النسبيـــة

النسبية الجاليلية:

يعد الفيزيائي والرياضي الإيطالي جاليليو Galileo هو أول من قدم نظريةً للنسبية عام 1632م، وقد قال فيها أن قوانين الفيزياء تبقى كما هي بالنسبة لجميع المراقبين الذي يتحركون بسرعة ثابتة. على سبيل المثال، عالم يدرس بندولاً متأرجحاً في مختبره على الأرض يراه يصنع نفس الحركات التي يصنعها بندول آخر في سفينة متحركة عندما يراه مراقب آخر، ومن المستحيل لكليهما أن يعرفا بمجرد التحديق في البندول هل هما يتحركان أم ثابتان؟

وبإمكانك أن تلاحظ بنفسك مبدأ جاليليو للنسبية في المرة القادمة التي تركب فيها القطار، فبمجرد أن يزيد القطار من سرعته قم بإغلاق عينيك، بالطبع تأرجح القطار يمنةً ويسرةً سيجعلك تعرف إنه ليس ثابتاً، لكنك لن تعرف هل يتحرك إلى الأمام أم إلى الخلف - ولا حتى مقدار سرعته- إذا قمت بتثبيت نظرك على خارج النافذة. وقد مهد مبدأ جاليليو الطريق للنظرية النسبية الخاصة لآينشتاين التي جاءت بعد ذلك بأربعمائة عام تقريباً.

النسبية الخاصة لآينشتاين:

في أواخر القرن التاسع عشر بدأت التجارب تكشف اختلافات بسيطةً بين معادلات ماكسويل في الكهرومغناطيسية وقوانين الميكانيكا التي تحكم سلوك الأجسام المتحركة.

وقد جاء الحل عام 1905م بواسطة ألبرت آينشتاين الفيزيائي الذي يعمل في مكتب براءات الاختراع في بيرن بسويسرا، وقد أدرك أن المشكلة تكمن في الطريقة التي تصف بها الميكانيكا الأجسام التي تتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء. في النسبية الجاليلية عندما يتحرك رائد الفضاء بنصف سرعة الضوء، فإنه يرى شعاع الضوء القادم نحوه يتحرك بسرعة تبلغ 1.5 ضعف سرعة الضوء، حيث تضاف سرعتاهما معاً مثل السيارتين اللتين تتحركان باتجاه بعضهما، ولكن فكرة آينشتاين الثورية كانت أن سرعة الضوء (التي تبلغ

300000 كم في الثانية) هي نفسها بالنسبة لكل المراقبين بغض النظر عن السرعة التي يتحركون بها.

وسميت القوانين الجديدة للحركة التي قادت إليها هذه الفكرة بالنظرية النسبية الخاصة، وهي لم توضح الفروق بين الكهرومغناطيسية والميكانيكا فحسب، ولكنها أتاحت اكتشافاتٍ جديدةً حول طبيعة الفضاء والوقت والمادة، مثل التوقع إنه لا شيء يتحرك أسرع من الضوء.

انكماش الطول وتوسع الوقت:

لنسبية آينشتاين الخاصة بعض النتائج الغريبة، على سبيل المثال يصبح الفضاء مضغوطاً والزمن متوسعاً بالنسبة للأجسام المتحركة بسرعة قريبة من سرعة الضوء، ويعرف التأثير الأول بانكماش الطول، إذا قام مراقب بملاحظة سفينة فضاء تمر من جواره بسرعة تبلغ نصف سرعة الضوء وقام بقياس طولها فسيجده يبلغ 0.85 من طولها عندما كانت ثابتةً، وعلاوةً على ذلك ستتحرك الساعات في داخل السفينة بشكل أبطأ. التأثير النسبي المعروف بتوسع الوقت يعني إنه سيمر 1.5 ثانية على ساعة المراقب إذا مرت ثانية واحدة داخل السفينة، وإذا حلقت السفينة بنفس السرعة ثم عادت بعد 10 سنوات (بحسب قياس رواد الفضاء) فسيجدون المراقب قد كبر 11.5 سنة، وأنهم عادوا من رحلتهم وهم يبدون أصغر بـ 1.5 سنة مما هم عليه بالفعل، وعلى الرغم من غرابتها إلا أن هذه التأثيرات حقيقية، وقد تم اختبارها بانتظام في مسرعات الجسيمات التي هي آلات عملاقة تدفع الجسيمات الأولية إلى سرعة قريبة من سرعة الضوء.

$E=MC^2$:

ربما تكون هذه هي المعادلة الأهم في كل العلم، $E=MC^2$ تقرر أن محتوى الطاقة في الجسم (E) يساوي كتلته (M) مضروبةً في مربع سرعة الضوء (C^2). هذه الصيغة – التي جاءت مباشرةً من رياضيات النسبية الخاصة لآينشتاين– أصبحت الأساس لتفاعلات الاندماج والانشطار النووي، وقد وجد الفيزيائيون أن شطر الأنوية الذرية الثقيلة – أو دمج الأنوية

الخفيفة معاً- يؤدي في المحصلة إلى نقصان في الكتلة يتحول إلى كمية هائلة من الطاقة يتم إطلاقها، وقد استخدمت هذه النظرية في محطات توليد الطاقة النووية وفي القنابل الذرية.

النسبية العامة:

عندما تم نشر نسبية آينشتاين الخاصة في عام 1905م كانت قوة الجاذبية - المسؤولة عن مدارات الكواكب- يتم وصفها بالجاذبية النيوتونية. في قانون نيوتن تعد الجاذبية قوةً لحظيةً تنتشر عبر الفراغ بسرعة متناهية، لكن هذا يتعارض في الظاهر مع نظرية آينشتاين القائلة بأن لا شيء أسرع من الضوء، وقد أرقت المشكلة آينشتاين لمدة عشر سنوات حتى قام بإصدار النظرية النسبية العامة عام 1915، وهي نظرية جديدة للجاذبية تتوافق مع النسبية الخاصة.

كانت فكرة آينشتاين الرئيسة هذه المرة هي مطابقة القوة الجاذبية مع انحناء الزمن والفضاء، حيث أدرك أن الفراغ يشبه صفيحةً مطاطيةً مستويةً، قم بدحرجة كرةً زجاجيةً عليها وستسير الكرة في خط مستقيم، ولكن قم بإلقاء جسم ضخم مثل كرة الباولينج وستحدث فجوةً تحرف مسار الكرة الزجاجية، وهذا ما يحدثه الجسم الضخم في الفضاء ليصنع التأثير الذي نعرفه بالجاذبية، وبالتوصل إلى الرابط بين كتلة الجسم والانحناء (متضمنةً في معادلات مهمة) تمكن آينشتاين أخيراً من ربط الجاذبية بالنسبية.

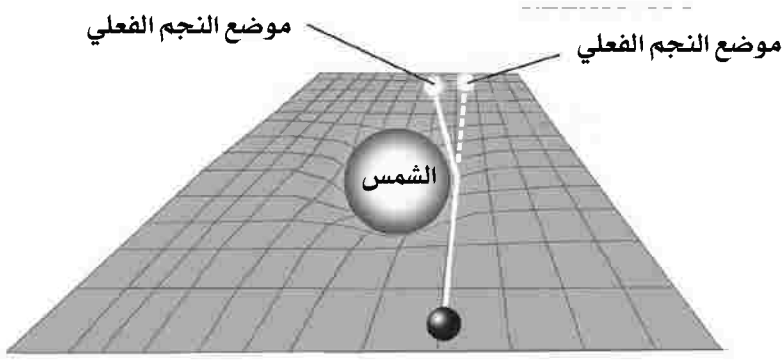
إنحناء ضوء النجم:

من التجارب الأولى التي أقنعت بعض العلماء أن يأخذوا النسبية العامة على محمل الجد تجربة أجريت خلال كسوف الشمس الكلي عام 1919م، حيث قام آرثر إدينجتون Arthur Eddington (رائد فضاء من جامعة كامبردج) بالسفر إلى جزيرة برينسيب Principe في أفريقيا ليحصل على مشهد واضح للكسوف، وهنا -حيث يظهر قرص الشمس الساطع وقد حجبه القمر- كان قادراً على أخذ قياسات دقيقة للمواقع الظاهرة للنجوم التي مر ضوؤها بالقرب من الشمس.

تشوه الفراغ الذي تتوقعه النسبية العامة لا يؤثر فقط على الأجسام الصلبة، بل يؤثر أيضاً

– على العكس من الجاذبية النيوتونية– على أشعة الضوء، وهذا يعني إنه إذا كان آينشتاين محقاً فإن الضوء الذي يأتي من النجوم البعيدة ويمر بالقرب من الشمس، يجب أن ينحني بسبب جاذبية الشمس مكوناً إزاحةً يسيرةً في المواقع الظاهرية للنجوم في السماء، وهذا بالضبط ما اكتشفه إيدنجتون.

ويستفيد الفلكيون اليوم من نفس هذه الفيزياء لكن على نطاق أوسع بكثير، وذلك باستخدام ما يعرف بالتعدس الجاذب لتكبير الضوء الصادر من المجرات البعيدة.



الثقوب السوداء

في عام 1916، عام واحد بعد أن نشر آينشتاين Einsteinالنظرية النسبية العامة، وقدم الفيزيائي الألماني كارل شفارزشيلد Karl Schwarzschild حلاً دقيقاً لمعادلات آينشتاين Einstein المعقدة في المجال للجسم الكروي، ولذلك فهو استنبط وصف لمجال الجاذبية حول نجم أو كوكب. بالنسبة للمجالات الضعيفة اختصرت النتائج الخاصة بنظرية الجاذبية الخاصة بنيوتين Newtoniangravity. ولكن عندما يكون مجال الجاذبية قويًا جداً، لاحظ شفارزشيلد Karl Schwarzschild أمراً شيقاً: بدت المعادلة وكأنها تقول فإذا كان نصف القطر للجسم الجاذب صغيرًا بما يكفي، فإن جاذبيته تصبح قوية جداً حيث لا شيء يستطيع الهروب منها حتى ولو الضوء.

اكتشف شفارزشيلد Schwarzschild الوصف الرياضي لما هو معروف الآن باسم الثقب الأسود. فحتى الأرض يمكن أن تصبح ثقبًا أسود. يعطي ما يعرف باسم "نظرية نصف

قطر الدائرة لشفارزشيلد" Schwarzschild يعطي حجمًا لكائن من كتلة محددة لابد من سحقه ليصبح ثقب أسود. حتى كوكب الأرض يمكن أن يصبح ثقب أسود إذا سحق إلى حجم أصغر بما فيه الكفاية - فلدى كوكبنا نصف قطر دائرة شيوارزشيلد Schwarzschild بحوالي سنتيمتر واحد. وبالنسبة للنجوم، فقط بضعة كيلومترات، يعرف السطح المحدد بنصف قطر الدائرة لشيوارزشيلد Schwarzschild في بعض الأحيان بأنه الأفق الخاص بالثقب. يمكن إنتاج الثقوب السوداء في انفجارات السوبرنوفا (الطارف الأعظم)، مشيرتاً إلى وفاة نجم. تزن الثقوب السوداء الهائلة مليارات أضعاف كتلة الشمس ويعتقد بأنها تكمن في مركز عدة مجرات.

التفرد القادر على الجذب:

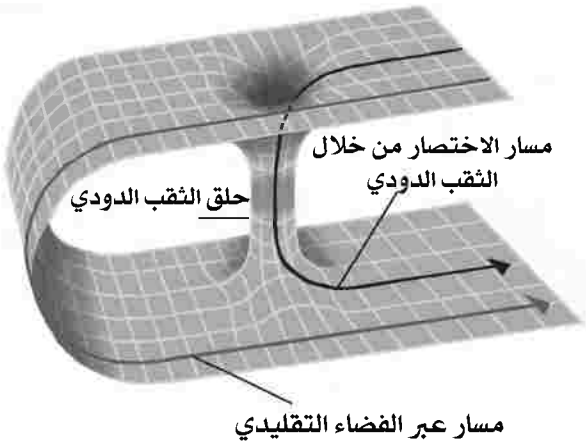
في قلب الثقب الأسود، حيثما تفصل قوانين الفيزياء، تقع نقطة ذات كثافة لا نهائية تعرف بالتفرد القادر على الجذب. تشكل التفرد القادر على الجذب عندما يصبح المجال القادر على الجذب للشيء المنهار قوياً جداً، حيث لا تستطيع قوة الطبيعة مقاومته أو إيقاف ذلك الشيء المنهار. على سبيل المثال، يدعم النجم العادي بضغط الغاز بداخله من النظرية الحركية- وهي القوة الخارجية التي توازن السحب الداخلي بفعل الجاذبية. تتعطل الأشياء المضغوطة مثل الأقزام البيضاء والنجوم النيوترونية بواسطة أنواع مختلفة من الضغط الميكانيكي الكمي، ولكن عندما تتغلب الجاذبية عليه، لا يوجد ما يمكن أن يوقف الانهيار إلى نقطة الحجم صفر.

أجري اتفاق كبير حول طبيعة المتفردات وكيفية تشكيلها عام 1960، بواسطة جامعة أوكسفورد Oxford university، وقام بها متخصص الرياضة روجر بينروز Roger Penrose وستيفن هوكينج Stephen Hawking بجامعة كامبردج. كما تصور روجربينروز Roger Penrose فرضية الرقابة الكونية، الفكرة حيث يجب أن تختفي المتفردات عن الأنظار خلف الأفق. واليوم، يؤمن أغلب العلماء بالمتفردات القادر على الجذبة بأنها نظرية رياضية لنظرية النسبية الكلاسيكية العامة، وسوف تزيلهم الآثار الكمية بكاملها في نظرية الجاذبية الكمية.

الثقوب الدودية:

يبتلع الثقب الأسود كل شيء يندرج ضمن الأفق ولكن أين تذهب هذه المواد؟ في عام 1935، قال ألبرت آينشتاين Albert Einstein وپرينستون Princeton وزميله ناثان روزين Rosen Nathan إنه قد تخرج أشياء متماثلة تعرف بالثقوب البيضاء. افترض آينشتاين Albert Einstein وروزين Rosen أن الثقب الأسود والثقب الأبيض يمكن أن يتصلا من خلال قناة من خلال المكان والزمان ويطلق عليها فيما بعد باسم الثقب الدودي.

قد تقدم الثقوب اختصارات عبر المكان وربط مناطق من العالم التي تنفصل بخلاف ذلك بشكل واسع ويمكنها حتى أن تمسك مفتاح السفر عبر الزمن. ومع ذلك، هناك عقبة كبيرة يجب التغلب عليها إذا كان البشر يسخرون الثقوب الدودية للسفر. وقد أظهر علماء الفيزياء بأن أنفاق الزمكان هذه غير مستقرة بطبيعتها. يهدف الحلق الضيق الذي يربط بين فاهين إلى غلقها مثل أنبوب مطاطي ممدود، والوسيلة الوحيدة للاحتفاظ به مفتوح هي استخدام نوع غريب من المواد معروف بالمادة الغريبة والتي بها طاقة سلبية. يتم إجراء كسور دقيقة للجرام في التجارب. ولكن لتثبيتها مفتوحة يحتاج مهندسو الثقب الدودي لشحن المادة الغريبة بعشرة أضعاف حجم كوكب المشترى.



الموجات القادر على الجذبة:

إن أحد التوقعات المتبقية القليلة غير المختبرة للنسبية العامة هي فكرة ذلك الوقت القوي الذي يختلف عن المجالات القادر على الجذبة، على سبيل المثال، يتم إصدار ذلك من خلال زوج من الثقوب السوداء تميل حول بعضها البعض بنصف سرعة الضوء- وقد تصدر إشعاع في شكل موجات في بنية الزمان والمكان نفسه. تسافر الموجات القادر على الجذبة عبر الفضاء بسرعة الضوء وسوف ينتج مرور الموجة تغيرات دقيقة في المسافة بين

النقاط القريبة. وقد حاول علماء الفيزياء في التجارب الكشف عن تلك التغييرات باستخدام ترتيبات متعمقة لليزر القادر على قياس حركات صغيرة بقدر 10^{-19}m. ولكن بعد ذلك صارت بحوثهم دون جدوى.

وعلى الرغم من عدم الكشف عن الموجات القادر على الجذبة بشكل مباشر بعد، فإن هناك دليل غير مباشر على وجودها. لاحظ رواد الفضاء زوج من نجوم النيوترون الثنائية، ويتم تشكيل جسيمات بالغة الكثافة في انفجارات سوبر نوفا (الطارف الأعظم) ليلتئم بالمعدل المتوقع إذا فقدت المجموعة الطاقة بسبب الموجات القادر على الجذبة.

تباطؤ الإطار المرجعي:

في عام 1918، أبرزا اثنان من علماء الفيزياء نتيجة النظرية النسبية العامة لآينشتاين Einstein حيث وضعتها في فئة من تلقاء نفسها لغرابتها.

قام جوزيفلنس وهانز ثيرينج بحساب التأثيرات في نظرية آينشتاين Einstein،بأن دوران الشيء حول محوره يؤثر على المكان إلى حد ما، مثل الملعقة في العسل الأسود. أي أشياء تشغل الفضاء بالقرب من شيء يدور يكنسه معه. وبالنسبة للكواكب والنجوم العادية، فإن ما يسمى بتباطؤ الإطار المرجعي ضعيف، ولكن يمكن أن يمكن للأشياء الجاذبة بقوة والقريبة أن تتضح.

وخصوصاً، في منطقة بالقرب من الثقب الأسود الذي يدور وتعرف باسم الأرجوسفير ergosphere، فيجذب ما في الفضاء من حوله بنشاط بحيث يمكنه استخراج طاقة مفيدة من الدوران. وشاهد بعض العلماء أن هذا قد يقدم مصدر طاقة لحضارة متقدمة. واكتشف الدليل المتوقع لتباطؤ الإطار المرجعي عام 2004 من قبل العلماء الذين يحللون البيانات من قمرين صناعيين يدوران حول الأرض. وزعما أنهما قد كشفا أثر تباطؤ الإطار المرجعي لكوكبنا.