف عملاقة تقوم بابتلاع كل شيء في الكون في غياهب ظلماتها. وبالطبع سيرتكب المرء حماقة كبيرة إذا ما علق في الجاذبية القوية للثقب الأسود، ولذلك فإننا نأمل أن رواد الفضاء الذين يسافرون بين النجوم حصلوا على تدريب أفضل من مكتشفي الفضاء سيئي الحظ الذين قرأنا عنهم في قصص الخيال العلمي الرديئة.

تمتلك الثقوب السوداء كتلة متناهية كما أن كل شيء في الكون هو متباعد جداً. تتكون الثقوب السوداء بفعل النجوم فائقة الكتلة كجزء طبيعي من عملية التطور والنشوء النجمي. ويتمتع ثقب أسود ناجم عن انفجار نواة نجمية بكتلة تقدر بأكثر من 10 كتل شمسية، وسينتج هذا الثقب تأثيرات ثقالية تلقي بظلالها على النجوم القريبة تماماً بنفس طريقة تصرف نجم **10M**. وبناء على ماسبق، فإنه يتوجب عليك الاقتراب كثيراً من الثقب الأسود كي تبتلعك جاذبيته القوية، أو لكي تصبح تأثيرات النظرية النسبية العامة مهمة وواضحة.

وبشكل مشابه لو افترضنا أنك موجود على كوكب يدور حول أحد النجوم التي أصبحت ثقباً أسود فيما بعد، فإنه لن يتم ابتلاعك بواسطة جاذبية الثقب الأسود. وفي حالة عدم فقدان ذلك النجم لأي جزء من كتلته، فإنك لن تشعر بأي تغيير في الثقالة وبالتالي سيبقى الكوكب محافظاً على نفس مداره حول النجم (وعلى صعيد آخر قد تحدث ربما بعض الأمور السيئة وخصوصاً إذا ما مر النجم بمرحلة انفجار السوبرنوفا. ففي هذه الحالة ستقضي الأشعة الكونية وأشعة غاما على أي حياة موجودة على سطح الكوكب، كما أن الكتلة التي يخسرها النجم أثناء حدوث الانفجار ستؤدي إلى خفض قوة الجذب الثقالية لبقايا النجم، وبالتالي سيهيم الكوكب على وجهه في الفضاء).

إذا كنت سيء الحظ كفاية (**أو ببساطة أحمق**) كي تعلق أو يتم ابتلاعك في أحد الثقوب السوداء فإن وفاتك ستكون فورية ضمن الإطار المرجعي الخاص بك. أولاً سيتم تمزيقك بواسطة القوى المدية الكثيفة لأن القوة المطبقة على قدمك ستكون أكبر بكثير من تلك المطبقة على رأسك. وبعد ذلك ستسحق وتتحول إلى بقايا لا متناهية فتصبح جزءاً من المتفرد المركزي في مركز الثقب الأسود.

ستبدو الأشياء مختلفة جداً بالنسبة إلى راصد موجود في مكان بعيد، ويعود سبب ذلك إلى تأثيرات النظرية النسبية العامة التي تم وصفها وشرحها أعلاه. فالزمن عندما يتم قياسه من مكان بعيد جداً، سيبدو أبطأ فأبطأ كلما اقتربت من نصف القطر الثقالي- وبالتالي لن يحظى الراصد بمتعة مشاهدتك وأنت تختفي في الثقب الأسود وذلك لأن الزمن يتوقف عند نصف القطر الثقالي. وبناء على ما سبق فإن أية إشارات سترسلها ستتم إزاحتها نحو الأحمر بكميات متزايدة وذلك عندما تكون بالقرب من الثقب الأسود.

وقوع شخص يرمز له بحرف A في الثقب الأسود: يرى الشخص الموجود خارج الثقب الأسود مايلي: 1- الفوتونات من الانزياح نحو الأحمر. -2- الساعة تباطأت -3- الشخص A يتم تمزيقه وسحقه بواسطة القوة المدية.

نعتقد أننا وجدنا الثقوب السوداء في مجرتنا على شكل ثنائيات الأشعة السينية (نوع خاص من الأنظمة النجمية الثنائية) **X-Ray Binary Stars**. من المحتمل أن المواد في هذه الأنظمة النجمية تنتقل من التسلسل الرئيسي أو من النجم المرافق الأحمر العملاق إلى الثقب الأسود (**تذكر أن النجوم فائقة الكتلة تعيش بسرعة وتموت شابة**).

عندما يتشكل نظام النجوم الثنائية يصبح النجم ذو الكتلة الفائقة الأكبر أول من يكمل دورة حياته الأولى، وبالتالي يصبح ثقباً أسود أو نجماً نيوترونياً. أما عندما يبدأ النجم ذو الكتلة الفائقة الأصغر بالتوسع والتطور للوصول إلى طور النجم الأحمر، فإن مواده ربما يتم سحبها وجذبها بواسطة الثقب الأسود.

لا تسقط المواد بشكل مباشر إلى داخل الثقب الأسود، وذلك بسبب وجود الزخم الزاوي الناجم عن المدارات المشتركة للنجوم، ولكنها تلتف بشكل حلزوني إلى الداخل مشكّلة ما يعرف بالقرص المتنامي أو التراكمي **accretion disk**. ويتسبب تحرير وإطلاق الطاقة الثقالية على هيئة مواد ذات شكل حلزوني إلى الثقب الأسود، في تسخين القرص المتنامي حتى تصل حرارته إلى ملايين الدرجات ما يؤدي إلى إطلاق الأشعة السينية.

يمكن أن تكون النجوم النيوترونية في الأنظمة النجمية الثنائية أيضاً من ثنائيات الأشعة السينية. يمكن للمواد التي تسقط من النجم المرافق إلى النجم النيوتروني المضغوط أن تطلق تقريباً طاقة ثقالية بنفس الكمية التي تطلقها المواد التي تسقط في الثقب الأسود. ربما ستكون النجوم النيوترونية نجوماً نابضة في الأشعة السينية تماماً كما هو الحال في الأشعة الراديوية.

يُعتبر نجم الدجاجة (**Cygnus X-1**) أفضل مرشح لأن يكون ثقباً أسوداً تمت معرفته، وهو أحد ثنائيات الأشعة السينية في كوكبة الدجاجة كما أنه واحد من أكثر مصادر الأشعة السينية سطوعاً في السماء. وقد تم في سنة 1972 تحديد نجم الدجاجة **Cygnus X-1** على أنه يحتل المرتبة التاسعة من ناحية الحجم وقد تمت فهرسته تحت مسمى **HDE226868** .

يدور **HDE226868** حول نجم مرافق غير مرئي يشير التحليل المداري إلى أن كتلته هي تقريباً **20M**، وهي فائقة بشكل كبير كي يكون نجماً نيوترونياً أو قزماً أبيض. ويمتلك نجم الدجاجة أيضاً بعض خصائص الأشعة السينية الفريدة من نوعها، ما يقدم الدعم للفكرة القائلة بأنه ثقب أسود.

تمتلك الثقوب السوداء النجمية كتلة أكبر بعدة مرات من كتلة الشمس كما أنها أكبر بعشرات المرات من الكتل الشمسية، إلا أن هناك عمليات أخرى يمكن أن تنتج ثقوباً سوداء فائقة الكتلة.

هناك أدلة متزايدة حول وجود أكثر من مليون ثقب أسود ذو كتلة شمسية في مركز مجرتنا درب التبانة، وأيضا حول وجود ثقوب سوداء في قلوب ومراكز المجرات الأخرى تفوق كتلتها كتلة الشمس بحوالي مليار مرة. ويعتقد الكثير من علماء الفلك أن الثقوب السوداء تدعم وتقوي الكوازارات وغيرها من المجرات النشطة في كوننا.

- التاريخ: 2016-01-19
- التصنيف: أسئلة كُبرى

#النظرية النسبية #الجاذبية #انحناء الزمكان #مفارقة التوأم #التمدد الثقالي للزمن

المصطلحات

- **قرص التضخم (التراكم) (accretion disk)**: صفيحة مسطحة نسبياً ومكونة من الغاز والغبار المحيطين بنجم مولود حديثاً، أوثقب أسود، أو أي جسم فائق الكتلة ينمو بالحجم من خلال جذبه للمواد.
- **مقياس التداخل (interferometer)**: عبارة عن أداة تقوم بقياس التداخل (Interferometry)
- **حلقة اينشتاين (Einstein ring)**: هي التشوه الحاصل في الضوء القادم من مصدر بعيد (مجرة أو نجم). ويأخذ هذا التشوه شكل حلقة جراء معاناة ضوء المصدر من مفعول العدسة الثقالي (gravitational lensing) الذي ينتج عن وجود جسم فائق الكتلة أو ثقب أسود بين الراصد والمصدر. المصدر: ناسا.
- **الجاذبية (gravity)**: قوة جذب فيزيائي متبادلة بين جسمين.

المصادر

- casswww.ucsd
- الصورة

المساهمون

- ترجمة
  - سومر عادلة
- مُراجعة
  - شهامة شقفة
- تحرير
  - ليلاس قزيز
- تصميم
  - صلاح الحجي
- نشر
  - مي الشاهد