الفصل الثالث

الثقب الأسود

الفصل الثالث

الثقب الأسود

مقدمة عن الثقوب السوداء

المادة في الكون

المادة في الكون رغم ما يبدو من تماسكها و هي في حالة الصلابة عبارة عن فراغ كثير ومادة قليلة وحتى على مستوى الذرة الفراغ فيها اكثر بكثير من المادة ويمكن ان نقول في تقريب ذألك للأذهان انه لو فرض ان كبرت نواة ذرة الى حجم الكرة وكبرت تبعا لذألك المسافات بين النواة واقرب الكترون قرابة ٣٠ كيلو متر او تزيد وهذه المسافة كلها فراغ.

بالطبع كما نعرف ان هناك اماكن تولد قبها النجوم وتموت فماذا يحدث عندما يموت احد هذه النجوم؟ تؤكد احدى التوقعات المثيرة للنظرية النقية العامة لأينشتاين على وجود ما يسمى بالثقوب السوداء Black Holes فعندما يموت النجم تنهار مادته وتنطوي وتنكمش وتتراص فيصبح اصغر من حجمه الأصلي بملايين المرات أي ان الفراغ في مادته يقل كثيرا وتتجمع المادة مع بعضها وهذا يجعل قوى الجاذبية تزداد زيادة هائلة حتى انها تمنع كافة الجسيمات داخلها من الانفلات الى الخارج كما انها تنجذب اليها أي جسم يمر بالقرب منها وحتى فوتونات الضوء تنجذب نحوها وتنحبس داخلها ونتيجة لذألك لا يخرج منها ضوء و بذا تبدو سوداء حقا ان النجم عندما يموت ويصبح ثقبا اسود يبقى هناك بكل كتلته المتكدسة كما أنه يحيط نفسه بهالة سوداء وكأنها القبر الأسود لا يخرج منه أي ضوء او حركة او مادة لاشي على الاطلاق سوى السكون والظلام حتى الزمن يبطؤ فهو يتجمد في القبر الأسود ويتوقف.وهكذا يبدو الثقب الأسود وكأنه قد سجن الضوء واعتقل الزمن أيضا فلم يعد للزمن المعنى الذي عرفناه والفناه وتكون لدى الثقب الأسود قدرة نتيجة للضغط الهائل والجاذبية الرهيبة على التهام النجوم والكواكب من حوله وحتى التي تكبره بملايين المرات ان لغز تلك القبور السوداء في الفضاء قد اصبح اعمق يجابه علماء الفلك ليس في الوقت الحاضر فحسب ولكن لسنوات طويلة قادمة أيضا وبالنسبة لعلماء الفيزياء النووي يعتبر الثقب الأسود حالة عجيبة تقلب قوانينهم رأسا على عقب فالمادة التي تنهار لأحداث الثقب الأسود تختفي كما نعرفها ببساطة فالعالم الفيزيائي الذي يبحث في طبيعة الثقب الأسود لا يوجد تعقيدات المادة بجزيئاته وذراتها وتركيبها النووي ولكن هنا يثار تساؤل هو: بما انه لا يمكن رؤية الثقب الأسود ابدا

فكيف يقوم علماء الفلك بالاستدلال عليها الواقع انهم يستدلون على الشيء من اثاره فالهواء لا يرى وكذألك الجاذبية او المغناطيسية ولكن هذه الظواهر نعرفها من اثارها وأيضا في حالة الثقب الأسود يعتمد العلماء على تأثير مجال جاذبيته الهائلة وعلى سلوك المادة القريبة منه وانتشار الاشعة بجواره ان رفات النجم المنهار ليست رفاتا مادية بل حالة مفردة غريبة ليس كمثلها شيء.

ولكن هل تموت النجوم حقا؟

نعم تموت النجوم كما يموت كل شيء في هذا الكون البدء ولكل نجم عمر واجل ويعبر علماء الفلك عن نظام الكون الرائع بمعادلات رياضية وترشدهم هذه المعادلات الى بعض اسرار الكون المثيرة التي قد لا تتقبلها عقولنا في بعض الأحيان مثل لغز الثقوب السوداء فيستخدم العلماء المعادلات الرياضية في تقدير احجام النجوم والمجرات والمجموعات المجرية ويحددون تفاعلاتها والسرعة التي تستنفذ فيها مادتها بالتفاعلات الحرارية والنووية كما يحسب العلماء الطاقات والنبضات التي تخرج من الاجرام السماوية بمختلف اشكالها وانواعها ودرجات حرارتها والمادة المتحولة التي تتجمع في داخلها ثم على المدى الطويل (ملايين السنين) تشل حياتها ثم تنهيها ومن الظواهر والتفاعلات التي تحدث للنجوم خلال حياتها يمكن التنبؤ بآجالها وطريقة موتها والقدر الذي ينتظرها حتى الموت فأما ان تصبح اقزاما بيضاء او نجوما نيوترونيه او كيف يُقدر علماء الفلك كتلة ثقب أسود؟

قياس كتلة الثقوب السوداء

في معظم الأحيان تدور النجوم والغازات حول الثقوب السوداء وبالتالي من الممكن قياس كتلة الثقوب السوداء عبر قياس سرعة المواد التي تدور حوله افترض الحالة التي يوجد فيها ثقب أسود ونجم يدوران حول مركز عطالتهما المشترك فعلى الرغم من عدم إمكانية رؤية الثقب الأسود إلا أنه باستطاعتنا مشاهدة النجم ومن خلال إجراء مراقبات دقيقة يمكننا قياس سرعة النجم تماما كما يمكننا قياس حجم مداره وحالما نقيس هذه الأمور تخبرنا قوانين الجاذبية القيمة الحقيقية لكتلة الثقب الأسود على سبيل المثال دعنا نفترض أن نجما كالشمس يدور حول ثقب أسود. افترض أننا قسنا سرعة النجم ونَتج أنها ١١٧ ميل في الثانية وقسنا قطر مداراه وكان مساويا للمسافة الفاصلة بين الشمس وعطارد يؤكد ذلك أن النجم يدور حول الثقب الأسود لمرة كل ١٢ يوم وبعدها تخبرنا قوانين الجاذبية أن كتلة الثقب الأسود يجب أن تكون مساوية لعشرة أضعاف كتلة الشمس أو أكثر بقليل يمكن اكتشاف الثقوب السوداء فائقة الكتلة والموجودة في مراكز المجرات باعتماد هذه الطريقة على سبيل المثال حسبت كتلة الثقب الأسود الموجود في مركز مجرتنا "درب التبانة" من خلال قياس السرعات التي تتحرك فيها النجوم المنفردة حوله ويثبت ذلك الحساب أن الثقب الأسود له كتلة تفوق كتلة شمسنا بثلاثة ملايين مرة وقدرت كتلة الثقب الأسود الموجود في مركز مجرة اندروميدا عبر قياس السرعات المتوسطة لكل النجوم التي تدور حوله وبلغت كتلته ٣٠ مليون ضعف كتلة الشمس تقريباً.

شكل النجوم التي تكون منها الثقب الأسود

أحدث "ورنر إزرائيل " Werner Israel وهو باحث كندي ولد في برلين ثورة في دراسة الثقوب السوداء عام ١٩٦٧ م عندما بين أن الثقوب السوداء ليست دوارة فوفقا للنظرية النسبية العامة إن كانت دوارة فلابد أن تكون كروية تماماً ولا يتوقف حجمها إلا على كتلتها وأي ثقبين سوداوين بكتلة متساوية هما متساويان بالحجم وقد أمكن وضعهما عن طريق حل خاص لمعادلات أينشتاين قبل النسبية العامة بقليل وكان من المعتقد أن الثقب الأسود لا يتكون إلا عند انسحاق جسم كروي تماما وأن النجوم ليست كروية تماما ولا يمكن بالتالي أن يسحق إلا بشكل تفرد ثقاليا عاريا لكن هناك تفسيرات مختلفة لنتيجة " إزرائيل " تبناها روجر بنروز و "جون ويلر " فقد أبديا أن الحركات السريعة في انسحاق النجم يعني أن موجات الجاذبية المنبعثة منه تجعله أكثر كروية إلى أن يستقر في وضع ثابت ويصبح كروياً بشكل دقيق ووفق هذه النظرية فأن أي نجم دوار يصبح كرويا مهما كان شكله وبنيته الداخلية معقدتين وسوف ينتهي بعد انسحاقه بالجاذبية إلى ثقب أسود كروي تماما يتوقف حجمه على كتلته فقط واكتشف أول نباض عام ١٩٦٧ مؤيدا للنظرية النسبية وتبين ان تلك

النباضات ما هي إلانجوم نيوترونية حتى ذلك الحين كانت النجوم النيوترونية والثقوب السوداء ترى على أنها أجسام نظرية ولا وجود لها في الطبيعة وخلال تلك الفترة كثرت حسابات النظرية الذسبية التي تؤدي إلى امكانية نشأة ثقب أسود من خلال عمل ورنر إزرائيل وبراندون كارتر نشأت " نظرية لا شعر" والتي تشير إلى أن حل الثقب الأسود الثابت يمكن وصفه بثلاثة إحداثيات طبقا لمقياسية كتلة والعزم الزاروي والشحنة الكهربائية وكانت ظواهر الثقب الأسود المحسوبة بواسطة النظرية النسبية لا تزال تعتبر نظرية بحتة وناشئة عن شروط تناظر مفترضة في حل المعادلات كان من العلماء الذين اعتنقوا تلك الفكرة فلاديمير بلينسكي وأيزاك خالاتنيكوف وافيجني ليفشيتز الذي حاول اثبات ظهور تلك الحلول في الحال العام أيضا ولكن في الستينيات من القرن الماضي قام روجر بنروز و ستيفن هوكنج باستخدام طريقة شاملة لإثبات أن حالة التفرد الثقالي تظهر أيضا في الحلول العامة لمعادلات النظرية النسبية العامة.

وفي عام ١٩٦٣ م، وجد "دوي كير " مجموعة من الحلول لمعادلات الذسبية العامة تصف الثقوب السوداء الدوارة التي أغفلها "إزرائيل ". فإذا كانت الدورات صفر يكون الثقب الأسود كروي تماما ويصبح الحل مماثلاً لحل "شفارزشيلد" أما إذا كان الدوران ليس صفرا ينتفخ الثقب الأسود نحو الخارج قرب مستوى خط استوائه تماما مثل الارض منبعجة من تأثير دورانها لقد أفترض إزرائيل أن أي جسم يذسحق ليكون ثقبا أسود سوف ينتهي إلى وضع مستقر كما يصف حل كير.

حجم الثقوب السوداء وأدلة وجودها

في عام ١٩٧٠ م بين "براندون كارتر " أن حجم وشكل أي ثقب أسود ثابت الدوران يتوقف فقط على كتلة ومعدل دورانه بشرط يكون له محور تناظر وبعد فترة أثبت ستيفن هوكنغ أن أي ثقب أسود ذى دوران ثابت سوف يكون له محور تناظر واستخدم "رو بنسون " هذه النتائج ليثبت أنه بعد انسحاق الجاذبية بان الثقب الأسود من الاستقرار على وضع يكون دوارا ولكن ليس نابضا وأيضا حجمه وشكله يتوقفان على كتلته ومعدل دورانه دون الجسم الذي انسحق ليكونه.

مالأدلة على وجود هذه الثقوب؟

الثقوب السوداء لا دليل عليها سوى حسابات مبنية على النسبية لذلك كان هناك من لم يصدق بها وفي عام ١٩٦٣ م، رصد "مارتن سميدت " وهو عالم فلكي أمريكي الانزياح نحو الأحمر في طيف جسم باهت يشبه النجم في اتجاه مصدر موجات الراديو فوجد أنة أكبر من كونه ناتج عن حقل جاذبية فلو كان انزياحه بالجاذبية نحو الأحمر لكان الجسم كبير الكتلة وقريبا منا بحيث تنزاح مدرات الكواكب في النظام الشمسي و هذا الانزياح نحو الأحمر ناتج عن توسع الكون و هذا يعني بدوره أن

الجسم بعيداً جدا عنا ولكي يرى على هذه المسافة الكبيرة لابد وأنه يبث مقدار هائلاً من الطاقة والتفسير الوحيد لهذا ناتج انسحاق بالجاذبية ليس لنجم واحد بل لمنطقة مركزية من إحدى المجرات بكاملها وتسمى الكوازار وتعني شبيه النجوم.

الكوازارات

في عام م١٩٦٧ اكتشفت "جوسلين بل " أجسام في الفضاء تبث نبضات منتظمة من موجات الراديو وكانت يعتقد بأنها أتصلت مع الحضارات غريبة في المجرة ولكنها توصلت إلى أن هذه النبضات ناتجة عن نجم نباض هو في الواقع نجوم نيترونية دوارة تبث هذه النبضات هي بسبب تداخل معقد بين حقولها الجاذبة وبين المادة المحيطة بها وهذه النبضات هي الدليل الأول على وجود الثقوب السوداء ولكن كيف يمكن لنا اكتشاف أو استشعار الثقب الأسود مع أنه لا يبعث الضوء؟ ذلك عن طريق دراسة القوة التي يمارسها الثقب الأسود على الأجسام المجاورة فقد شاهدوا نجما يدور حول آخر غير مرئي ولكن ليس هذا شرطً أن يكون النجم غير المرئي ثقباً أسود فقد يكون نجماً باهتاً ومع هذه الجاذبية العالية والطاقة الهائلة التي يبثها الثقب الأسود فإنه قد تتولد جسيمات ذات طاقة عالية جداً قرب الثقب الأسود ويكون الحقل المغناطيسي شديداً بحيث تتجمع الجسيمات في نفاثتية متضادتين تنطلقا خارجاً على طول محور الدوران ونشاهد مثل هذه الجسيمات في عدد من الكوازار.

إشعاع الثقب الأسود

من فكرة تعريف الثقب الأسود كمجموعة من الأحداث التي لا يمكن الإفلات منها بعيداً ويعني أن الثقب الأسود أي أفق الحدث مكون من مسارات اشعة الضوء في الزمكان وبالتالي لا يستطيع الضوء الابتعاد عن الثقب الأسود بل يحوم عند أطرافه إلى الأبد أن هذه المسارات لا يمكن أن تقترب من بعضها البعض فإذا أقتربت فلابد أن تندمج لتصبح واحدة وفي هذه الحالة تقع في ثقب أسود ولكن إذا أبتلع الثقب الأسود هذه الاشعة فهذا يعني أنها لم تكن على حدوده وهذا يعني أنه يجب أن تكون الاشعة متوازية أو متباعدة وإذا كانت الاشعة التي يتألف منها أفق الحدث لا يمكنها أن تتقارب فإن مساحة أفق الحدث تبقى كما هي أو تتسع مع الزمان وفي الواقع تتسع المساحة كلما وقع في الثقب الأسود مادة أو إشعاع وإذا تصادم ثقبان أسودان واندمجا معا في ثقب واحد فإن مساحة أفق حدث للثقب الجديد تساوي مجموع مساحتي الثقبين الأوليين أو أكبر وبناء على هذا التعريف وهذه الفكرة فسوف تكون حدود الثقب الأسود هي للثقب الأسود وأيضا مساحتهما بشرط أن يكون الثقب الأسود صار إلى وضع مستقر لا يتغير مع الزمن كان هذا السلوك لمساحة الثقب الأسود مستوحى إلى حد بعيد من سلوك مقدار مادي يدعى "أنتروبيا"-وهو مقياس درجة الخلل أو اضطراب نظام ما - ويعرف تقدير أو وصف هذه الفكرة الدقيقة بالقانون الثاني

للديناميكا الحرارية فهو ينص على أن "الأنتروبيا" لنظام معزول تتزايد باطراد وعندما يندمج نظامين معا تكون "أنتروبيا" النظام الموحد أكبر من مجموع الأثنين في كل منهما وأقترح طالب أبحاث اسمه "جاكوب بكنشتاين" إن مساحة أفق الحدث هي مقياس أنتروبيا لثقب الأسود فكلما سقطت فيه مادة تحمل أنتروبيا كلما وأتسعت مساحة أفق الحدث بحيث أن مجموع أنتروبيا المادة خارج الثقوب السوداء ومساحة الآفاق لا تنقص أبدا فإذا كان للثقب الأسود أنتروبيا فلابد أن تكون له حرارة كذلك كل جسم ذي حرارة معينة لابد أن يبث إشعاع بمعدل ما و هذا الإشعاع ضروري لتفادي خرق القانون الثاني للديناميكا أي أنه يجب أن تبث الثقوب السوداء إشعاعاً ولكن الثقوب السوداء بحكم تعريفها بالذات أجسام يفترض أن لا تبث شيئا.

وفي الحقيقة الثقوب السوداء الدوارة تبث جسيمات ذرية ولكن عندما أجرى ستيفن هوكنغ حساباته ظهرت له نتيجة مزعجة و هي أنه حتى الثقوب السوداء غير الدوارة تبث جسيمات ذرية و هذه النتيجة كان يعتقد ستيفن أنها ناتجة عن اعتماده تقديرا خاطئا وأخيرا أكد له طيف هذه الجسيمات هو بالضبط ما قد يصدر عن جسم حار كيف يبدو أن الثقب الأسود يمكنه بث جسيمات مادمنا نعرف أن لا شي يمكنه الإفلات من أفق الحدث؟ الجواب كما تفيد نظرية الكم هو إن الجسيمات لا تصدر من داخل الثقب الأسود بل من (الفراغ) الفضاء الفارغ خارج أفق الحدث للثقب الأسود مباشرة وكي تتضح الصورة لابد من إعادة فكرة إن ما نخاله فضاء فار غا لا يمكن أن يكون فراغا تماما لأن ذلك يعني إن جميع الحقول من الجاذبية ووكهرومغناطيسية ستكون صفرا بالضبط إلا أن قيمة الحقل ومعدل تغيره مع الزمن يشبهان موقع وسرعة الجسم: فمبدأ عدم التأكيد يحتم أنه كلما قمنا بقياس واحدة من هاتين الكميتين بدقة عالية كلما تناقصت دقة قياس الكمية الأخرى ففي فضاء فارغ لا يمكن تحديد الحقل صفرا بدقة لأنه تكون له قيمة صفر ومعدل تغير صفر، و هذا مخالف لمبدأ عدم التأكد إذاً لابد أن تكون هناك جسيمات أولية في الفضاء تظهر تارة وتختفي تارة وهي حينما تفعل ذلك فهي تظهر على هيئة زوجا من الجسيمات أحدهما الجسيم والآخر نقيضه ولا يلبثان طويلا بل يفني كل منهما الآخر ثانيا (من هنا ظهرت فكرة طاقة الصفر حاول البحث عن أعمال وحياة العالم نيكول تسلى).

ولا يمكن رؤية هذه الجسيمات أو اكتشافها بالكشافّات لان تأثيراتها غير مباشرة ويتذبأ مبدأ الارتياب بوجود أزواج أفتراضية متشابهة من جسيمات المادة بحيث يكون أحد الزوجين من المادة والأخر من المادة المضادة وتخيل هذه الجسيمات على حدود الثقب الأسود أي على حدود أفق الحدث من الممكن جدا أن يسقط الجسم الافتراضي الذي يحمل الطاقة السالبة وينجو الجسم ذو الطاقة الموجبة بالنسبة لراصد من بعيد يبدو وكان الجسيم صادر عن الثقب الأسود ومع دفق الطاقة السالبة إلى داخل الثقب الأسود سوف تنخفض كتلة الثقب الأسود ولفقد الثقب الأسود لبعض كتلته

تتضاءل مساحة أفق حدثه فكلما صغرت كتلة الثقب الأسود أرتفعت درجة الحرارة ومع ارتفاع درجة الحرارة يزداد معدل بثه الإشعاع فيتسارع نقصان كتلة أكثر فأكثر ولكن لا أحد يعلم ماذا يحدث للثقب الأسود إذا تقلصت أو انكمشت كتلته إلى درجه كبيرة ولكن الاعتقاد الأقرب أنه سوف ينتهي إلى انفجار نهائي هائل من الإشعاع يعادل انفجار ملايين من القنابل الهيدورجينية فالثقب الأسود الأولى ذو الكتلة البدائية من ألف مليون طن يكون عمره مقاربا لعمر الكون أما الثقوب السوداء البدائية ذات الكتلة دون هذه الارقام فتكون قد تبخرت كليا. وتلك التي لها كتله أكبر بقليل تستمر في بث إشعاعات على شكل أشعة سينية أشعة غاما وهذه الإشعاعات من سينيه وغاما تشبه الموجات الضوئية ولكن بطول موجي أقصر وتكاد هذه الثقوب لا تستحق صفة سوداء فهي حارة في الواقع إلى درجة (الاحمرار- أبيض) وتبث طاقة بمعدل يقارب عشرة آلاف ميغا الواط.

اشعاع هوكينج

طبق ستيفن هوكينج نظريات الترموديناميكا والنظرية النسبية العامة وميكانيكا الكم وتوصل إلى أن الثقب الأسود يمكن أن يصدر أشعة وافترض حدوث أزدتاج زوجي عند أفق الحدث للثقب الأسود ينتج عنه إشعاع سمي "إشعاع هوكينج" كما أستطاع استنتاج أن كتلة الثقب الأسود تتبخر مع الوقت وقدر عمر تبخر الثقب الأسود بنحو ٦٧١٠ سنة.

رصد الثقب الأسود

قد نفتش عن أشعة غاما التي تبثها الثقوب السوداء الأولية طوال حياتها مع إن إشعاعات معظمها سوف تكون ضعيفة بسبب بعدها عنا بعدا كبيرا ولكن اكتشافها من الممكن ومن خلال النظر إلي خلفية أشعة غاما لا نجد أي دليل على ثقوب سوداء أولية ولكنها تفيد بأنه لا يمكن تواجد أكثر من ٣٠٠ منها في كل سنه ضوئية مكعبة من الكون فلو كان تواجدها مثلا أكثر بمليون مرة من هذا العدد فإن أقرب ثقب أسود إلينا يبعد ألف مليون كيلومتر وكي نشاهد ثقبا أسودا أوليا علينا أن نكشف عدة كمات من أشعة غاما صادرة في اتجاه واحد خلال مدى معقول من الزمن كأسبوع مثلا ولكن نحتاج إلى جهاز استشعار كبير لأشعة غاما وأيضا يجب أن يكون في الفضاء الخارجي لأن الغلاف الجوي للأرض يمتص قدرا كبيرا من أشعة غاما الآتية من خارج الأرض إن أكبر مكشاف أشعة غاما يمكنه التقاطها وتحديد نقطة الثقوب السوداء موجود لدينا هو الطبقة الهوائية للأرض بكاملها فعندما يصطدم كم عالي من الطاقة من أشعة غاما بذرات جو الأرض يئولد أزواجا من الآلكترونات والبوزيترونات (نقيض الإلكترون) ونحصل على وابل من الإلكترونات السريعة التي تشع ضوءاً يدعى أشعاع شيرنكوف إن فكرة إشعاع الثقوب السوداء هي من أمثلة التنبؤ الفيزيائي المبني على النظريتين الكبيرتين المكتشفتان في هذا القرن : النظرية النسبية العامة وميكانيكا الكم وهذه أول إشارة إلى أن ميكانيكا الكم قادرة على حل بعض التفردات الثقالية التي تنبأت بها النسبية العامة وعلى الرغم من عدم تمكننا من رؤية أو تصوير الثقوب السوداء فهناك سبل لمعرفة مكانها. وقد استطاع العلماء الالمان في السنوات القليلة الماضية اكتشاف حقيقة تواجد أحد تلك الثقوب السوداء في مركز المجرة بالطبع لم يروه رؤية مباشرة ولكنهم دئبوا على مراقبة حركة نجم كبير قريب من مركز المجرة لمدة سنوات عديدة، ويدور هذا النجم في مدار حول مركز خفي.وعلى أساس معرفة كتلة النجم ونصف قطر فلكه استطاع العلماء استنتاج وجود الثقب الأسود في مجرتنا وحساب كتلته التي تبلغ نحو ٢ مليون ضعف لكتلة الشمس.

الثقوب السوداء والنظريات الفيزيائية

من المعروف أن قوانين الفيزياء مبنية على النظريات وعلى هذا الأساس بما أنه توجد أجسام تسمى ثقوب سوداء يمكن للأشياء السقوط فيها بلا عودة فإنه يجب أن تكون هناك أجسام تخرج منها الأشياء تسمى الثقوب البيضاء ومن هنا يمكن للمرء افتراض إمكانية القفز في ثقب أسود في مكان ما ليخرج من ثقب أبيض في مكان آخر فهذا النوع من السفر الفضائي ممكن نظريا فهناك حلول لنظرية النسبية العامة يمكن فيها السقوط في ثقب أسود ومن ثم الخروج من ثقب أبيض أيضا لكن الأعمال التالية بينت أن هذه الحلول جميعها غير مستقرة : فالاضطراب الضئيل قد يدمر أخدود الدودة أو المعبر الذي يصل بين الثقب الأسود والثقب الأبيض (أو بين كوننا وكون موازي له)، إن كل هذا الكلام الذي ذكر يستند إلى حسابات باستخدام النظرية النسبية العامة لآينشتاين وتعتبر هذه الحسابات تقريبية وغير صحيحة تماما لأنها لا تاخذ مبدأ عدم التأكد في الحسبان اعتبر في الماضي أن الثقب الأسود لا يفقد مادة فهو لا يسمح حتى للضوء بمغادرته ولكن أعاد ستيفن هوكنغ التفكير ويميل إلى أن بعض الجسيمات يمكنها الانطلاق منه ولو أفترضنا أنه كانت هنالك مركبة فضاء قفزت إلى هذا الثقب ماذا يحدث؟ فيقول ستيفن هوكنغ بناءً على عمل أخير له إن المركبة سوف تذهب إلى كون (طفل) صغير خاص بها كون صغير مكتف ذاتيا يتفرع عن منطقتنا من الكون (الكون الطفل يمكن توضيحه وذلك بأن تتخيل كمية من الزيت في حوض ماء وهي متجمعة حرك هذه الكمية بقلم سوف تنفصل كرة صغيرة من الزيت عن الكرة الكبيرة هذه الكرة الصغيرة هي الكون الطفل والكرة الكبيرة هي عبارة عن كوننا ولاحظ أن الكرة الصغيرة قد ترجع وتتصل مع الكرة الكبيرة) وقد يعود هذا الكون الطفل إلى الانضمام ثانية إلى منطقتنا من عالم الزمكان فأن فعل سيبدو لنا كثقب أسود آخر قد تشكل ثم تبخر والجسيمات التي سقطت في ثقب أسود تبدو كجسيمات مشعة من ثقب آخر ويبدو هذا وكأنه المطلوب للسماح بالسفر الفضائي عبر الثقوب السوداء لكن هناك عيوب في هذا المخطط لهذا السفر الكوني أولها أنك لن تستطيع تحديد مكان توجهك أي لا تعلم إلى أين سوف تذهب وأيضا الأكوان الطفلة التي تأخذ الجسيمات التي وقعت في الثقب الأسود تحصل فيما يدعى بالزمن التخيلي يصل رجل الفضاء الذي سقط في الثقب الأسود إلى نهاية بغيضة مؤلمة فهو يستطيل مثل "المعكرونة الاسباجتي" ثم يتمزق بسبب الفرق بين القوى المطبقة على رأسه وقدميه حتى الجسيمات التي يتكون منها جسمه سوف تنسحق تواريخها في الزمن الحقيقي وستنتهي في متفرد ثقالي. ولكن تواريخها في الزمن التخيلي سوف تستمر حيث تعبر إلى كون طفل ثم تعود للظهور كجسيمات يشعها ثقب أبيض، إن على من يسقط في ثقب أسود أن يتخذ الشعار : (فكر تخيليا). وما نعنيه هو إن الذهاب عبر ثقب أسود ليس مرشحا ليكون طريقة مرضية وموثوق بها للسفر الكوني لأنها ما زالت

في طور الفلسفة النظرية ولربما نتمكن بعد سنوات من الدراسات من دخول الثقب الأسود فبعض العلماء قالو ان الثقب الأسود بوابة لمجرة بعيدة أو عالم آخر.

اختبار مباشر للتسارع الكوني

هناك إجماع سائد بين علماء الكون على أن الكون يتسارع لكن هذا الأمر مستنتج من نموذج التاريخ التوسع الكوني والافتراض غير المثبت حول تماثل الكون يمكن أن تقدم عمليات المسح التلسكوبية الراديو ية القادمة رصداً مباشراً للتسارع وذلك من خلال تعقب التغيرات الحاصلة في سرعة سحب الهيدروجين بين المجرية وفقاً لبحث منشور في مجلة "Physical Review Letters" .

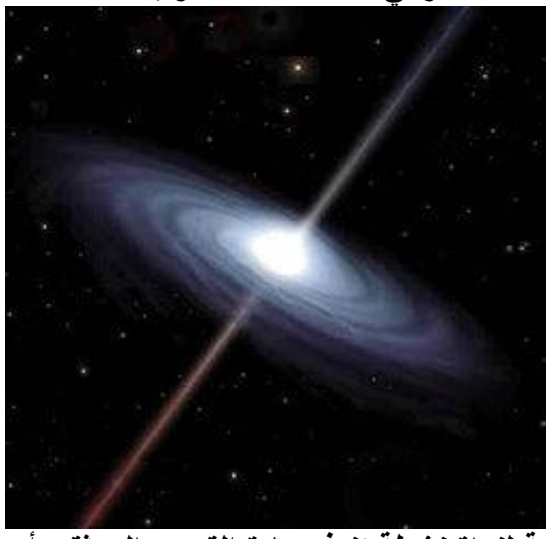
وضح المؤلفون وجود بضع تعديلات على مجموعة البيانات اللازمة من أجل إنجاز قياس دقيق جداً للتسارع الكون ينبع الدعم الأساسي للتسارع الكوني من بيانات السوبر نوفا في العام ١٩٨٩ اكتشف الفلكيون أن نوعاً محدداً من السوبر وفات يكون أكثر خفوتاً – وبالتالي أكثر بعداً عنا من المتوقع نتيجة لذلك الأمر هي أن الكون يتسارع بدلاً من تباطئه كما تتنبأ بذلك التفاعلات الثقالية على أية حال يفترض هذا الاستنتاج صحة نظرية اينشتاين في النسبية العامة وأن الكون متجانس وذلك من أجل اشتقاق المعادلات التي تربط المسافة بالسرعة والسطوع درس Hao-Ran Yu وزملاءه من جامعة بكين في الصين احتمالية استخدام سحب الهيدروجين الكثيفة من أجل قياس التسارع بشكل مباشر اكتشفت هذه السحب التي تحتل المحيط الموجود بين المجرات جراء قيامها بامتصاص الإصدار الراديوي القادم من كوازار موجود في الخلفية يمكن للفلكيين أن يقوموا بقياس سرعة واحدة من بين هذه السحب عن طريق رصد انحراف أو انزياح نحو الأحمر(redshift) ، لخط امتصاص الهيدروجين الموجود عند الطول الموجي ٢١ سنتمتر من الممكن رصد التغيرات الصغيرة جداً في السرعة لأن الخط ٢١-سنتمتر خطٌ ضيق مقارنة مع الخطوط الإصدارية لمجرة ماناقش Yuوآخرون أن عملية المسح الراديوية الواسعة للسماء ستقوم بقياس سرعة مئات آلاف سحب الهيدروجين إذا ما أظهرت هذه السحب بعض التكيفات مثل زيادة في دقة التردد بالتالي يمكن قياس التسارع الكوني المرتبط بها على مدار فترة تمتد لعقود وبقيمة تصل إلى ١ ميليمتر في الثانية الواحدة كل عام..

عدد الثقوب السوداء

ما هو عدد الثقوب السوداء الموجودة؟

هنالك الكثير جدا من الثقوب السوداء في الكون وبالتالي من المستحيل حصر عددها يشبه هذا السؤال التساؤل عن عدد حبيبات الرمل الموجودة على الشاطئ لحسن الحظ، الكون واسع جدا ولا وجود لثقوب سوداء قريبة منا إلى درجة تُشكل

فيها خطراً علينا تتشكل الثقوب السوداء نجمية الكتلة من النجوم فائقة الكتلة عند انتهاء حياتها على شكل انفجار سوبرنوفا تحتوي مجرة درب التبانة على ١٠٠ مليار نجم وهناك نجم فائق الكتلة بين كل ١٠٠٠ نجم متشكل وقد تصبح تلك النجوم ثقوباً سوداء لذلك يجب أن تكون مجرتنا مسكنا لحوالي ١٠٠ مليون ثقب أسود نجمي الكتلة ومعظم هذه الثقوب غير مرئي بالنسبة لنا ولم نستطيع تحديد إلا العشرات منها وأقربها إلينا يبعد حوالي ١٦٠٠ سنة ضوئية عن الأرض وفي المنطقة من الكون المرئية من الأرض يوجد تقريبا حوالي ١٠٠ مليار مجرة ويحتوي كل منها حوالي ١٠٠ مليون ثقب أسود نجمي الكتلة وفي مكان ما آخر هناك ثقوب سوداء نجمية الكتلة تولد في مستعرات فائقة كل ثانية الثقوب السوداء فائقة الكتلة أكبر بملايين إلى مليارات المرات من شمسنا وتوجد في مراكز المجرات وتعتبر معظم المجرات إن لم يكن جميعها موطناً لمثل هذه الثقوب السوداء لذلك في منطقتنا من الكون هناك ١٠٠ مليار ثقب أسود فائق الكتلة وأقرب هذه الثقوب فائقة الكتلة إلينا هو مركز مجرتنا درب التبانة الذي يبعد عنا حوالي ٢٨ الف سنة ضوئية .



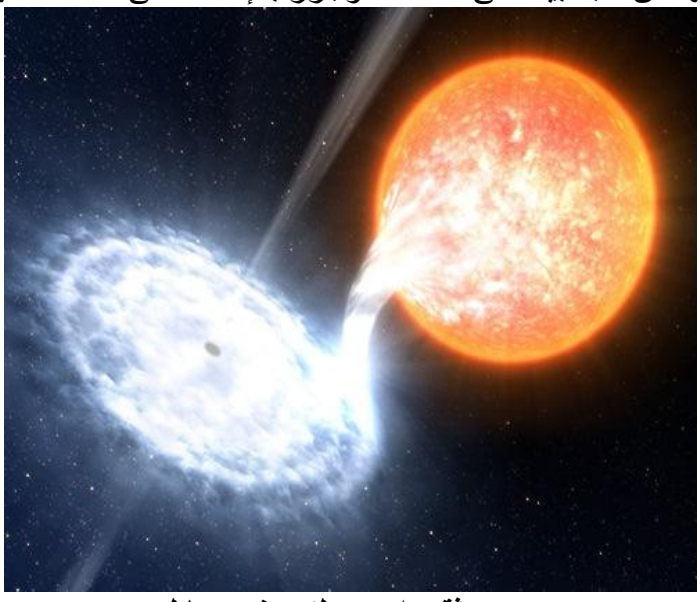
صورة تخيلية لنواة نشطة تندفع مادة القرص الى ثقب أسود في المركز

فكرة الزمن والمكان Spacetime Idea

لقد استعان اينشتاين في نظريته النسبية العامة بفكرة الزمن والمكان والتي تتعلق بارتباط الابعاد الأربعة (الطول والعرض والارتفاع والزمن) أي ثلاثة احداثيات مكانية واحداث زمني لتحديد الحدث و هذا الارتباط بين الزمن والمكان ضروري لفهم طبيعة الكون فالزمن يمكن اعتباره كبعد رابع ولكي يتم ذألك لابد ان

يكون الزمن عموديا على كل الابعاد الثلاثة الباقية (الطول والعرض والارتفاع) وتحدثنا أيضا النظرية النسبية العامة عن تحدب الزمن والمكان curvature واحدى نتائج تحدب الزمن والمكان هي انحراف ضوء النجم المار على حافة الشمس والذي يمكن قياسه اثناء حدوث الكسوف الكلي للشمس.

ويعتبر تحدب الزمن والمكان في نصف القطر التجاذبي (حد شفارز شايلد) للثقب الأسود محدودا ولكن هذا التحدب يزداد باطراد كلما اقتربنا من مركز الثقب الأسود singularity وهذا يعني ان المادة التي انهارت تضغط وتكبس الى ان تصبح كثافتها ما لانهاية في المركز وتصف نظرية النسبية العامة مركز الثقب الأسود بانه منطقة يختلط فيها الزمن والمكان وتخرق فيها كل النظريات الفيزيائية حيث توجد قوة لانهاية لها من الجاذبية على شكل مد وجزر بالإضافة الى المادة المنهارة.



ثقب اسود يلتهم نجم هائل

الثقب الدودي يطرح إمكانية السفر عبر الزمن (إذا كنت فوتوناً)

عند بوابة الثقب الدودي وقف فيزيائي وشاعر قال الشاعر مندهشا وفرحاً: "أريد الدخول إلى هذا الثقب والعودة بالزمن إلى الوراء" الفيزيائي بهدوءه الظاهري المعهود وصخب عالم أفكاره لم يحرك ساكناً وسأل: "لـماذا؟"

أجاب الشاعر لحظة مباشرته بالدخول "لم ينفعني ما كتبت من شعر في كسب هوى من أعشق أريد أن أصبح فيزيائياً أرغب في محبة الطبيعة."

أخبر الفيزيائي نفسه "جيد ما أروعهم الشعراء إنهم يقدمون تجارباً مجانية دوماً هل يريد حقاً أن يصبح فيزيائياً! مستحيل هذا الشاعر كغيره من الشعراء:

يرغب في العودة بالزمن إلى الوراء عله يحصل على فرصة جديدة مع من أحب لكن فكرة دخوله تبدو ممتازة " ربّما يكون الشعراء أول المغامرين فكرة السفر عبر الثقوب الدودية (wormholes) كانت عبارة عن مادة لتغذية الخيال العلمي منذ أن وضعها ألبرت اينشتاين لأول مرة في إطارها النظري عندما قام بصياغة نظريته في النسبية العامة لكن هل الثقوب الدودية موجودة في الطبيعة؟ في الحقيقة ليس لدينا أدنى فكرة عن وجودها أو عدمه ولكن إن كانت موجودة فالفيزيائيون النظريون يؤيدون إمكانية أن تلعب هذه الثقوب دور بوابات بين المستقبل والماضي أو أن تصل بين منطقتين بعيدتين من الفضاء.

لكن قبل أن تختلس النتائج الخاصة برياضتك المفضلة (إشارة إلى الكتاب الشهير Grays Sports Almanac الذي يتنبأ بنتائج المباريات الرياضية منذ العام ١٩٥٥ وحتى العام ٢٠٠٠) وأن تجهز نفسك من أجل القيام ببعض التلاعبات أو العمليات المؤذية فهناك تنبيه هام جدا بخصوص هذه الفكرة – الفوتون فقط هو من يمكنه السفر... و ربما يكون حتى الفوتون صغيراً جداً على أن يستطيع التمدد في النسيج الافتراضي للزمكان.

في ورقة تم نشرها ضمن المخدم العلمي arXiv (وقبلت للنشر في مجلة المراجعات الفيزيائية D)، قام الفيزيائي النظري Luke Butcher من جامعة كامبريدج بمراجعة نظرية الثقب الدودي من جديد فتوصل إلى احتمال وجود طريق يصل بين تلك الكيانات غير المستقرة في وقتٍ متأخر من ثمانينيات القرن الماضي خمن الفيزيائي Kip Throne، من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا (Caltech)، بأنه من الممكن صناعة ثقب دودي يسمح بالسفر عبره أي أنه يسمح لهذه الاختصارات في الزمكان بأن تصبح مستقرة بدرجة كافية من أجل أن يتم السفر عبرها –إذا ما وجدت الطاقة السلبية اللازمة لذلك أما في العالم الكمي فيمكن لهذه الطاقة السالبة أن تأتي على شكل طاقة كازيمير (Casimir energy).

من المعروف جيداً انه إذا تم تقريب صفيحتين ناعمتين من بعضهما البعض إلى درجة كبيرة في الفراغ ستؤدي التأثيرات الكمية بين الصفيحتين إلى محصلة قوة تنافر (أو تجاذب وذلك يعتمد على التشكيل الذي تؤلفه الصفيحتين) بين الصفيحتين ينتج هذا الأمر عن وجود أمواج من الطاقة تصبح كبيرة إلى درجة لا يمكنها معها أن تتواجد بين الصفيحتين الأمر الذي يؤدي إلى محصلة طاقة سلبية بين الصفائح عندما يتم مقارنة هذه الطاقة مع الفضاء "العادي" والمحيط بها وفقاً لـ Throne وفريق 'كالتك' يمكن تطبيق طاقة كازيمير هذه على عنق ثقب دودي وبالتالي المحافظة عليه مفتوحاً لفترة كافية من أجل أن يقوم شيء بالمرور عبره ولكن للأسف فنحن هنا نتكلم عن ثقوب دودية بأحجام كوانتية مما يعني بأن " DeLorean " سيارة Marty McFly السريعة إن انطلقت من موقفها سنة ١٩٨٥ فلا يمكن لها المرور و الانضغاط

عبر الثقب الدودي وحتى لو كان بإمكان مسافر بحجم كمي أن يمر عبر عنق الثقب الدودي، فمازال من المرجح أن ينهار الثقب الدودي بسرعة كبيرة حدد Butcher بعد إعادة تقييم هذا السيناريو بعض تشكيلات الثقوب الدودية الأكثر استقراراً كما يرجح أنه في بعض الحالات يمكن منع انهيار الثقب الدودي "لمدة محددة الطول" و من أجل حصول ذلك يجب أن يكون الثقب الدودي طويلا بشكل كاف وأن يمتلك حلقاً ضيقاً جداً وهكذا تُخلق الحالة التي يبدو أنه من الممكن لفوتون أن يقوم بالسفر عبر الثقب الدودي كتب Butcher في نفس الموضوع : ''تسمح طاقة كازيمير السلبية للثقب الدودي بالانهيار بشكلٍ بطيء جداً فحياته تطول دون أن ترتبط بمقدار زيادة طول حنجرته وجدنا أنه وعندما تكون الحنجرة قريبة من المنطقة المركزية يمكن عندها لنبضة من الضوء أن تنتقل بأمان عبر الثقب الدودي '' كما يعترف Butcher بأنه وعلى الرغم من أن حساباته لا توضح فيما إذا كان بإمكان النبضة الضوئية إكمال رحلتها من نهاية إلى أخرى عبر الثقب الدودي إلا أنه توجد احتمالية مذهلة تخبرنا بأنه يمكن إرسال الإشارات بسرعات تتجاوز سرعة الضوء أو حتى يمكننا العودة بالزمن إلى الوراء.

يضيف Butcher قائلا: ''تقترح النتائج وبشكل مؤقت أن الثقوب الدودية التي تسمح بسفر الأشياء الكبيرة عبرها يمكن ان تظل موجودة بالاعتماد على طاقة كازيمير الخاصة بها مما يقدم آلية تسمح بإجراء اتصالات عند سرعات تتجاوز سرعة الضوء والمنحنيات السببية المغلقة''اما حاليا فكل هذا لا يعدو عن كونه عملا نظريا إلى درجة كبيرة ولكن كما أشير سابقاً في مقال لـ Matt Visser من جامعة فكتوريا في موقع New Scientist فيمكن أن يجدد هذا البحث الاهتمام بدراسة الثقوب الدودية وقدراتها المتعلقة بالوصل بين نقاط نسيج الزمكان إذاً إن أردنا البحث عن أدلة فيزيائية عن الثقوب الدودية فهل يمكن لهذا البحث أن يساعدنا؟ أم يجب علينا البحث عن نوع ما من الاستقطاب في الضوء القادم من مكانٍ آخر من الكون أو من زمنٍ آخر والذي يظهر عشوائياً في الحجم الذي نحتله من الزمكان؟ من أجل الإجابة على هذه الأسئلة ومن أجل معرفة إن كان هذا سيؤدي إلى ابتكار نوع اتصالات أسرع من سرعة الضوء فمن المرجح أننا مضطرون إلى الانتظار حتى يقوم الفيزيائيون النظريون بتزويدنا بالمزيد من الأرقام.

نظام من الثقوب السوداء قوي جداً موجود في مجرة بعيدة

اكتشف فلكيون ثلاثة ثقوب سوداء فائقة الكتلة تدور قريبا حول بعضها البعض في مجرة تبعد عنا أكثر من ٤ مليار سنة ضوئية لم يسبق اكتشاف مثل هذا القرب الموجود بين الثقوب السوداء فائقة الكتلة ضمن هذا الثلاثي و هو مهم جداً طالما أن معظم المجرات تحتوي في مراكزها ثقباً أسوداً وحيداً فقط، حيث يمتلك هذا الثقب في

العادة كتلة تقع بين ١ مليون إلى ١٠ مليار ضعف كتلة الشمس يدل هذا الاكتشاف على أن مثل هذه الثقوب السوداء فائقة الكتلة والموجودة عند هذا القرب، أكثر شيوعاً في الكون مما اعتقدناه سابقا أجرى فريق بحث دولي يضم كلا من "هانس راينر " و"كلوكنير"، من معهد ماكس بلانك لعلم الفلك الراديوي في بون بألمانيا (مراقبات VLBI قياس التداخل الأساسي الطويل جداً) بوساطة تلسكوبات راديوية وبشكل متكرر وكل ذلك من أجل اكتشاف الثقبين الأسودين الداخليين والموجودين ضمن النظام الثلاثي تجمع تقنية VLBI الإشارات القادمة من هوائيات راديوية كبيرة ويفصل بينها مسافة تصل إلى ١٠٠٠٠ كيلومتر من أجل رؤية تفاصيل أكثر دقة بخمسين مرة من تلك التي يمكن الحصول عليها بوساطة تلسكوب هابل الفضائي في هذا المشروع أخذ تلسكوب جبل إيفيل الراديوي (١٠٠ متر) دوره في مراقبات شبكة VLBIالأوروبية(EVN) التي تغطي ترددين راديويين يعتقد أن المجرات تطور عبر عمليات الاندماج ويجب أن يقود هذا الأمر إلى ثقوب سوداء فائقة الكتلة ومتعددة في بعض تلك المجرات وعند وقت معين وجد المصدر الذي خضع للبحث في المسح السماوي الرقمي Sloan والمعروف اختصارا بـ SDSS ويتمتع هذا المصدر بالاسم الفهرسي .SDSS J1502+1115 إنه كوازار نواة مجرة نشطة وموجودة عند انزياح نحو الأحمر يبلغ z=0.39، و هذا يوافق مسافة تفوق أربعة مليارات سنة ضوئية تمّ تحديد نظام ثقوب سوداء ثلاثي في هذا المصدر مع وجود لاثنين من الثقوب السوداء قريبين من بعضهما البعض بشكلٍ كبير ويفصل بينهما مسافة تبلغ ٥٠٠ سنة ضوئية فقط.

يقول" روجر دين"، من جامعة كيب تاون في جنوب أفريقيا و هو المؤلف الرئيسي للورقة: ‘‘الأمر الذي يبقى استثنائياً بالنسبة لي هو قيام هذه الثقوب السوداء التي تمثل الحدود القصوى لنظرية اينشتاين في النسبية العامة بالدوران حول بعضها البعض بسرعة تبلغ ٣٠٠ ضعف سرعة الصوت على الأرض ليس هذا فقط لكن باستخدام الإشارات الإجمالية والقادمة من التلسكوبات الراديوية الموجودة في أربع قارات كنا قادرين على رصد هذا النظام الغريب الذي يقع على بعد يصل إلى ثلث عرض الكون يثيرني الأمر كثيراً خصوصاً مع تذكر أنه مجرد قشرة من سطح قائمة طويلة من الاكتشافات التي ستكون ممكنة بوجود الصفيفة الكيلومترية المربعة .’’من المهم جداً فهم مثل هذه الأنظمة للعديد من الأسباب فعند الحديث عن تطور المجرات، من المعروف أن الثقوب السوداء تؤثر على كيفية تطور المجرات وبالتالي فهم كيفية اندماج الثقوب السوداء مع بعضها البعض يعتبر أمراً جوهرياً في هذا العمل أكثر من ذلك الأنظمة التي تدور حول بعضها البعض عند هذه المسافة تعتبر مصدراً للأمواج الثقالية في الكون إذا ما كانت النسبية العامة صحيحة ستكون التلسكوبات المستقبلية مثل الصفيفة الكيلرومترة المربعة (SKA) قادرة على قياس الأمواج الثقالية الصادرة

عن مثل هذه الأنظمة خلال تقلص مداراتها عند هذه النقطة نعرف القليل جداً عن أنظمة الثقوب السوداء القريبة من بعضها البعض كثيراً والتي تقوم بإصدار أمواج ثقالية قابلة للرصد.

يقول" مات جارفيس "من جامعتي اكسفورد وكاب ويسترن'' لا يقترح هذا الاكتشاف فقط أن أنظمة الثقوب السوداء الثنائية شائعة الوجود أكثر بكثير مما اعتقدناه في السابق وإنما يتنبأ بأنه يمكن للتلسكوبات الراديوية مثل MeerKAT و شبكة VLBIالأفريقية أن تقوم بشكل مباشر بالمساعدة في الكشف عن إشارة الأمواج الثقالية وفهمها في المستقبل سيسمح SKAلنا بإيجاد ودراسة هذه الأنظمة بتفصيلٍ رائع وبالتالي يسمح لنا بالحصول على فهم أفضل بكثير لكيفية قيام الثقوب السوداء بنحت المجرات على طول تاريخ الكون.'' في الوقت الذي تعتبر فيه تقنية VLBIأساسية من أجل اكتشاف الثقبين الأسودين الداخليين (اللذين يعتبران في الواقع ثاني أقرب زوج من الثقوب السوداء فائقة الكتلة تم اكتشافه حتى الآن) برهن كل من "دين "والمؤلفين المساعدين على أن وجود انظمة الثقوب السوداء الثنائية يُمكن أن يكشف جراء وجود مميزات كبيرة جداً تترك الحركة المدارية للثقب الأسود بصمات في تدفقاته الكبيرة معطية إياها شكلها الحلزوني أو المشابه لذلك وعلى الرغم من إمكانية وجود الثقوب السوداء عند مسافات قريبة جداً من بعضها البعض بحيث لا يمكن لتلسكوباتنا أن تقوم بفصلها إلا أن تدفقاتها الإعصارية ربما تقدم وسيلة بسيطة تشير إليها وهذا الأمر مشابه لاستخدام شعلة ما من أجل تحديد موقعك في البحر ربما يقدم هذا الأمر طريقةً جديدة للتلسكوبات المستقبلية الحساسة مثل MeerKATو SKA من أجل إيجاد الثقوب السوداء بفعالية أكبر بكثير.

يستنتج" كلوكنير " من معهد ماكس بلانك لعلم الفلك الراديوي و هو مؤلف مساعد في الورقة: ''وجدنا الإبرة الأولى ضمن الكون متوسط العمر وأتمنى أن نقوم بإيجاد أنظمة من هذا النوع أكثر وأشد قرباً إلينا في المستقبل القريب لن تسمح لنا مثل هذه الأنظمة الثنائية القريبة برؤية كيفية نمو الثقوب السوداء فائقة الكتلة أو الطريقة التي تؤثر من خلالها على زمكاننا فقط وإنما ستساعدنا على فهم آلية عمل الداخلية والتفاعل بين التدفقات وبين قرص التراكم المحيط بالثقوب السوداء.'' يعتبر هذا الاكتشاف مثالاً أساسياً عن كيفية عمل علم الفلك الراديوي هذه الأيام فهو عبارة عن جهد وتعاون دولي ينتج عن الوصول إلى البيانات القادمة من منشآت متوزعة في كافة أرجاء العالم سيكون المستقبل مشرقاً بوجود SKA، أكبر تلسكوب راديوي في العالم وسيمكن الحصول على مثل هذه الاكتشافات ضمن أُطر تعاون دولي على أمل ان تقوم ألمانيا بإيجاد طريقة لدعم هذه المحاولة في المستقبل وتمكين العلماء والمهندسين من المشاركة في مشروع .SKA

ماذا يحدث عندما أسقط في ثقب أسود؟

دعنا نفترض أنك بدأت خارج أفق حدث ثقب أسود وأثناء نظرك إليه سوف ترى دائرة مظلمة ومثالية حول الثقب الأسود ستشاهد نجوماً مألوفة لديك في سماء الليل لكن هناك تشوه غريب في أنماطها بسبب انحناء ضوء النجوم البعيدة نتيجة لجاذبية الثقب الأسود مع سقوطك في اتجاه الثقب الأسود ستتحرك بشكل أسرع ثم أسرع وهذا التسارع في الحركة ناجم عن جاذبية الثقب الأسود تشعر قدماك بجاذبية أقوى من تلك التي يشعر بها رأسك لأنها أقرب إلى الثقب الأسود وكنتيجة لهذا يتمدد جسمك في اتجاه سقوطك نحو الثقب الأسود وبالنسبة للثقوب السوداء الصغيرة يكون هذا التمدد قويا بحيث أن جسمك يتمزق إربا قبل أن تصل إلى أفق حدث الثقب الأسود إذا سقطت في ثقب أسود فائق الكتلة سيبقى جسمك سليما حتى أثناء عبورك أفق حدث الثقب الأسود لكن بعد ذلك بوقت قصير ستصل إلى المتفرد المركزي وعندها ينكمش جسمك في نقطة مفردة بكثافة لا نهائية لتتحد مع الثقب الأسود لسوء الحظ لن يكون في استطاعتك مراسلة منزلك لأخبار العائلة عن التجربة التي تعيشها.

مجموعة من الأسئلة التي طرحت على الدكتور اريك كريستاين (Eric Christian)

اريك كريستين هو بروفسور في قسم الفيزياء في جامعة واشنطن في سانت لويس، ويعمل في مجال مختبرات الفيزياء الفلكية التجريبية ويشارك في العديد من الفرق العلمية ومهمات ناسا العلمية ومن أهم المهمات التي يعمل فيها هي مستكشف التركيب المتقدم(ACE) ، ومستكشف الحدود بين النجمية(IBEX) ، والمجس الشمسي (SPP)، ومرصد العلاقات الأرضية الشمسية(STEREO) ، و هذه المهمات جميعها تتبع لوكالة ناسا .

هل الأنفاق الدودية حقيقية في الفضاء أم أنها خيال علمي فقط؟

د. كريستاين: يسمح للأنفاق الدودية بالوجود في رياضيات النسبية العامة التي تعتبر أفضل وصف نملكه للكون وبافتراض صحة النسبية العامة من الممكن إذاً أن توجد الأنفاق الدودية لكن لا أحد يملك أي فكرة عن كيفية نشوئها ولا وجود لأي دليل على أي شيء يشابه النفق الدودي في الكون المرصود على أية حال يعمل العديد من الخبراء في حقل الجاذبية والنسبية العامة مع هذه الفكرة بما فيهم ستيفن هوكينغ وكيب ثورن ومن الكتب الجيدة التي تبحث في هذا الموضوع كتاب " Black holes and Timewarps, Einstein's Outrageous Legacy " لكيب ثورن .

لقد قرأت أن كيفية الاحتفاظ بالنفق الدودي مفتوحاً لا زال أمراً مجهولاً. وأخبرني العديد أنه بإمكان كميات كبيرة من الطاقة السلبية فتح نفق دودي والحفاظ عليه،

مما يجعل الانتقال بين-النجمي وبين الأبعاد أمراً ممكنا عبر هذه الثقوب الافتراضية. ما هو رأيك هنا؟

د. كريستاين: لا توجد طريقة معروفة لإنشاء هذه الكمية الهائلة من الطاقة السلبية ولا نعرف الآن كيفية إنشاء أو الاحتفاظ بنفق دودي.

كنت أبحث عن صورة لنفق دودي على موقعك توضح اتجاهات الحركة داخل النفق الدودي وخارجه بعد ذلك رأيت صورة لإعصار هل النفق الدودي ساكن في الفضاء أم أنه يشابه إعصار يقوم بالدوران؟

د. كريستاين: أول أمر علي ذكره هو أنه لا وجود لدليل أو إثبات علمي على وجود الأنفاق الدودية فهي مسموح بها في رياضيات النسبية العامة لكن لم ترصد تلك الأنفاق على الإطلاق لم يكتشف أي أحد كيفية نشوء نفق دودي وفيما لو كانت موجودة فعندها قد يوجد مواد تدور حول النفق الدودي من الخارج وقد تبدو مشابهة بطريقة أو بأخرى للإعصار.

فيما يتعلق بسؤال: "ماذا علينا أن نفعل كي نجعل من السفر عبر الزمن أمراً ممكنا؟"، فإن إعادتك هذه تعطي انطباعا أن الانتقال عبر الزمن سيكون ممكنا باستخدام نظرية النسبية العامة فقط على الرغم من أنني وخلال بحثي قمت بالمرور على العديد من النظريات الأخرى الملفتة للنظر على سبيل المثال، لقد وجدت أنه من الممكن استخدام النفق الدودي للسفر عبر الزمن طالما أن النفق الدودي قادر على الانتقال عبر الزمكان. ما هي بعض النظريات الأكثر حداثة والتي تتعلق بالسفر عبر الزمن؟

د. كريستاين: النسبية العامة هي النظرية الوحيدة حاليا القادرة على شرح كل شيء نعرفه عن الزمكان اكتشفت الأنفاق الدودية على أنها حل مسموح به في رياضيات النسبية العامة وليست نظرية منفصلة أبدا وفي الحقيقة أيضا لا تمثل الأنفاق الدودية وسائلاً للسفر بالزمن إلى الوراء. باختصار تخبرنا هذه الفكرة أن الأشياء البعيدة جداً عنا بإمكانها أن تصير أكثر قرباً الآن. ما الذي يجب فعله كي يكون السفر عبر الزمن ممكنا؟

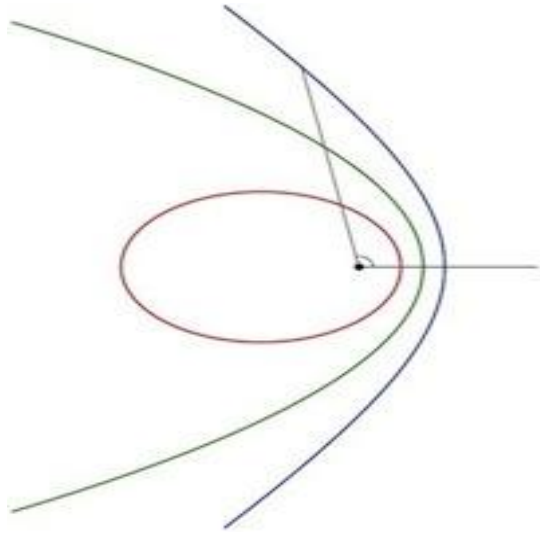
د. كريستاين: أول إجابة أفكر بها هي أنه على قوانين الفيزياء أن تتغير. وهذا لا يعني بالضرورة أن الكون سيتغير فهمنا للكون وقوانين الفيزياء التي نستخدمها غير كامل يبدو أن النسبية العامة تسمح ببعض المسارات في الزمكان والتي بدورها تعطي إمكانية السفر عبر الزمن لكن هذا الأمر يقع خلف إمكانية قدرتنا على فحصه ولذلك في الوقت الحالي لا نعرف أي طريقة للسفر عبر الزمن. هل هناك نظرية تقترح وجود جسيم يمكنه تجاوز سرعة الضوء؟ د. لويز باربير: افترض وجود جسيمات كهذه وتعرف بالتاخيونات ويمكن أن تتجاوز سرعة هذه الجسيمات الافتراضية سرعة الضوء.

هل يحتمل وجود سرعة أكبر من سرعة الضوء؟ إذا كان ذلك ممكنا، فهل يتضمن استخدام نظرية النفق الدودي؟

د. كريستاين: وجود سرعة أكبر من سرعة الضوء أمر مستحيل داخل النظريات الحالية التي نستخدمها للحصول على أفضل شرح للكون ولا يعني ذلك أن الأمر مستحيل تماما طالما أن فهمنا للكون محدود يتمنى العديد منا إيجاد بعض الطرق للتحايل على قوانين الفيزياء وفي الحقيقة لا يعتبر النفق الدودي وسيلة للمضي أسرع من الضوء (أو العودة للوراء أو الذهاب للأمام في الزمن) باختصار تخبرنا هذه الفكرة أن الأشياء البعيدة جداً عنا بإمكانها أن تصير أكثر قرباً الآن فلو تمكنت نملة من طي الورقة وصنع ثقب فيها لعبرت إلى النهاية بشكل أسرع بكثير مما هو عليه الأمر لو قامت بذلك مشيا على أقدامها وهذا ما يعنيه تماما النفق الدودي في الفضاء ثلاثي الأبعاد هل للضوء وزن؟ يعتقد نيوتن ذلك فقد دعم النظرية الجسيمية للضوء (corpuscular theory of light)، حيث اعتبره مكوناً من جسيمات صغيرة جداً لكن لها وزن محدود استنتج نيوتن أن مثل هذه الجسيمات ستتأثر بحقل الجاذبية إذاً وباستخدام قوانين الحركة نستطيع حساب مقدار حرف الجاذبية لشعاع ضوئي

المسارات المنحنية

إنها حقيقة مفاجئة تلك التي تقول أن حركة جسم ما حول جسم آخر فائق الكتلة كالشمس ستكون مستقلة عن كتلة الجسم و بالنظر إلى قوانين نيوتن ستكون تلك الحركة خاضعة للمعادلة التالية:



رسم توضيحي للمسارات الخاصة بالكويكب.

ma=GMmr 2

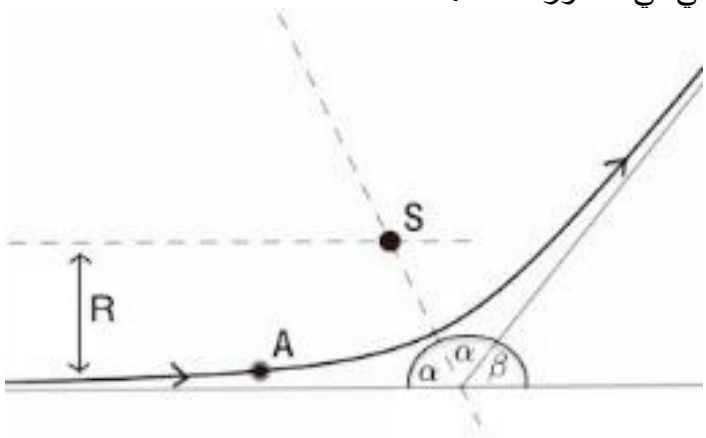
حيث m هي كتلة الجسم، وa قيمة التسارع، وM كتلة الشمس، وr المسافة (تُقاس هذه المسافة بين مركزي الشمس والجسم)، وG ثابت الجاذبية العام لذيوتن يمكننا اختصار الكتلة m من جانبي المعادلة ومن ثم لا تعتمد حركة الجسم على كتلته دعنا نبدأ بافتراض وجود كويكب يقترب من الشمس انطلاقاً من مسافة بعيدة جداً وبالاعتماد على قوانين نيوتن نستنتج أنه باستطاعتنا القول أنه إذا كانت الطاقة الحركية للكويكب صغيرة فإنه سيؤسر من قبل جاذبية الشمس وسيتحرك على مدارٍ إهليجي حولها ليعود دوماً إلى نقطة انطلق منها.

سنفترض أن هذا الكويكب يقترب من الشمس بطاقة عالية ولذلك سيخضع لمدارٍ على شكل قطع مكافئ ليعبر بالقرب من الشمس ولا يعود أبداً يتمتع هذا المدار بالمعادلة التالية:

x 2 a 2 −y 2 b 2 =1

حيث x وy الإحداثيات التي تشير إلى موقع الكويكب في المستوي الذي يحتوي مساره (المدار الذي يأخذ شكل قطع مكافئ) والشمس. الأعداد الحقيقية a وb تعرف بالمحورين الرئيسي والثانوي، وتُعرف هذه القيم شكل القطع المكافئ.

عندما يكون الكويكب بعيداً عن الشمس سيتحرك بسرعة V على طول المسار القريب جداً من المستقيم (الخط المقارب للقطع المكافئ) كما هو موضح على شكل خط أفقي في الصورة اعلاه.



مسار الكويكب أثناء عبوره بالشمس.

سنرمز إلى المسافات الأقصر بـ R أي البعد عن الخط الأفقي المار بالشمس. وستكون الطاقة الحركية للكويكب (لواحدة الكتلة) معطاة بالصيغة المألوفة التالية: E=12 V 2

كمية الحركة الزاوية هي كمية الحركة الخطية mV مضروبة بالمسافة العمودية عن الشمس R. وعندما يكون الكويكب موجود عند مسافة بعيدة عن الشمس ستكون القيمة L=RmV ، أو لواحدة الكتلة كالتالي: L=RV.

مع اقتراب الكويكب من الشمس ينحني مساره جراء الحقل الثقالي للشمس ويتغير كل من سرعته وكمية حركته لكن كمية حركته الزاوية تبقى محفوظة يمكن التعبير عن الكميات E وL بدلالة بارامترات هندسية والمحاور الرئيسية والثانوية a وb للمدار ذو الشكل القطع المكافئ:

$$L^2 = GMb^2 a$$

و

$$E = GM2a$$

يمكننا استخدام تلك التعابير لاستنتاج مقدار الانحراف في مسار الكويكب والناجم عن الشمس أي الزاوية (β) في الشكل في الأعلى وبالاعتماد على هندسة القطع المكافئ ستكون زاوية النصف (α) لمدار ذو الشكل القطع المكافئ معطاة بالعلاقة:

$$\tan\alpha = ba$$

يمكننا الآن أن نعيد ترتيب المعادلات ونجمعها معاً لنجد العلاقة التالية:

$$\tan\alpha = ba = RV^2 GM$$

ونجد أن زاوية الانحراف $\beta = \pi - 2\alpha$ ، ووصلنا إلى تلك القيمة بفضل المتطابقة المثلثية التالية $\tan(\pi/2 - \theta) = \cot(\theta) = 1/\tan(\theta)$

$$\tan(\beta 2) = 1\tan\alpha$$

ويمكننا كتابة العلاقة السابقة بالشكل التالي:

$$\tan(\beta 2) = ab = GMRV^2$$

نعرف أن (ظل) الزوايا الصغيرة مساوٍ تقريباً للزاوية نفسها ولأن (β2) صغيرة جداً يمكننا استبدالها بالظل ليكون لدينا

$$\beta = 2GMRV^2$$

الآن أصبح لدينا صيغة لانحراف الكويكب جراء قوة جاذبية الشمس.

لاحظ أن كتلة الكويكب لا تؤثر على مساره أبداً وزاوية الانحراف (β) هي نفسها بالنسبة لكل الأجسام التي تملك نفس قيم R وV حسناً إذا ما كان للضوء كتلة كما اعتقد نيوتن ولدينا V=c وهي سرعة الضوء يمكننا حينها أن نستخلص مقدار انحراف أشعة الضوء عن الشمس:

$$\beta = 2GMRc^2$$

وبافتراض أن شعاع الضوء يمر قريباً من الشمس يمكننا اعتبار أن R هي نصف قطر الشمس وباستخدام جملة الوحدات الدولية حيث: $G = 6.67 * 10^{-11}$

وكتلة الشمس $M=2*10^{30}$ ونصف قطرها $R=7*10^{8}$ وسرعة الضوء هي $c=3*10^{8}$ ، نجد أن:

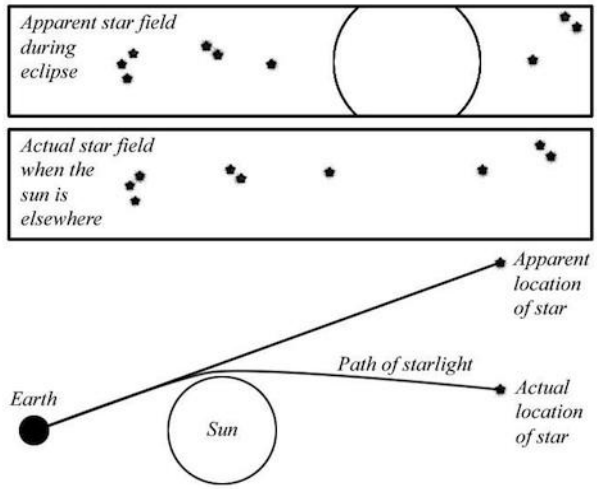
$$\beta \approx 0.423\times 10^{-5} \text{ radians} = 0.87 \text{ arc seconds}$$

ولذلك فإن نظرية نيوتن في الجاذبية تتنبأ أن مسار الضوء المار بالقرب من الشمس سينحني بزاوية تصل إلى ٠.٨٧ ثانية قوسية.

وضع الأمر تحت الاختبار

أكدت سلسلة من الأرصاد التي تم إجراؤها في مايو/أيار عام ١٩١٩ أن الضوء المار بالقرب من الشمس ينحرف جراء جاذبية الأخيرة ونتيجة لذلك يظهر نجم يكون قريباً من حافة الشمس أبعد بقليل في السماء عن الشمس مقارنةً مع الموقع الذي سيحتله لو كانت الشمس غير موجودة.

هذا المفعول قابل لرصد أثناء الكسوف الكلي إذ يقارن مصوري السماء الصور الخاصة بالمنطقة نفسها عندما كانت الشمس موجودة فيها و بين تلك عند الكسوف الكلي وبذلك يمكننا معرفة الاختلاف في الموقع الظاهري للنجوم.



المسار الفعلي للضوء القادم من نجم بعيد أثناء انحنائه جراء المرور بالقرب من الشمس.

اكتشف ألبرت اينشتاين النسبية العامة وتنبأت نظريتها أيضاً أن الشمس ستحرف مسار الضوء ووفقاً لذلك وعندما كانت نظريته غير مقبولة من قبل قطاع واسع فإن تشوه الزمكان جراء وجود الشمس فائقة الكتلة يُعطي زاوية انحراف هي:

$$\beta = 4GMRc^2 \approx 0.847 \times 10^{-5} \text{ radians} = 1.75 \text{arc seconds}$$

وهي ضعف قيمة الانحراف القادمة من قوانين نيوتن وعلى الرغم من كونها زاوية صغيرة إلا أنه كان بالإمكان قياسها بالتقنيات الموجودة في مجال علم الفلك في تلك الفترة وجهز المسرح لاختبار النظريتين.

مضت بعثتان من بريطانيا إحداهما إلى جزيرة براندسيب في افريقيا والأخرى إلى سوبرال في شمال البرازيل لرصد مسار الكسوف الكلي وصف السير ارثر ادنيغتون الذي كان موجوداً في البعثة السابقة، تلك المراقبات والاستنتاجات أعطت مراقبات جزيرة براندسيب قيمة للانحراف وصلت إلى ١.٦١ +/- ٠.٣ ثانية قوسية لتتوافق بشكل ممتاز مع تنبؤ اينشتاين وقدمت نتائج سوبرال تأكيداً أقوى.

لا يمكن التوفيق بين نتائج براندسيب وسوبرال وبين نظرية نيوتن وتبع ذلك ثورة علمية وقذفت تلك التجربة باينشتاين إلى عالم الشهرة ولا يزال منذ ذلك الوقت أيقونة العلوم "قد تتجسد الفكرة الأكثر أهمية في النسبية الخاصة في أن الزمن والمكان ليسا خلفية مقدسة وثابتة للكون وإنما أشياء قد تتغير من نقطة لأخرى ومن شخص لآخر.

أثناء العقود الأولى من القرن العشرين نشر موظف في مكتب براءات الاختراع ألبرت إينشتاين نظرية النسبية وغير وجه الفيزياء وعلم الفلك إلى الأبد.

من الممكن اعتبار نظرية الذسبية (Theory of relativity) أكثر التطورات نجاحاً في تاريخ العلم إذا ما أخذنا بالاعتبار توافقها مع النتائج التجريبية وقدرتها على التنبؤ بظواهر جديدة يمكن فقط لميكانيك الكم (Quantum mechanics) المنافسة على ذلك النجاح.

فسرت نظرية إينشتاين فور صدورها بعضاً من أهم المسائل في الفيزياء وعلم الفلك في تلك الحقبة واستمرت بشرح التطورات الجديدة التي لم تكن موجودة قبل ٩٠ عام، ويشمل ذلك: التأكيد على وجود الثقوب السوداء (Black holes)، والمراقبات الحالية الحاصلة في علم الفلك (Cosmology).

يتطلب قبول نظرية النسبية العامة من قبلنا رمي كل أفكارنا السابقة المتعلقة بالكون جانباً بالإضافة إلى معظم ما ندعوه "الحس الفطري". مثلاً إن المكان والزمن اللذين ربطهما الإنسان بكوكب الأرض يظهران كخلفية ثابتة وغير متغيرة تحصل داخلها كل أحداث الكون وهو أمر بعيد جداً عن الحقيقة يستطيع الفضاء الفارغ (الانكماش والتوسع والانحناء) ويعتمد الأمر على مدى قربك من جسم فائق الكتلة وعلى معدل تغير مرور الزمن أيضاً قد يتغير كل من المكان والزمن وفقاً للراصد فمثلاً ستظهر عقارب الساعة أصغر وتدق بسرعة أبطأ كلما تحركت الساعة بسرعة أكبر بالنسبة لك.

تطبيقات النسبية

نحتاج إلى النسبية العامة كلما قمنا بدراسة أجسام إما (أ) متحركة داخل حقل ثقالي قوي (Strong gravitational field)، أو (ب) بسرعة قريبة من سرعة الضوء إذا كان (ب) صحيحاً و(أ) لا يمكننا الاعتماد على نسخة أبسط من النظرية وتعرف بالنسبية الخاصة (Special relativity). تاريخياً طور إينشتاين هذه النظرية في البداية في حين أتت النظرية الأكثر شمولاً "النسبيّة العامة" (General relativity) في وقتٍ لاحـــق.

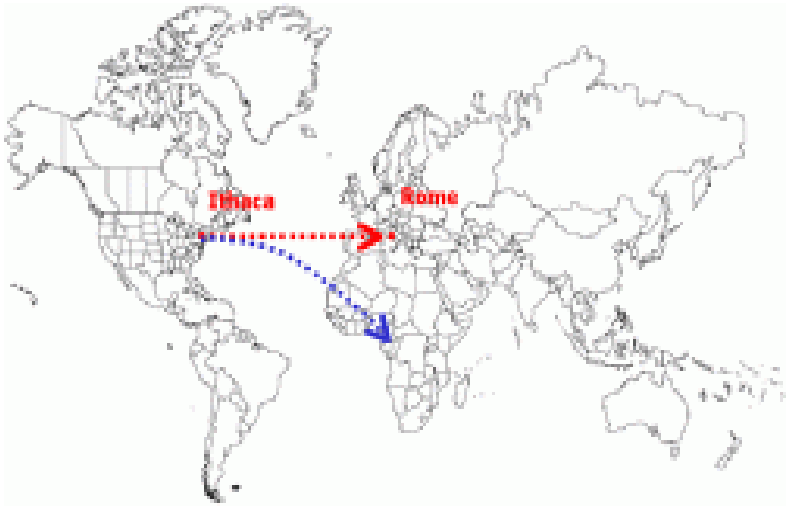
خلال الحياة اليومية على الأرض نجد أن كلا الحالتين (أ) و(ب) خاطئتان ولذلك ليس علينا القلق بخصوص النسبية على الإطلاق مع ذلك تستطيع تأثيراتها أن تبقى مهمة عندما تكون هناك حاجة إلى دقة عالية جداً فعلى سبيل المثال يتضمن أحد أهم تطبيقات النسبية نظام تحديد المواقع (GPS)، الذي لن يعمل على الإطلاق إذا لم نأخذ بالحسبان التأثيرات النسبية "إذا كنت من مستخدمي هذه التقنية فإنك استفدت مباشرة من نظرية النسبية لإينشتاين".

التحرك في حقل ثقالي قوي

يكمن أحد الجوانب المذهلة جداً في نظرية النسبية في قيامها وبشكلٍ كامل بتغيير طريقة فهمنا للجاذبية عرف العلماء خلال فترة طويلة من الزمن أن الجاذبية أمر استثنائي خذ مجموعة من القطع الخشبية الصغيرة والكبيرة وأسقطها من فوق طاولة ستجد أنها ستسقط جميعها بالسرعة نفسها وستصدم الأرض في نفس اللحظة قم بلصق قطعة معدنية بكل قطعة منها واجذبها باستخدام مغناطيس ستجد حينها أنها ستتحرك بسرعات مختلفة ومن ثم حاول سحبها باستخدام حبل ستكتشف أنه عليك ممارسة جهد أكبر كلما كانت الأجسام أكبر لماذا وجدت هذه الجاذبية؟ وهي لوحدها فقط قادرة على سحب كل شيء نحو الأرض وبنفس المعدل؟ أجاب إينشتاين عن هذا السؤال فوفقاً له الجاذبية ليست قوة تمارس على الأشياء وإنما هي عبارة عن انحناء في المكان والزمن (time Curvature of space and) ينتج عن وجود جسم فائق الكتلة بالجوار (مثل الأرض) عندما يقوم شيء ما بالتحرك ماراً بجسم ضخم سيظهر وكأنه يسحب نحوه لكن هذا الأمر غير ما يجري في الواقع ففي الحقيقة يقوم الجسم بالتحرك على طول نفس الخط المستقيم الذي كان يتحرك فوقه في الفضاء الفارغ لكن هذه الخطوط المستقيمة ستظهر الآن منحنية جراء قيام الجاذبية بحني استمرارية "الزمكان".

"المكان المنحني" تشبيه بسيط

إذا لم يكن النص في الأعلى منطقياً بالنسبة لك وهذا من غير المرجح! خذ بعين الاعتبار التشبيه التالي المتعلق بالمكان المنحني والذي تستعمله بشكلٍ أكبر: "إنه سطح الأرض!".



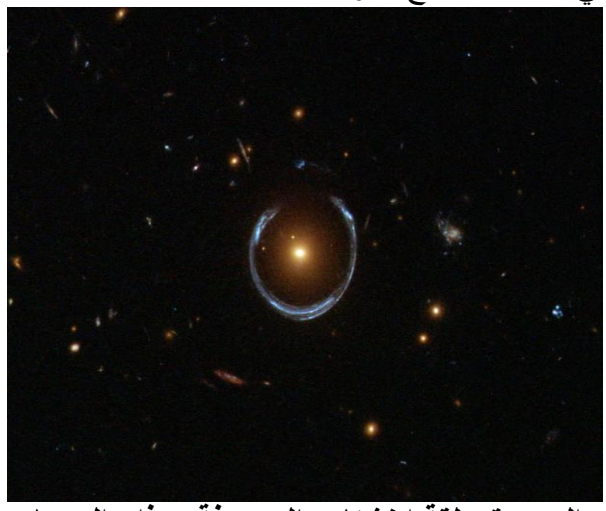
افترض أنك موجود في إيثاكا-نيويورك (موطن جامعة كورنل) وتريد السفر إلى روما-ايطاليا الواقعة شرق إيثاكا تقريباً وعلى بعد يصل إلى ربع الطريق حول العالم قد تعتقد بأن أفضل طريق للذهاب إلى هناك هو البدء بالتوجه شرقاً والمحافظة على الحركة بشكلٍ مستقيم حتى الوصول إلى روما كما هو موضح باللون الأحمر على الخريطة

إذا بدأت بالتوجه شرقاً واستمريت بالحركة المستقيمة سينتهي بك الأمر مسايراً للمسار الأزرق وستجد نفسك في مكان ما في غرب إفريقيا بالقرب من خط الاستواء! (إذا لم تصدق هذا الأمر حاول القيام بذلك مع كرة وجزء من شريط قم بمد الشريط بشكلٍ شديد بحيث يمكن إجباره على أن يكون مستقيماً وبعد ذلك وجهه من الشرق إلى الغرب على طول نيويورك، سيعبر الجزء المتبقي من الشريط إفريقيا وخط الاستواء كما هو الحال تماماً مع المسار الأزرق الموجود في الخريطة).

ماذا يجري هنا؟ لا شيء معقد في الحقيقة

كما نعرف سطح الأرض كروي لكن عندما تحاول تمثيله على خريطة ثنائية الأبعاد سيتسطح وفي عملية التسطح هذه تبين أن تتغير فبعض الخطوط التي تظهر مستقيمة (مثل الأزرق) هي في الواقع منحنية، في حين تبدو خطوط أخرى مستقيمة على الرغم من كونها في الواقع منحنية (المسار الأحمر في الخريطة).

وفقاً لآينشتاين يحصل الأمر نفسه بالقرب من الأجسام فائقة الكتلة لكن هذا الانحناء يصيب شيئاً رباعي الأبعاد (المكان الذي نعيش فيه، وبعد إضافي هو الزمن) بدلاً من كونه ثنائي الأبعاد كسطح الأرض.



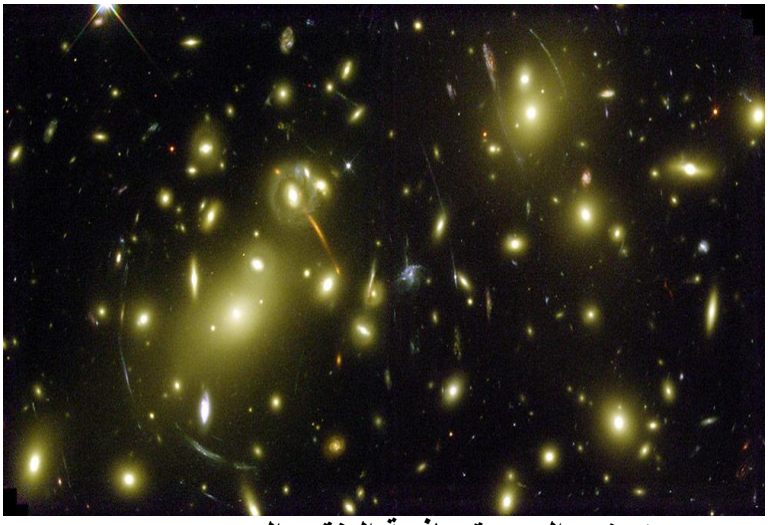
توضح الصورة حلقة اينشتاين المعروفة بحذاء الحصان

ينحني المكان والزمن بالقرب من جسم فائق الكتلة لكننا غير قادرين على قياس هذا الأمر مباشرةً بسبب محدودية رؤيتنا وقدرتنا على مشاهدة الأشياء الموجودة في الأبعاد الثلاثية فقط، وبالتالي تفترض عقولنا أن المكان مسطح وخلال عملية صناعة هذا الافتراض تتغير الأشياء ونتيجة لذلك تظهر الأشياء المتحركة على خطوط مستقيمة كأنها تتحرك على مسارات منحنية ويتم جذبها من قبل الجسم الضخم القريب وذلك وفقاً للخريطة التي وضعناها سابقا حالما يصير هذا المشهد مألوفاً بالنسبة لك ستصبح هذه الطريقة بالنظر إلى الجاذبية أمراً طبيعياً جداً! "هل سبق وشاهدت رواد فضاء في مدار حول الأرض؟ هل يظهرون وكأنه يتم جذبهم من قبل شيء ما؟

لا، لا يبدو ذلك إنهم يختبرون انعدام الوزن (Weightlessness)، وإذا لم ينظروا إلى خارج النافذة لمشاهدة الأرض تحتهم قد يستنتجون منطقياً أن سفينتهم تطفو في الفضاء الفارغ بعيداً عن جاذبية الأرض" وفقاً لإينشتاين هذا استنتاج منطقي جداً ومثالي لأن الحالتين متكافئتان! فسواء أكانت الحركة في الفضاء أو في مدار حول الأرض فإن رواد الفضاء يتحركون على نفس المسار المستقيم. في الحقيقة كنا سنختبر ظاهرة انعدام الوزن أيضاً لو لم تكن غائبة عن سطح الأرض وبفضل الجاذبية نستمر بالسقوط على مسارات مستقيمة نحو مركز الأرض ما نشعر به ليس الجاذبية وفقاً لإينشتاين وإنما ببساطة "دفع الأرض لأقدامنا".

تأثيرات الزمكان المنحني

يمتلك الزمكان المنحني المتنبأ به من قبل آينشتاين بعض العواقب المذهلة والكثير منها تم تأكيد صحته عبر الاختبارات التجريبية وربما تكون قدرة الجاذبية على "حني" الضوء عند مروره في مكان منحنٍ بالقرب من جسم فائق الكتلة واحدةً من أشهر تلك النتائج والتأثيرات. حيث رُصد هذا المفعول للمرة الأولى من قبل آرثر أدينغتون في العام ١٩١٩، الحدث الذي قفز بآينشتاين إلى العالمية.



توضح الصورة جاذبية العنقود المجري

الآن تعتبر النتائج الأصلية لأدينغتون مثيرة للجدل لكن أثبتت التكنولوجيا المتطورة صحة تنبؤات آينشتاين حيث أنه في السنوات الأخيرة لم يقم علماء الفلك بتأكيد قدرة الجاذبية على حني الضوء فقط وإنما اكتشفوا أدلة قوية جداً على وجود الثقوب السوداء -وهي أجسام تحني الضوء بشكل كبير إلى درجة لا يمكنه الإفلات منها. تجسد نجاح آخر لنظرية إينشتاين في إصلاحها لبعض المشاكل الخطيرة التي كانت موجودة في فهم علماء الفلك في أيامه لمدار عطارد "أقرب الكواكب إلى الشمس" حيث اعتقد بعض الناس بوجود كوكب آخر غير مرئي ويُؤثر على مدار عطارد لكن آينشتاين برهن على أن كل المشاكل تختفي في الحال حالما تُؤخذ نظرية النسبية بالحسبان.

هناك تأثيرات أخرى مهمة تتنبأ بها النسبية جراء "انحناء الزمن". يظهر هذا التأثير نفسه عبر التسبب في جعل الزمن يمر بشكل أبطأ بالقرب من الأجسام فائقة الكتلة (إذا ما قمت بالنظر إلى شخص وهو يسقط في الثقب الأسود ستشاهد أن الزمن قد توقف تماماً لديه وسيعاني من "التجمد" والتلاشي).يؤثر تباطؤ الزمن الناجم عن

الجاذبية على تردد الأمواج الضوئية، وبالتالي على ألوانها فمثلاً يصير الضوء أكثر زرقة عد اقترابه من جسم فائق الكتلة وأكثر حمرةً عند ابتعاده عنه رصد هذا المفعول للمرة الأولى في العام ١٩٦٠ من قبل روبرت باوند (Robert Pound) وغلن ريبكا (Glen Rebka)، اللذان أطلقا أشعة غاما على قمة مبنى ومن ثم قاسا التغير الحاصل في لونها كلما أصبحت أكثر بعداً عن الأرض.

خلال السنوات الأخيرة تعرضت نظرية النسبية لاختبارات جدية أثناء محاولة علماء الفلك فهم علم الكون وأصل البُنى الهائلة الموجودة فيه علماء الفلك مهتمون أيضاً بنتائج تجربة LIGO والكواشف الأخرى التي تحاول رصد الأمواج الثقالية (Gravitational waves) التي تنبأت بها نظرية النسبية، وقد يكون بإمكانها إعطاء طريقة جديدة بالكامل للنظر إلى الكون.

التحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء

نوقش سابقاً أكثر الجوانب أهمية في نظرية النسبية لكن الجزء الأول من النظرية (النسبية الخاصة) طور دون أخذ تعقيدات الجاذبية بعين الاعتبار في الحقيقة طور آينشتاين نظرية النسبية الخاصة استجابة لحل مسألة بسيطة واجهها فيزيائيو ذلك العصر تتطلب المسألة لحلها أن يكون لديك معرفة بالرياضيات أكثر بقليل مما هو موجود في المرحلة الثانوية لم تكن إسهامات آينشتاين الرياضية لامعة وقتها بل استعداده للأخذ بعين الاعتبار أفكار رماها معظم الناس واعتبروها سخيفة دون التفكير بها حتى.

ثبات سرعة الضوء

في القرن التاسع عشر فسر فيزيائيون قوانين الكهرومغناطيسية على أنها بحاجة إلى "جملة مرجعية مفضلة" وكونية أي جملة يتحرك داخلها الضوء وبشكل مشابه لما شعرت به عند مرور الرياح بك أثناء حركة السيارة بالنسبة للهواء اعتقد الفيزيائيون أن الأمر نفسه سيحصل مع الضوء الذي يتحرك بسرعة أكبر قليلاً (أو أقل قليلاً) ويعتمد الأمر على حركة الأرض عبر الفضاء بالنسبة للوسط غير المرئي الذي دعي حينها بالأثير (Ether) أو الوسط الذي يتحرك الضوء فيه في ثمانينات القرن التاسع عشر برهنت تجارب أجراها ألبرت ميكلسون وإدوارد مورلي على وجود شيء غريب فقد بدا لهما أن الأثير غير موجود على الإطلاق! أثناء حركة الأرض حول الشمس يتغير اتجاهها وبالتالي فإن سرعتها بالنسبة للأرض يجب أن تتغير أيضاً لكن عندما قام مورلي وميكلسون بقياس سرعة الضوء بشكل حذر جداً وباتجاهات مختلفة وعند أزمنة مختلة على مدار العام وجدا أن السرعة هي ذاتها دوماً كانت النتائج غريبة جداً في ذلك الوقت!

تخيل أنك تريد قياس سرعة شاحنة على طريق سريع أثناء قيادتك لسيارتك عليه ولكن في مسارٍ ثان ولنقل أن الشاحنة تتحرك بسرعة أكبر قليلاً من سرعتك لذلك ستشاهدها وهي تمر عبرك -ستبدأ بتجاوز عجلاتك الخلفية ومن ثم الباب الخلفي لكن فجأة تقرر أن تضغط المكابح وبدلاً من تغير الأمور تستمر الشاحنة بفعل الأمر ذاته لكن في هذه المرة مع بابك الأمامي تقوم الآن بزيادة سرعتك ومع ذلك لا تصبح الشاحنة خلفك بل تستمر في تجاوزك مروراً بعجلاتك الأمامية في النهاية توقف سيارتك بالكامل وتخرج لكن مع ذلك تستمر الشاحنة بتجاوزك.يبدو الأمر مشابهاً لتظليل الشاحنة لكل حركة من حركاتك لكنك بعد ذلك تقارن ملاحظاتك مع صديق كان يقود سيارة على مسارٍ ثالث -على الجانب الآخر من الشاحنة صديقك تعتقد أن الشاحنة كانت تظلل كل حركاتها على الرغم من أنها كانت تقود بسرعة مختلفة كلياً عن سرعتك فهي توقفت عند نفس اللحظة التي توقفت فيها وأبطأت عند نفس اللحظة وأسرعت عند نفس اللحظة! يبدو ذلك مستحيلاً؟ ربما لكن تجربة مورلي وميكلسون برهنت على أن هذا الأمر هو ما سيحصل تماماً لو أن الشاحنة تصرفت مثلما هي الحال مع أشعة الضوء.

حل آينشتاين البسيط

بحث الكثير من الفيزيائيين عن طرق معقدة لاستبعاد نتائج مورلي وميكلسون لكن آينشتاين قام بشيء مختلف تماماً ببساطة قبل تلك النتائج وتساءل عن العواقب المحتملة لو أن الضوء يتبع هذا السلوك الغريب حقاً.

أدرك آينشتاين أنه من أجل بقاء سرعة الضوء ثابتة عند النظر إليها من قبل كل الراصدين فإن الأشياء الأخرى التي طالما افترض الآخرون صحتها ستتغير فكلما تحرك شخصان بسرعة أكبر بالنسبة لبعضهما البعض كلما اختلفا أكثر حول الضوء (أو الشاحنة في المثال السابق) وزاد اعتقاد كل منهما بأن شيئاً ما حصل بشكل خاطئ مع الشخص الآخر برهن آينشتاين أن تلك الأشياء هي الزمن والطول - سيرصد كل شخص من الإثنين الشخص الآخر وقد انكمش طوله في اتجاه الحركة وساعته أصبحت تدق بشكلٍ أبطأ على الرغم من غرابة تلك النتائج إلا أنها لا تطرح أي تناقضات مع قوانين الفيزياء الأخرى. في الحقيقة، تقوم هذه النتائج بتعزيز فهمنا لها. "إذا قبلنا بصحة النسبية الخاصة تبين أن الكهرومغناطيسية لم تعد بحاجة إلى أي نوع من الجملة المرجعية المفضلة كي تعمل داخلها". وعوضاً عن ذلك تعمل الكهرومغناطيسية بشكل صحيح في أي إطار مرجعي تختاره -لا يُوجد أفضلية لجملة مرجعية على أخرى والسرعات التي تتحرك بها تلك الجمل المرجعية بالنسبة لبعضها البعض هي نسبية أي النقيض تماماً للمطلق.

بعد مراقبات آينشتاين البسيطة اكتسبنا الكثير من الرؤى الأقوى والأكثر عمقاً ومن أهمها تكافؤ الكتلة والطاقة (المعبر عنه في معادلة آينشتاين (E=M*C^2)، وأيضاً حقيقة أنه ليس بإمكان المعلومات التحرك بسرعة أكبر من سرعة الضوء تم تأكيد هذه الأفكار وأفكار أخرى في مسرعات الجسيمات (Particle accelerators) الموجودة في كافة أنحاء العالم بالإضافة إلى العديد من التجارب الأخرى قد تكون الفكرة الأكثر أهمية والقادمة من النسبية الخاصة هي أن الزمن والمكان ليسا خلفية مقدسة وثابتة للكون وإنما أشياء يمكن أن تتغير من نقطة لأخرى ومن شخصٍ لآخر إنها الرؤية التي عبدت الطريق أمام نظرية النسبية العامة وتفسيرها الجذري للجاذبية الأمر الذي لا زلنا نشعر بتداعياته حتى يومنا هذا.

الزمكان

اعادة لفكرة الزمكان نظرية اينشتاين النسبية كما ذكرنا تعوض النظرية الذسبية الخاصة عن إحداثيات المكان الثلاثة (x,y,z)بإحداثيات أربع من ضمنها احداثية للزمن فتكون احداثية نقطة في الزمكان (ct,x,y,z) حيث c سرعة الضوء والزمن t.

وتمثل المساحة العنصرية في الميكانيكا الكلاسيكية :

ds^2=dx^2+dy^2+dz^2

أما في الزمكان فتوصف نقطة فيه بالأربعة إحداثيات وتسمى "حدث" وتعرف المساحة العنصرية في الزمكان ب:

Ds^2 =c^2 dt^2- dx^2 –dy^2 – dz^2

أتاحت تلك الفكرة لآينشتاين لدراسة حركة الأجسام بسرعات مقاربة لسرعة الضوء وتبدو عندها ظواهر طبيعية غريبة إذ تشكل سرعة الضوء حدا أقصى لحركة الأجسام وانتقال الطاقة وانتشار الموجات الكهرومغناطيسية وترتبت عليها استنتاجات غريبة ذلك لأننا نعهد في حياتنا العادية سرعات أقل بكثير من سرعة الضوء.

اكتشاف السكون

تتأثر حركة الأجسام بما حولها وتسمى تلك المؤثرات الخارجية بالقوى ويهتم علم الحركة بدراسة تأثير تلك القوى على الأجسام فلنتخيل جسما لا يقع تحت تأثير قوى خارجية ولنتخذ مواقع مختلفة للمشاهدة فنجد أن مساره يتخذ أشكالا مختلفة تختلف باختلاف موقع المشاهدة ومع ذلك لا نذكر أن أفضل مكان للمشاهدة هو ذاك الذي يظهر منه الجسم كما لوكان في حالة سكون. يمكننا بذلك وصف حالة "السكون" وصفا جيدا لايعتمد على حركة الجسم بالنسبة إلى حركة الأجسام الأخرى فالجسم الذي لا تؤثر عليه قوى خارجية يكون في حالة سكون.

المختبر الساكن

نتخيل أن مجموعة من الأجسام الساكنة التي لا تؤثر عليها قوى خارجية بأنها قد كونت مختبرا نسميه " المختبر الساكن " ونبدأ في دراسة خواص الحركة فإذا قمنا بمشاهدة الحركة من مختبر آخر واتضح لنا اختلاف صفات الحركة فيه عن صفاتها من المختبر الساكن أمكننا إثبات أن المختبر الجديد يتحرك يتبين لنا أن الحركة في المختبرات الساكنة تتبع قوانين مغايرة للقوانين المشاهدة في مختبرات متحركة ويتبادر لنا أن مفهوم الحركة يفقد بذلك صفته "النسبية" فعندما نتكلم عن الحركة نقصد ببساطة الحركة بالنسبة إلى "السكون" ونسميها حركة مطلقة نركب الآن قطارا بسرعة منتظمة في خط مستقيم ونبدأ مشاهدة أجسام تتحرك داخله ونقارنها بحركتها المشاهدة في قطار ساكن نعرف من خبرتنا اليومية أنه لا يوجد اختلاف لحركة الأجسام داخل قطار متحرك بسرعة منتظمة وآخر متوقف فإذا قذفنا كرة إلى أعلى داخل القطار عادت الكرة لتسقط في أيدينا ولن يحدث أن تتخذ مسارا منحنيا فبصرف النظر عن الارتجاج البسيط في حركة القطار تكون حركة الأجسام داخل قطار يتحرك بسرعة منتظمة وفي خط مستقيم هي نفسها التي تحدث في قطار ثابت لا يتحرك ويحدث الاختلاف فقط عند تسريع القطار أو تهدئة سرعته ففي حالة تسريع القطار تنتابنا إرتجاجة إلى الخلف وفي حالة تهدئة سرعة القطار والكبح نندفع إلى الأمام وفي كلتا الحالتين نشعر بالفرق بالمقارنة بحالة السكون وإذا استمر القطار سائرا بحركة منتظمة ثم غير اتجاهه فجأه شعرنا بذلك : ففي المنحنيات إلى اليمين الحادة نندفع إلى اليسار وفي المنحنيات اليسارية نندفع نحو اليمين وبتعلم تلك المشاهد نصل إلى النتيجة التالية: لا يمكن اكتشاف أي اختلاف في سلوك جسم بمشاهدته من مختبرين يتحرك أحدهما "بالنسبة للآخر" بسرعة منتظمة وفي خط مستقيم ولكن بمجرد حدوث تغير في سرعة المختبر المتحرك سواء في مقدار السرعة (التسريع والكبح) أو تغير في الاتجاه (في المنحنيات) يؤثر هذا التغير في سلوك الأجسام الموجودة فيه.

ضاع السكون إلى الأبد

توجد خاصية غريبة لحركة المختبر الذي يتحرك بسرعة منتظمة وفي خط مستقيم تلك هي أن حركته هذه لا تؤثر على سلوك الأجسام الموجودة فيه الشيئ الذي يضطرنا لمراجعة مفهوم السكون فقد يبين لنا أنه لا يوجد فرق بين حالة السكون وأينما وجدنا مختبر يتحرك بانتظام وفي خط مستقيم " بالنسبة" لمختبر آخر ساكن أمكننا اعتبار ذلك المختبر أيضا مختبرا ساكنا و هذا معناه أنه لا توجد حالة فريدة للسكون المطلق وإنما توجد أعداد لا حصر لها من "حالات السكون" المختلفة وبالتالي لا يوجد مختبر واحد في حالة سكون وإنما توجد عدد لا حصر له من المختبرات الساكنة وهي تتحرك بالنسبة لبعضها البعض في خطوط مستقيمة وبسرعات منتظمة ومنها السريع ومنها البطيء.

يتضح من ذلك أن السكون "نسبي" وليس مطلق وأصبح لازماً علينا الإشارة دائما إلى المختبر الذي نجري منه المشاهدة والقياس عند دراستنا لعلم الحركة كذلك يتبين أن محاولتنا قد باءت بالفشل حتى الآن لإعطاء مدلول الحركة صفة مطلقة ولا يزال السؤال مطروحا : "إلى أي حالة من حالات "السكون " ننسب الحركة المشاهدة؟" بهذا نكون قد تعرضنا إلى أحد القوانين الطبيعية البالغة الأهمية والذي يسمى "بمبدأ نسبية الحركة" هذ المبدأ يقول : تتبع حركة الأجسام نفس القوانين في جميع المختبرات التي تتحرك بالنسبة لبعضها البعض في مسارات مستقيمة وبسرعة منتظمة.

قانون القصور الذاتي

نستنتج من مبدأ نسبية الحركة أن جسما لا يقع تحت تأثير قوى خارجية إما أن يكون في حالة سكون أو يكون في حالة حركة منتظمة وفي خط مستقيم ويعرف هذا الاستنتاج في علم الفيزياء بقانون القصور الذتي يلعب هذا القانون دورا هاما في حياتنا اليومية لا يتبادر للعين مباشرة وطبقا لهذا القانون يظل جسم متحرك بانتظام وفي خط مستقيم على حركته هذه بلا حدود طالما لا تؤثر عليه قوى خارجية ومع ذلك نشاهد في حياتنا اليومية أجساما تصل إلى الثبات كما لم تؤثر عليها قوى خارجية وتفسير ذلك أن جميع الأجسام التي نشاهدها تقع تحت تأثير قوى خفية تلك هي قوى الاحتكاك وانعزال الجسم التام عن القوى الخارجية هو الشرط الذي يكتسب به قانون القصور الذاتي فاعليته و هذا الشرط ليس متوفرا في حياتنا العادية فإذا استطعنا تحسين إمكانيتنا التجريبية بعزل قوى الاحتكاك شيئا فشيئا أمكننا الاقتراب من تلك الظروف المثالية ولتمكنا من إثبات أنطباق هذا القانون على حركة جميع الأجسام التي نشاهدها يعتبر اكتشاف مبدأ "نسبية الحركة" من أعظم الاكتشافات جميعا ولولاه لما تقدم علم الفيزياء وقد قام العالم الكبير جاليليو جاليلي باكتشافه و هو

الذي هاجم تعاليم أرسطو القديمة بعزم إذ كانت تعاليمه مسيطرة على العقول حتى العصور الوسطى وكانت الكنيسة الكاثوليكية معضدة لتعاليم أرسطو ورافضة لما أتى به جاليليو وكان من رأي أرسطو أن الحركة المنتظمة ممكنة فقط تحت تأثير قوة وبدونها تتوقف الحركة فأوضح جاليليو من خلال تجارب عديدة عكس ذلك وبين أن قوة الاحتكاك هي التي تؤدي إلى توقف حركة الأجسام وبزوال الاحتكاك تظل الأجسام على حركتها عى الدوام.

السرعة نسبية أيضا

من نتائج مبدأ النسبية حقيقة أن الحديث عن حركة منتظمة وفي خط مستقيم ليس له معني طالما لم نشر إلى المختبر الساكن الذي نقيس منه السرعة كما لا معنى لحديثنا عن مكان ما بتحديد خط الطول الجغرافي المار به دون ذكر دائرة العرض التي تتقاطع معه عنده نكتشف من ذلك أن السرعة مدلول "نسبي"، أي إذا قمنا بقياس سرعة جسم معين من عدة مختبرات ساكنة مختلفة حصلنا على نتائج مختلفة في حين أن أي تغير في الحركة - كالتسريع أو الكبح أو تغيير اتجاه الحركة يأخذ معنى مطلقا بصرف النظر عن المختبر الساكن الذي أجريت منه المشاهدة.

الضوء لا ينتشر آنيا

رأينا أن "مبدأ النسبية" ينطبق على الحركة أيضا وأنه توجد عدد لا حصر له من المختبرات في "حالة سكون" لا تختلف فيها قوانين الحركة والآن يبدو أن هناك نوع من الحركة يكون معارضا لهذا المبدأ تلك هي حركة الضوء فالضوء ينتشر في الفضاء بسرعة قدرها ٣٠٠.٠٠٠كيلومتر في الثانية فهو بذلك ليس آنيا ومن الصعب تصور مثل تلك السرعة لأن السرعات التي تواجهنا في حياتنا اليومية تقل عن ذلك بكثير فتبلغ سرعة صاروخ حديث متعدد المراحل ١٢ كيلومتر في الثانية فقط ومن بين الأجسام التي نعهد حركتها حركة الارض حول الشمس فهي تسير في مدارها بسرعة تصل إلى ٣٠ كيلومتر في الثانية والمدهش أن سرعة الضوء ثابتة دائما وبينما يمكننا تهدئة سرعة قذيفة بوضع حائل في طريقها فعند نفوذ القذيفة فيه تقل سرعتها وتواصل مسمارها بسرعة أقل ويختلف الحال تماما مع الضوء فبينما تعتمد سرعة القذيفة على نوع البندقية وعلى خصائص البارود نجد أن سرعة الضوء تظل ثابتة لجميع المصادر المصدر للضوء إذا وضعنا لوحا زجاجيا في مسار شعاع الضوء تقل سرعة الضوء داخل الزجاج وعند خروجه من الزجاج تعود سرعته إلى سرعته الأصلية التي تبلغ ٣٠٠.٠٠٠ كيلومتر في الثانية في الفراغ (أو الهواء). فللضوء خاصية هامة في الفراغ فلا يمكن تهدئة سرعته أو تسريعه فهو يختلف عن جميع الأجسام الأخرى وأي تغير يحدث لشعاع الضوء في حائل مادي يختفي بمجرد خروجه من الحائل ويواصل حركته بسرعته الأصلية.

سرعة الضوء في قطار

تبلغ سرعة الضوء في الفراغ ٣٠٠.٠٠٠ كيلومتر في الثانية وهي ثابتة لا تتغير سواء كان مصدرها متحركا أم لا وقد تسببت تلك السرعة الفائقة والمحدودة في نفس الوقت في إشكال مع مبدأ نسبية الحركة نتخيل قطارا يسير بسرعة عظيمة قدرها ٢٤٠٠٠٠ كيلومتر في الثانية. ونتصور أننا نحتل مقدمته بينما يوجد مصباح عند مؤخرته ونريد تعيين الزمن الذي يسنغرقه الضوء لقطع المسافة بين الطرفين.

يبدو أن هذا الزمن سيختلف عن الزمن المشاهد في قطار ساكن ففي حالة القطار المتحرك بسرعة ٢٤٠.٠٠٠ كيلومتر في الثانية نتوقع أن تصل سرعة الضوء إل ٣٠٠.٠٠٠ - ٢٤٠.٠٠٠ == ٦٠.٠٠٠ كيلومتر في الثانية فقط (في اتجاه حركة القطار). فتبدو المسألة كما لو كان الضوء يحاول اللحاق بمقدمة القطار بينما هي تحاول الابتعاد عنه. وإذا كان المصباح في مقدمة القطار وجلسنا نحن في آخره وأردنا قياس الزمن الذي يستغرقه الضوء للوصول إلى آخره توقعنا أن تبلغ سرعة الضوء في هذه الحالة ٣٠٠.٠٠٠ + ٢٤٠.٠٠٠ == ٥٤٠.٠٠٠ كيلومتر في الثانية (لأن الضوء ومؤخرة القطار يتحركان بإتجاه بعضهما). أي نتوقع أن يسير الضوء بسرعتين مختلفتين في الاتجاهين المتضادين داخل القطار المتحرك بينما تتساوى تلك السرعتان في القطار الساكن الذي لا يتحرك.

نجد في حالة القذيفة ظروفا مختلفة عن ذلك فإذا وجهنا قذيفة ونحن في قطار في اتجاه حركة القطار أو عكسه تظل سرعتها بالنسبة لحائطي المقدمة والمؤخرة متساوية وتكون متساوية كذلك لسرعتها في القطار الساكن وترجع تلك النتيجة إلى اعتماد سرعة القذيفة على حركة البندقية بينما لا تتأثر سرعة الضوء بسرعة المصدر كما ذكرنا من قبل.تبعث علينا تلك الأمثلة بالشعور أن سلوك الضوء يخالف مبدأ نسبية الحركة فبينما تتحرك القذيفة بالنسبة لمقدمة القطار ومؤخرته بنفس السرعة في القطار المتحرك والقطار الساكن تبدو كما لوكانت سرعة الضوء تصل إلى نحو ٥/١ سرعته في أحد الاتجاهات وتبلغ ٨ و١ منها في الاتتجاه المضاد وذلك بالمقارنة بسرعته في القطار الساكن.لو كان الحال كذلك لاستطعنا تعيين السرعة المطلقة للقطار عن طريق دراسة سرعة انتشار الضوء فيه ويبدو هنا أننا وجدنا بصيص من الأمل : فهل في الإمكان استخدام خواص الضوء لتعريف السكون المطلق؟

الأثير الكوني

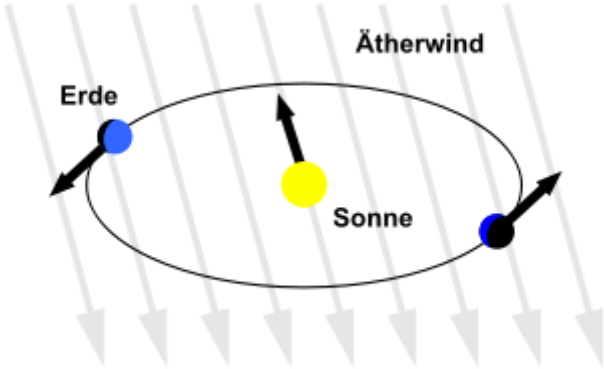
اعتقد الفيزيائيون في الماضي ان انتشار الضوء يسير مثل انتشار الصوت وافترضوا وجود وسط لانتشار الضوء وأسموه "الأثير" مثلما ينتشر الضوء في الهواء والماء وغيره كما افترضوا أن الأجسام لا تجرف معها هذا الأثير أثناء

حركتها كمثل قفص سلكي يتحرك في الهواء لا يزيح الهواء أمامه فإذا كان قطارنا في سكون بالنسبة للأثير توقعنا انتشار الضوء بنفس السرعة في جميع الاتجاهات كما نتوقع ظهور أي حركة للقطار خلال الأثير حيث ستختلف سرعة الضوء باختلاف اتجاه الانتشار ووجد العلماء أنفسهم أمام أسئلة مربكة بسبب افتراض هذا الأثير كوسط تظهر ذبذبته كالضوء وهو افتراض لا يستند على أساس متين فبينما لا نعتمد على انتشار الصوت فقط لدراسة خواص الهواء بل نعتمد أيضا على تجارب كيميائية وفيزيائية عديدة نجد أن هذا الأثير "المفترض" يسلك مسلكا غريبا في تجارب فيزيائية متعددة فهو لا يشارك إطلاقا وبينما يمكننا تعيين كثافة الهواء وضغطه بتجارب بسيطة فقد باءت جميع المحاولات لمعرفة شيء عن الأثير أو كثافته بالفشل وأصبحنا في موقف محير.

مما لا شك فيه أنه من الممكن تفسير بعض الظواهر الطبيعية بافتراض وسط خاص بالصفات المطلوبة ولكن استنباط نظرية سليمة لتفسير ظواهر طبيعية لا بد وأن تكون شاملة وتفسر العديد من الظواهر الطبيعية وليس لظاهرة بمفردها لأن النظرية تأتي بتفسيرات أوسع من الحقائق التي بنيت عليها وعلى سبيل المثال فقد عُرف مدلول الذرة في العلوم عن طريق علم الكيمياء وبدراستنا للذرات أمكن تفسير عدد كبير من الظواهر التي لا تنتمي إلى علم الكيمياء بل والتنبؤ ببعضها فاللجوء إلى الأثير لتفسير انتشار الضوء يماثل تفسير إنسان بدائي صوت الجرامافون بتصور أن عفريتا اتخذ من هذا الصندوق مسكنا.

حالة عويصة تنشأ!

أهم مشكلة تنشأ من مخالفة الضوء لمبدأ " نسبية الحركة " تكون حتمية مخالفة جميع الأجسام لهذا المبدأ ومن المعروف أن أي وسط مادي يقاوم حركة الأجسام فيه وبناء على ذلك كان لا بد ويصحب حركة الأجسام في الأثير احتكاك فتقل سرعة الجسم رويدا رويدا حتى يصل الجسم في النهاية إلى حالة سكون وفي الواقع تدور الأرض (طبقا للمعلومات الفلكية) حول الشمس منذ آلاف السنين وملايين السنين ولا توجد أي علامة تدل أن سرعتها تهدأ تحت تأثير احتكاك موجود. بذلك نكون قد وصلنا إلى طريق مسدود في محاولة تفسير المسلك الغريب للضوء بافتراض وجود "أثير" ؟ فافتراض الأثير لم ينه مشكلة حروج الضوء عن مبدأ النسبية وما يتبع ذلك من مشاكل بالنسبة لحركة الأجسام.



إذا اعتبرنا أن الضوء يتحرك عن طريق وسط "الأثير" فلا بد من أن إمكانية قياس فرق سرعة الضوء في اتجاهين متضادين بسبب حركة الأرض في الأثير

التجربة تفصل !

ماذا نستطيع عمله إزاء هذا الخلاف ؟

قبل أن تبدأ المناقشة نريد جذب الاهتمام إلى الحقائق التالية :

يستند الخلاف الذي اكتشفناه بين سلوك الضوء ومبدأ نسبية الحركة إلى سند واحد فقط. وصحيح أن استنتاجاتنا مقنعة في هذا الشأن لكن محاولة حصر تفكيرنا على هذا السند تماثل تصرف بعض الفلاسفة القدامى الذين حاولوا اكتشاف قوانين الطبيعة في رؤوسهم وإذا تصرفنا بتلك الطريقة لكان الخطر محتما أن يكون ما تخيلناه من كون متناسق لا يمت في الواقع إلى عالمنا الحقيقي الذي نعيش فيه والتجربة العملية هي الحكم الأول والأخير لإثبات صحة نظرية فيزيائية لهذا لا يجب أن نشغل أنفسنا أكثر من ذلك بمناقشة كيف سيكون انتقال الضوء في القطار المتحرك وعلينا الآن القيام بالتجارب فهي التي ستأتي بالإجابة الصحيحة.يعضدنا ونحن نقوم بإجراء التجارب أننا نعيش على كوكب له حركة معلومة غير أن الأرض في دورانها حول الشمس لا تسير في خط مستقيم ولا يمكن لذلك اعتبار ها "مختبرا ساكنا" فلو اعتبرنا الأرض في حالة سكون بالنسبة لمختبرنا في شهر يناير نجد أنها تصبح في حالة حركة بالنسبة له في شهر يوليو إذ أن حركة الأرض دائرية حول الشمس وعلى الرغم من ذلك ان أمكننا دراسة انتشارالضوء على الأرض فإنما ندرس أنتشاره في مختبر يتحرك بسرعة عظيمة قدرها ٣٠ كيلومتر في الثانية (يمكن اهمال سرعة الأرض حول محورها إذ أن تلك السرعة تبلغ نحو نصف كيلومتر في الثانية فقط) فهل يمكن تمثيل الكرة الأرضية بقطارنا المنطلق الذي وصل بنا إلى طريق مسدود؟ اشترط افتراضنا أن القطار يتحرك بسرعة منتظمة وفي خط مستقيم بينما تتحرك

الأرض في مسار دائري ومع ذلك يمكننا الأخذ بهذا التمثيل. فخلال ذلك الجزء من الثانية الذي يستغرقه الضوء داخل مختبرنا يمكننا اعتبار الأرض متحركة بسرعة منتظمة وفي خط مستقيم فالخطأ الناشيئ عن ذلك التقريب ضئيل ولا يمكن ملاحظته بما أننا نستطيع الآن مقارنة الأرض بالقطار يكون من الطبيعي أن يسلك الضوء على الأرض نفس سلوكه في القطار أي لتوقعنا انتشار الضوء بسرعات مختلفة في الاتجاهات المختلفة.

مبدأ النسبية ينتصر

أجرى "مايكلسون" تجربة عام ١٨٨١ وهو من أعظم علماء القرن التاسع عشر التجريبيين لتعيين سرعة الضوء في التجاهات السماوية المختلفة ولتعيين هذا الفرق البسيط جدا فيالمنتظر في سرعة الضوء وقد أظهر مايكلسون ذكاء حادا في ابتكاره جهازا دقيقا كان من الممكن به قياس فرقافي السرعة حتى ولوكان أقل من المتوقع ولكن التجربة أتت بنتيجة غير متوقعة فلم يجد مايكلسون أي تغير في سرعة الضوء في الاتجاهات المختلفة وأعيدت التجربة مرارا وتكرارا منذ ذلك الحين بوسائل تجريبية مختلفة فأيدت كلها تلك النتيجة الغريبة واتضح أن طريقة انتشار الضوء في مختبر متحرك تحتلف تماما عما كنا نتصوره وأوضح مايكلسون أن الضوء ينتشر على الأرض بنفس السرعة في جميع الاتجاهات أي أن الضوء يسلك نفس سلوك القذيفة فلا تعتمد سرعته على سرعة المختبر وهي متساوية لجميع حوائط المختبر بهذا تكون تجربة مايكلسون قد أتت بعكس ما كنا نتصورهه وبينت في نفس الوقت أن سلوك الضوء يتفق تماما مع " مبدأ نسبية الحركة " ولا يخالفها.

المشكلة تستفحل

بهذا تكون تجربة مايكلسون قد خلصتنا من أول خلاف بين قوانين انتشار الضوء ومبدأ نسبية الحركة. فقد اتضح أن هذا الخلاف ظاهري ولا بد أن يرجع إلى خطأ في الاستنتاج فأين يكمن هذا الخطا؟ شحذ العلماء عقولهم في جميع أقطاب الأرض على مدى ربع قرن منذ عام ١٨٨١ حتى عام ١٩٠٥ في محاولات للإجابة على هذا السؤال فكان كل اقتراح يتوصلوا إليه يؤدي إلى خلاف أعمق بين النظرية والتجربة العملية إذا ركب أحدنا قفصا سلكيا متحركا وكان به مصدرا للصوت شعر بهواء يحف به بسبب الحركة فإذا قام الراكب بقياس سرعة الصوت في القفص وجدها في اتجاه الحركة أقل منها في الاتجاه العكسي فإذا نقلنا مصدر الصوت إلى عربة قطار مغلق وقسنا فيه سرعة الصوت نجد أنها متساوية في جميع الاتجاهات وذلك بسبب مزاملة الهواء لحركة عربة القطار فإذا انتقلنا الآن من الصوت إلى الضوء فقد يصبح في الإمكان تفسير نتيجة مايكلسون كالآتي:

نفرض أن الأرض تجرف الأثير معها أثناء حركتها في الفضاء بحيث يلازمها فنتوقع أن تسلك الأرض مسلكا مخالفا لمسلك القفص السلكي بالنسبة لانتشار الصوت وبذلك تضيع الصعوبة في فهم تجربة مايكلسون لسوء الحظ يخالف هذا التفسير عدد كبير من التجارب العملية مثل التجارب الخاصة بدراسة انتشار الضوء في الماء الجاري فلو صح أن الأثير يصحب حركة المادة لتوقعنا أن تكون سرعة الضوء في اتجاه سريان الماء مساوية لسرعته في الماء الساكن مضافا إليها سرعة الماء ولكن بعملية قياس بسيطة نجد أدنا نحصل على سرعة أقل مما توقعناه بذلك باءت جميع المحاولات التي تستند إلى وجود "أثير" لتفسير النتيجة المفاجئة لتجربة ميكلسون ومورلي بالفشل والنتيجة أن تجربة ميكلسون وورلي لا تؤيد فقط خضوع الأجسام لمبدأ النسبية بل تؤيد أيضا خضوع الضوء له أو بتعبير آخر خضوع جميع الظواهر الطبيعية "لمبدأ نسبية الحركة" وكما رأينا من قبل أدى مبدأ نسبية الحركة مباشرة إلى " نسبية السرعة" : فالسرعة تختلف مشاهدتها من مختبر إلى مختبر تكون متحركة بالنسبة لبعضها البعض. ورأينا الآن أن سرعة الضوء متساوية في جميع المختبرات وتبلغ ٣٠٠.٠٠٠كيلومتر في الثانية ولهذا فهذه السرعة ليست نسبية وإنما هي سرعة مطلقة.

الزمن يفصح عن نسبيته

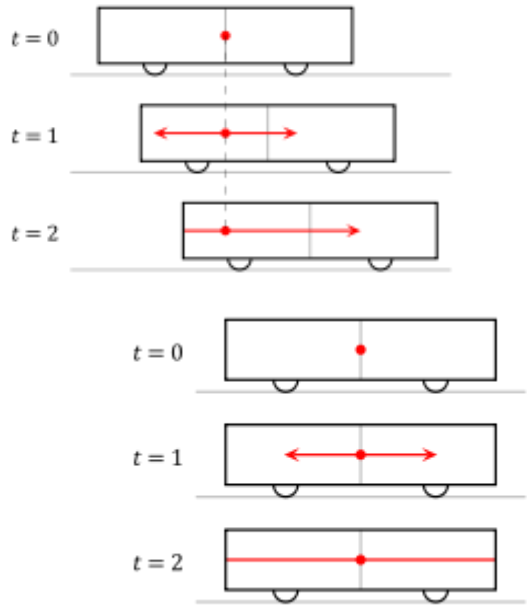
يبدو من الموهلة الأولى أدنا نواجه خلافا منطقيا فتساوي سرعة الضوء في جميع الاتجاهات يتفق مع مبدأ نسبية الحركة ومع ذلك نقول أنها سرعة مطلقة أي تتساوي في جميع المختبرات التي تتحرك بالنسبة لبعضها البعض ولكن لا يوجد تعارض فأحيانا يميل المرء إلى اخذ شيء لى أنه مطلقا بسبب محدوية معرفته وقد يكون هذا الشيئ نسبي في حقيقة الامر خطأ لا بد أن نرتكز مستقبلا على الخبرة العملية المكتسبة.

لنقم برحلة بالقطار:

نتصور أننا نركب قطارا طوله ٥.٤٠٠.٠٠٠ كيلومتر يتحرك في مسار مستقيم بسرعة منتظمة قدرها ٢٤٠.٠٠٠ كليومتر في الثانية ونفترض وجود مصباح في منتصف القطار يضاء في لحظة معينة ونفرض وجود بابين آليين أحدهما في مقدمة القطار والآخر بعربة المؤخرة ينفتحان بمجرد سقوط الضوء عليهما فماذا يرى راكب القطار وماذا يرى الواقفون على رصيف المحطة ؟سيرى الجالس في منتصف القطار الآتي : طبقا لتجربة ميكلسون ينتشر الضوء في جميع الاتجاهات داخل القطار بنفس السرعة أي بسرعة ٣٠٠.٠٠٠ كيلومتر في الثانية فيصل إلى عربة المقدمة وعربة المؤخرة في نفس الوقت مستغرقا زمنا قدره : ٢.٧٠٠.٠٠٠÷ ٣٠٠.٠٠٠ = ٩ ثوان وبذلك ينفتح البابان آنيا.

وماذا يرى الواقف على رصيف المحطة؟

يتحرك الضوء بالنسبة إلى رصيف المحطة بسرعة قدرها ٣٠٠.٠٠٠ كيلومتر في الاثنية أيضا. فبينما تتحرك العربة الأخيرة في اتجاه مضاد لاتجاه شعاع الضوء الصادر من وسط القطار فيصل الضوء إلى الباب الخلفي في زمن مقداره : ٢.٧٠٠.٠٠٠ ÷ (٣٠٠.٠٠٠ + ٢٤٠.٠٠٠) = ٥ ثوان. أما بالنسبة إلى عربة المقدمة فلا بد للضوء من ملاحقتها فيصله في زمن مقداره : ٢.٧٠٠.٠٠٠ ÷ (٣٠٠.٠٠٠ - ٢٤٠.٠٠٠) == ٤٥ ثانية أي يظهر البابان للواقف على رصيف المحطة بأنهما ينفتحان في أوقات مختلفه إذ يرى باب المؤخرة ينفتح أولا ثم ينفتح باب المقدمة بعده بعدد ٤٥ - ٥ == ٤٠ ثانية ونجد أن حدثين متماثلين تماما كانفتاح باب العربة الأمامية و باب عربة المؤخرة يظران لراكب القطار أنهما ينفتحا آنيا بينما يظهران للواقف على رصيف المحطة بفرق زمني قدره ٤٠ثانية .



تجربة القطار المار بمحطة : المشاهد هنا واقف على رصيف المحطة المشاهد هنا في القطار

المنطق السليم في مأزق

تبدو نتيجة التجربة السابقة عجيبة ومع ذلك فهي تتفق تماما مع التجربة العملية. و لن نفعل مثلما فعل ريفي بسيط ذهب لأول مرة لحديقة الحيوان و شاهد الزرافة فقال :" هذا حيوان غير معقول". فالمنطق السليم يخدعنا فهو يميل ببساطة إلى تعميم المدلولات التي نصادفها في حياتنا اليومية ودرجة فهمنا للاشياء ما هي

إلا مرآة لخبرتنا المحدودة والصعوبة في فهم وقبول حقيقة حدثين يظهران للواقف على رصيف المحطة وينهما فرق زمني في حين ظهورهما لراكب القطار آنيا تماثل الصعوبة التي صادفها الريفي الذي ارتبك من منظر الزرافة وقد أصبحنا في نفس موقف الريفي الذي لم يرى حيوانا كهذا من قبل فنحن لم نتحرك إطلاقا بسرعة تبلغ ٢٤٠.٠٠٠ كيلومتر في الثانية فليس من العجيب أن يفاجأ الفيزيائيون بظواهر لا تمت إلى ما نألفه في حياتنا العادية بصلة عند دراستهم لسرعات قريبة من سرعة الضوء وقد واجهت النتيجة الغريبة لتجربة ميكلسون علماء الفيزياء بتلك الحقائق وأرغمتهم على مراجعة مفاهيم مألوفة عديدة لا تبدو واضحة للمنطق السليم مثل آنية حدثين يمكننا بالطبع التمسك بوجهة نظر "المنطق السليم" وإنكار وجود الظواهر الجديدة ولكن إن فعلنا ذلك يصبح مثلنا مثال الريفي في المأثورة.

ما يحدث للمكان يحدث للزمن

لا يخشى العلم من مناقشة ما يسمى "المنطق السليم" ولكنه يخشى فقط معارضة التصورات المألوفة للحقائق التجريبية الجديدة وعند ظهور مثل ذلك الخلاف يقضي العلم بلا رحمة على تلك التصورات التي بناها " المنطق السليم " ويرتفع بمعرفتنا إلى مستوى أعلى ظننا من قبل أن حدثين آنيين يظهرانأنيا لأي مختبر نختاره للمشاهدة فجاءت التجربة العملية بنتيجة مختلفة. ومن الواضح ينطبق هذا فقط على المختبرات التي تكون في حالة سكون بالنسبة لبعضها البعض أما في حالة مختبرين يتحرك أحدهما بالنسبة للآخر فمن الممكن أن يظهر حدثان في أحدهما آنيا ولا يظهران أنيا في المختبر الآخر أي أن آنية الأحداث "نسبية" ويكون لها معنى فقط إذا عرفنا حركة المختبر التي شوهدت منه هذا معناه أن آنية حدثين لا تعتمد الحدثين نفسهما فقط وإنما تعتمد بالإضافة إلى ذلك على المختبر الذي تجري منه الرؤية من المألوف لنا التحرك بسرعات تقل كثيرا عن سرعة الضوء ولهذا لا نستطيع ملاحظة الصفة النسبية لآنية الأحداث فإذا قمنا بدراسة سرعات مقاربة لسرعة الضوء نجدنا مضطرون لمراجعة صفتي "الأسبقية" و"الملاحقة" للأحداث تماما كما اضطر الإنسان لمراجعة مدلولي "فوق " و"تحت" على الأرض بعد قيامه برحلات طويلة مقاربة لأبعاد الكرة الارضية وقبل ذلك لم يجد ما يعارض اعتقاده بأن الأرض قرص مسطح في الواقع لا يوجد لدينا إمكانية للتحرك بسرعة مقاربة لسرعة الضوء نتمكن بها من مشاهدة تلك الظواهر التي تبدو مربكة لتصورنا القديم ولكننا تمكنا من إثبات تلك الظواهر بتجارب علمية عديدة فالقدر المكتوب للمكان هو نفس القدر المكتوب للزمن والقول وقوع حدثين "في نفس الوقت أصبح لا معنى له كالقول بحدوثهما في "نفس المكان" فإذا أردنا تعيين الفترة الزمنية بين حدثين فلا بد

من تعريف المختبر الذي أجرينا منه المشاهدة تماما كما نفعل ذلك عند تعيين المسافة بينهما.

نسبية الزمن

أحدث اكتشاف نسبية الزمن انقلابا عميقا في تصورنا للطبيعة ويمثل هذا لاكتشاف أحد الانتصارات العظيمة للعقل البشري على تصورات مشوشة توارثناها عبر قرون طويلة ويمكن مقارنة هذا الانقلاب في تصور الإنسان للطبيعة بالانتفاضة التي أحدثها اكتشاف الشكل الكروي للأرض توصل العالم ألبرت أينشتاين إلى اكتشاف "نسبية الزمن" فأصبح أعظم عالم في القرن العشرين ووضعه هذا الاكتشاف بين عظماء الفكر الإنساني وهو في سن الخامسة والعشرين من عمره وهو يتبوأ مركزا جليلا بين العلماء مثل كوبرنيكس واسحاق نيوتن اللذان فتحا فتوحات جديدة في العلم.يسمى العلم الخاص بنسبية الزمن وما ترتب عليها من استنتاجات بالنظرية النسبية ولا يصح الخلط بينها وبين نسبية الحركة.

السرعة لها حدود

قبل الحرب العالمية الثانية كانت سرعة الطائرات تقل كثيرا عن سرعة الصوت والآن نبني طائرات أسرع من الصوت. وتنتشر الموجات الكهرومغناطيسية بسرعة الضوء فهل من الممكن بناء مرسل لاسلكي تفوق سرعة إشاراته سرعة الضوء ؟ سيتبين أن هذا مستحيل لو كان من الممكن إرسال إشارات بسرعة لا نهائية لأصبح لدينا وسيلة لإثبات أنية حديثن. إذ بوصول إشارتين لا نهائيتي السرعة ممثلتان للحدث الأول والثاني في نفس الوقت تعطي آنية الحدث صفة مطلقة أي لا تعتمد على حركة المختبر الذي تجرى منه المشاهدة ونظرا لعدم تأييد التجربة العملية لصفة مطلقة للزمن نستنتج أن انتقال إشارات اللاسلكي لا يمكن أن يتم كلمح البصر وكذلك لا يمكن انتقال الطاقة من نقطة إلى أخرى في الفراغ بسرعة لا نهائية. وهذا يعني أن الانتقال لا يمكن أن يتعدى حدا معينا للسرعة يسمى " الحد الأقصى للسرعة".

هذا الحد الأقصى يعادل سرعة الضوء

وطبقا لتماثل القوانين الطبيعية في جميع المختبرات التي تتحرك بسرعة منتظمة وفي خط مستقيم بالنسبة لبعضها البعض (مبدأ نسبية الحركة) ، فاكتشاف وجود حد أقصى للسرعة يمثل أيضا "قانونا طبيعيا" أي أن الحد الأقصى للسرعة يأخذ نفس القيمة بالضبط في جميع المختبرات وللضوء تلك الخاصية بناء على ذلك لا تمثل سرعة الضوء ببساطة سرعة انتشار ظاهرة طبيعية معينة فقط وإنما تلعب دورا مهما كحد أقصى لسرعة المادة والطاقة.أوضحت النظرية النسبية أن وجود حد

أقصى للسرعة يعود إلى طبيعة الكون نفسه ويكون من المضحك لو ظننا أن التقدم التكنولوجي سيمكننا يوما ما من التفوق على سرعة الضوء وتلعب سرعة الضوء دورا غير عادي في الطبيعة فهي تمثل تلك السرعة بالذات التي تحدد انتشار أي حدث على الإطلاق فإما أن يكون الضوء أسرع من الحدث أو تصل سرعته في الحالة القصوى إلى سرعة الضوء.

ماذا إذا انقسمت الشمس؟

كان العلماء في الماضي قبل اكتشاف النظرية النسبية يعتقدون أن التغير في حركة الأرض يتم في لمح البصر بعد انقسام افتراضي في الشمس بسبب عدم معرفتهم بوجود هذا الحد الاقصى للسرعة فالضوء يستغرق ٨ دقائق ليصل من الشمس إلى الأرض. وفي الواقع ستظهر التغيرات في حركة الأرض أيضا بعد ٨ دقائق من انقسام الشمس وخلال تلك الفترة الزمنية ستبقى الأرض كما ولو لم يحدث للشمس أي شيء وبصفة عامة فلا يمكن لحدث معين يحدث للشمس أو عليها أن يؤثر على الأرض إلا بعد مرور تلك الثمان دقائق وبالطبع لا تسلبنا السرعة المحدودة لانتشار الإشارات إمكانية إثبات آنية حدثين إذ يمكننا ببساطة حساب زمن التأخير وأخذه في الاعتبار.بذلك تصبح طريقة إثبات وقوع حدثين آنيا متفقة تماما مع الطبيعة النسبية لهذا المدلول فلحساب زمن التأخير لا بد من قسمة المسافة بين النقطتين التي وقع فيهما الحدثان على سرعة انتشار الإشارتين وقد علمنا من قبل بالمدلول النسبي للمكان.

الأحداث السابقة والأحداث اللاحقة

نريد تسمية قطارنا ذو الأضواء البارقة "بقطار أينشتاين". ونفرض أن ميكانيكية أبوابه لا تعمل كما ينبغي بحيث يلاحظ الراكب انفتاح الباب الخلفي بزمن قدره ١٥ ثانية يرى الواقف على رصيف المحطة أن الباب الخلفي يفتح قبل الباب الأمامي بزمن قدره : ٤٠ - ١٥ = ٢٥ ثانية (انظر نسبية التزامن) هذا معناه انه من الممكن أن يشاهد حدث من أحد المختبرات سابقا لغيره ويشاهد من مختبر آخر لاحقا له. يتبادر لنا في الحال أن نسبية ملولي "الأسبقية" و"التلاحق" لا بد وأن تكون محدودة. فلا يمكن أن نسمح (من وجهة نظر أي من المختبرات) أن يولد ابن قبل أمه.فعند حدوث بقعة على الشمس تظهر للمشاهد الذي يرصد الشمس بمنظاره بعد ٨ دقائق وأي عمل ينجزه بعد ذلك يكون لاحقا مطلقا لظهور بقعة الشمس أي يكون العمل لاحقا للبقعة من وجهة نظر مختبر نراقب منه كلا من المشاهد والبقعة وبالعكس كل شيء يحدث للمشاهد في وقت سابق يزيد ٨ دقائق من لحظة رؤيته للبقعة (بحيث يكون شعاع الضوء الحامل للحدث قد وصل الشمس قبل حدوث البقعة) يكون سابقا مطلقا أما إذا أشعل المشاهد سيجارته مثلا في لحظة بين حدوث البقعة

الشمسة ورؤيته لها فلا تكون العلاقة الزمنية بين حدوث البقعة وإشعال السيجارة علاقة مطلقة.يصبح في إمكاننا التحكم عن طريق ضبط حركتنا بالنسبة لكل من البقعة والمشاهد بحيث نرى المشاهد يشغل سيجارته قبل أو بعد ظهور بقعة الشمس أو حتى في نفس وقت ظهورها لنا ، وذلك بحسب اختيار سرعتنا واتجاه حركتنا.

يبين مبدأ النسبية بذلك وجود ثلاثة علاقات زمنية للاحداث لاحقة المطلقة والتي هي ليست سابقة ولا لاحقة وإنما تعتمد على المختبر الذي نراقب منه الأحداث.

من المستحيل التحرك بسرعة الضوء؟

بالاعتماد على النظرية النسبية الخاصة فإن الطاقة الكلية للجسم تزداد مع ازدياد سرعة الجسم و تصل إلى اللانهاية عندما يصل الجسم إلى سرعة الضوء هذا يعني أننا نحتاج إلى كمية لا نهائية من الطاقة حتى نقوم بتسريع الجسم كي يبلغ سرعة الضوء.

سرعة الضوء

سرعة الضوء عبر الفراغ هي ثابت فيزيائي عالمي هام في العديد من مجالات الفيزياء يرمز له في العادة بالرمز c و تساوي قيمته بدقة ٢٩٩,٧٩٢,٤٥٨ متر لكل ثانية و هو رقم دقيق لأن طول المتر يعرف حالياً وفقاً لقيمة هذا الثابت وللمعيار الدولي للوقت وهو ما يعادل بعد التقريب لثلاثة أرقام معنوية ٣٠٠,٠٠٠ كيلومتر في الثانية أو حوالي مليار كيلومتر لكل ساعة بموجب النسبية الخاصة سرعة الضوء (أو الثابت c) هي أقصى سرعة تستطيع أن تسافر بها كل أشكال الطاقة أو المادة أوالمعلومات في الفضاء وهي سرعة سفر الجسيمات عديمة الكتلة ومجالاتها المتلازمة (بما في ذلك الاشعاع الكهرومغناطيسي مثل الضوء) عبر الفراغ و هي أيضا سرعة الجاذبية (الخاصة بأمواج الجاذبية) التي تنبأت بها النظريات الحالية وتسافر تلك الجسيمات والأمواج بالسرعة c أيا كانت سرعة المصدر والآطار المرجعي العطالي للمراقب في نظرية النسبية الثابت c يرابط بين المكان والزمان ويظهر أيضا في المعادلة الشهيرة لتكافؤ المادة والطاقة $E = mc^2$ ينتشر الضوء في المواد الشفافة مثل الزجاج والهواء بسرعة أقل من c تدعى النسبة بين c وبين سرعة الضوء في مادة ما v بقرينة الانكسار n لتلك المادة ($n=c/v$) مثال تساوي عادة قرينة انكسار الضوء المرئي عند مروره بالزجاج حوالي ١.٥ معنى ذلك أن الضوء يسير في الزجاج بسرعة $v = c/1.5 \approx 200{,}000$ km/s وللهواء تساوي قرينة الانكسار ١.٠٠٠٣ وبالتالي تقل سرعة الضوء المرئي في الهواء بحوالي ٩٠ كم /ث عن c.

كان الإنسان في الماضي يعتبر أن الضوء ينتقل لحظيا بسبب سرعته العظيمة ثم أوضح أوول رومر عام ١٦٧٦ أن للضوء سرعة محدودة بدراسة الحركة الظاهرية لقمر المشتري أيو في عام ١٨٦٥ اقترح ماكسويل بأن الضوء هو موجة كهرومغناطيسية وبالتالي ظهرت السرعة c في نظريته للكهرومغناطيسية افترض ألبرت أينشتاين استقلال سرعة الضوء عن حركة المصدر لأي اطار عطالي وأثبت ثباتها واكتشف كل العواقب المتعلقة باشتقاقه النظرية النسبية وأوضح أن c هي ثابت طبيعي ولا تنحصر فقط في سياق الضوء والظواهر الكهرومغناطيسية بعد قرون من القياسات المتزايدة الدقة عرفت سرعة الضوء عام ١٩٧٥ بكونها تساوي ٢٩٩,٧٩٢,٤٥٨ م/ث مع ريبة في القياس تساوي ٤ أجزاء بالبليون عام ١٩٨٣ تم

اعادة تعريف المتر في نظام الوحدات الدولي بأنه المسافة التي يقطعها الضوء في الفراغ خلال ٢٩٩٧٩٢٤٥٨/١ ثانية وبالتالي قيمة c العددية بوحدة م/ث هي الآن قيمة ثابتة بالضبط نسبة إلى تعريف المتر.

سرعة الضوء وقياس المسافات

في معظم الحالات العملية يمكن اعتبار أن الضوء يتحرك بشكل فوري حيث أن سرعته كبيرة جدا جدا ولكن عند قياس المسافات الطويلة كقياس بعد نجم عنا أو في تجارب قياس الزمن الدقيقة فلا بد من أخذ سرعة الضوء في الاعتبار فمثلا عند الاتصال بمسبار على المريخ تستغرق الإشارة عشر دقائق ويتأتينا إشارته خلال ١٠ دقائق أخرى (بحسب موقعة بالنسبة للأرض).

و قد ابتكر الفزيائيون والفلكيون طريقة لتسهيل قراءة المسافات بيننا وبين النجوم بسبب بعدها الكبير عنا و هي طريقة قياس المسافات بالسنة الضوئية على أساس أن سرعة الضوء في الفراغ ثابتة دائما وتبلغ نحو ٣٠٠.٠٠٠ كيلومتر في الثانية فيمكننا القول بأن الشمس تبعد عنا ١٥٠ مليون كيلومتر أو القول بأن المسافة بينهما تبلغ ٨ دقائق يستغرق الضوء عند خروجه من الشمس حتى يصلنا الضوء الذي نراه من النجوم يكون قد غادرها منذ سنوات عديدة أي أذنا عندما نشاهد نجوما أبعد إلى أبعد فإذنا نشاهدها على حالها في الماضي. أقرب المجرات إلينا مجرة المرأة المتسلسلة وهي تبعد عنا نحو ٣ و٤ سنة ضوئية.

لا يوجد في الطبيعة سرعة أكبر من سرعة الضوء و هذه السرعة أيضا تحدد السرعة النظرية لعمل الحواسيب حيث أن المعلومات تنتقل داخل الحاسوب كتيارات كهربائية من رقاقة لأخر. وتنتقل جميع الموجات الكهرومغناطيسية أيضا بسرعة الضوء إذ أن الضوء نفسه عبارة عن موجات كهرومغناطيسية.

قيمة الثابت

قيمة c الدقيقة هي ٢٩٩,٧٩٢,٤٥٨ متر في الثانية(١,٠٧٩,٢٥٢,٨٤٨.٨ كيلومتر في الساعة) في الفراغ. لاحظ أن هذه السرعة هي تعريف وليس قياس منذ أن تم توحيد الوحدات العالمية، تم تعريف المتر على أنه المسافة التي يقطعها الضوء في الفراغ خلال ٢٩٩,٧٩٢,٤٥٨/١ من الثانية .

عند عبور الضوء خلال مواد شفافة مثل الزجاج أو الهواء تقل سرعته. النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ وسرعته خلال مادة تسمى معامل الانكسار - Index Of Refraction على سبيل المثال معامل انكسار الزجاج يساوي تقريبا ١.٥ و هذا يعني ان الضوء يمر عبر الزجاج بسرعة $200{,}000\ km/s \approx c/1.5$. معامل انكسار الهواء هو ١.٠٠٠٣ إذا فإن سرعة الضوء في الهواء ابطأ من سرعته في الفراغ c بنحو ٩٠ km/s.

كذلك تتغير سرعة الضوء بتأثير الجاذبية ما يولد ظاهرة عدسات الجاذبية - Gravitational Lensing.

في أغلب الحالات العملية يمكن اعتبار سرعة الضوء على أنها سرعة لحظية حيث أن سرعة الضوء كبيرة جدا جدا ولكن حين نأتي لقياس مسافات طويلة مثل بعد النجوم عنا أو القياسات الزمنية الدقيقة فلا بد من أخذ سرعة الضوء في الاعتبار. في الاختبارات والتجارب التي تجريها مركبات فضائية على مسافات بعيده في الفضاء الخارجي فإن إرسال رسالة ما إلى إحدى هذه المركبات أو استقبال أشاراتها يأخذ عدة دقائق إلى ساعات بحسب بعدها عنا فمثلا أرسال إشارة لاسلكية لتشغيل مسبار على سطح المريخ قد يستغرق نحو ١٠ دقائق (بحسب موقعه بالنسبة للأرض حيث يتغير باستمرار) وتصلنا إشارة المسبار هي الأخرى بعد نحو ١٠ دقائق أخرى.

ونظرا لأن المسافات بين الأرض والنجوم مسافات كبيرة جدا فقد ابتكر الفزيائيون والفلكيون طريقة لتسهيل قراءة تلك المسافات و هي قياس المسافة بالسنة الضوئية وطبقا لذلك فنستطيع القول أن المسافة بين الأرض والشمس هي ١٥٠ مليون كيلومتر أو أن المسافة بينهما ٨ دقائق كان اولي رومر أول من برهن ان الضوء يسير بسرعة ثابته وذلك في عام ١٦٧٦ حيث قام بدراسة التحركات الجليه لإحدى اقمار كوكب المشتري في عام ١٨٦٥ افترض جيمس ماكسويل ان الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية Electromagnetic waves.

إحدى نتائج قوانين الكهرومغناطيسية (مثل معادلات ماكسويل) هي أن c هي سرعة الأمواج الكهرومغناطيسية و هي لا تتعلق بسرعة الجسم الذي يطلقها أي أن سرعة موجة ضوئية منبعثة من جسم متحرك لا تختلف باختلاف سرعة المصدر. ستكون سرعة الضوء ثابتة (مع أن لون شعاع الضوء ستختلف إذ سيختلف طول موجته وهذا ما يسمى بتأثير دوبلر).

كانت استنتاجات ماكسويل المذهلة هي الصيغة التالية التي تمثل سرعة الضوء:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$$

حيث:

c - سرعة الضوء أو الموجة الكهرومغناطيسية

μ_0 - معامل النفاذية وقيمته $4\pi \times 10^{-7}$ H/m (هنري\متر)

ε_0 - معامل السماحية وقيمته $8.854187817 \times 10^{-12}$ F/m (فاراد\متر)

إذا ما أضفنا إلى ذلك الاستنتاجات من النظرية النسبية يقودنا ذلك إلى أن جميع المتفرجين سوف يقيسوا سرعة الضوء بالفراغ متساوية باختلاف سرعتهم و سرعة الأجسام التي تطلق الضوء هذا ما قد يقودنا إلى رؤية c كقيمة كونية ثابتة وأساساً

للنظرية النسبية من الجدير بالذكر ان القيمة c هي القيمة الكونية وليس سرعة الضوء فاذا تم التلاعب بسرعة الضوء بطريقة أي كانت لن تتأثر النظرية النسبية بذلك.

حسب التعريف الدارج الذي تم وضعه سنة ١٩٨٣ سرعة الضوء هي بالضبط ٢٩٩,٧٩٢,٤٥٨ متر في الثانية، تقريباً ٣ × ٨٨١٠ متر في الثانية، أو ٣٠ سنتيمتر/نانو ثانية.

العلاقة بين سرعة الضوء وطول الموجة

يمثل طول الموجة عادة بالحرف الإغريقي لامدا الباي (λ). وتربط المعادلة البسيطة التالية العلاقة بين طول الموجة الضوئية وتردد ها وسرعتها ، أي سرعة الضوء c:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

حيث:

fهو تردد الموجة.

سرعة تقدم الموجة الضوئية في الفراغ تساوي ٣10^8m_sec. ، وتمثل دائما بالحرف c.

ونظرا لكون الضوء ما هو إلا موجة كهرومغناطيسية فإن هذه المعادلة تنطبق أيضا على جميع الموجات الكهرومغناطيسية على اختلاف أنواعها من موجة راديوية (لاسلكية) أو أشعة فوق البنفسجية أو أشعة تحت الحمراء أو موجة ميكروويف أو أشعة سينية أو أشعة غاما.

من تلك المعادلة يمكن استنتاج تردد الموجة بمعرفة طول الموجة. فمثلا إذا كان طول موجة شعاع الاسلكي ٣٠ سنتيمتر يكون تردده ١ جيجا هرتز.

ونلاحظ استخدام الوحدات :

- فمثلا نقيس سرعة الضوء بالمتر/الثانية أو السنتيمتر/ ثانية ،
- ونقيس طول الموجة بالمتر أو بالتالي سنتمتر ،
- فينتج التردد ١/ثانية ، أي هرنز ، حيث أن ١ هرتز = ١/ثانية.

اشتقاق سرعة الضوء من معادلات ماكسويل

قام ماكسويل بتجميع أربع معادلات شهيرة في الكهرمغناطيسية هي:

- قانون غاوس لتدفق الحقل الكهربائي : $\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon}$
- قانون غاوس للمغناطيسية : $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$
- قانون الحث لفراداي : $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$

- قانون أمبير : $\nabla \times \mathbf{B} = \mu \mathbf{J}_c$

إضافة لذلك فقد عمل ماكسويل على تعميم قانون أمبير للمجالات المتغيرة زمنياً وأصبحت العلاقة بالصورة $\nabla \times \mathbf{H} = \mu \mathbf{J} + \mu\epsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$

حين قام ماكسويل بحل هذه المعادلات الأربع في الفراغ وتوصل إلى الصلة الوثيقة بين سرعة الموجة الكهرومغناطيسية وبين ثابت العازلية وثابت المغناطيسية .

يمكن إعادة المعادلات السابقة على افتراض أن الضوء ينتشر في الفراغ حيث لاتوجد أي شحنات كهربائية أي أن p=0 وJ=0 فتصبح بالصورة

- $\nabla \cdot \mathbf{E} = 0$
- $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$
- $\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$
- $\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$

لإيجاد معادلة الموجة يجب إيجاد المشتقة الثانية في كل من الزمن والفضاء. بداية بأخذ الالتواء لطرفي المعادلة الثالثة وبتعويض النتيجة في المعادلة الرابعة نجد أن:

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = -\frac{\partial \nabla \times \mathbf{B}}{\partial t}$$

من نظرية تفاضل المتجه نعلم أن

$$\nabla \times (\nabla \times \mathbf{E}) = -\nabla^2 \mathbf{E} + \nabla \cdot (\nabla \cdot \mathbf{E})$$

على هذا الأساس تصبح

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2}$$

و هذه معادلة موجة في ثلاثة أبعاد، وللتبسيط يمكن دراستها في بعد واحد بالشكل

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

بالبحث عن حل للمعادلة الجيبية، بدلالة السرعة والطول الموجي يفترض أن تكون

$$E = E_0 sin(2\pi \frac{x - vt}{\lambda})$$

بمفاضلة هذه المعادلة مرتين نحصل على

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = -E_0 \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 sin\left(2\pi \frac{x - vt}{\lambda}\right)$$

و

$$\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = -E_0 \left(\frac{2\pi v}{\lambda}\right)^2 sin\left(2\pi \frac{x - vt}{\lambda}\right)$$

بالتعويض عنها مرة أخرى في معادلة الموجة نجد أنها تمثل حلاً شريطة أن

$$v^2 = \frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}$$

أثارت هذه النتيجة فضول أينشتاين وكانت السبب الرئيس في تطويره لنظرية النسبية الخاصة

يقول البرت اينشتين في مجلة العلوم:

إن صياغة القوانين الدقيقة للزمان والمكان كانت من نتاج ماكسويل تخيلوا كيف كان شعوره عندما برهنت له المعادلات التفاضلية التي صاغها بأن المجالات الكهرومغنطيسية تنتشر على هيئة موجات مستقطبة، بسرعة الضوء! قلة من الناس في العالم هم تقبلوا مثل هذه التجربة.. لقد أستغرق الفيزيائيون بضعة عقود لاستيعاب اكتشاف ماكسويل بشكل ملحوظ تماماً، فيالها من وثبة جريئة فرضتها عبقريته على زملائه في هذا المجال (العلوم، مايو ٢٤، ١٩٤٠)

سرعة الضوء في المواد

تختلف سرعة الضوء خلال مروره في المواد حسب طبيعة شفافيتها حيث تصبح اقل من تلك المحسوبة في الفراغ وذلك بالعلاقة:

$$n=\sqrt{\epsilon_r \mu_r} = c/v_p$$

حيث:

n معامل انكسار الضوء في المادة أكبر من الواحد لغير الفراغ،

ε_r معامل السماحية النسبي للمادة أكبر من الواحد لغير الفراغ،

μ_r معامل النفاذية النسبي أكبر من الواحد لغير الفراغ.

v_p سرعة الضوء في المادة

تصف الفيزياء الكلاسيكية الضوء على أنه نوع من الموجات الكهرومغناطيسية والتي تنبأت معادلات ماكسويل بأن سرعتها معتمدة على ثابت العازلية ε وثابت المغناطيسية μ بالمعادلة السابقة.

بالمقابل فإن نظرة فيزياء الكم للضوء والمجال الكهرومغناطيسي في كهروديناميكا الكم (QED)، على أنها عبارة عن إثارات أو كمات من المجال الكهرومغناطيسي تدعى الفوتونات هذه الفوتونات عبارة عن جسيمات عديمة الكتلة ووفقاً للنسبية الخاصة.

هناك نظرة أبعد في كهروديناميكا الكم لأحتمال وجود كتلة للفوتونات وبالتالي تكون سرعتها معتمدة على ترددها وعلى السرعة اللامتغيرة والتي يمكن أن تكون سرعة الضوء في الفراغ هي أعلى قيمة حدية لها من النسبية الخاصة حتى اليوم لم تلاحظ أي ظواهر تؤكد ذلك عملياً تم الوصول لقيم حدية عليا بشأن كتلة الفوتون وإن اختلفت من نموذج لآخر على سبيل المثال فإن أعلى قيمة حدية من نظرية بروكا هي حوالي 10^{-57} غرام ألية هيغرز تعطي حداً أعظمياً تجريبياً مقداره، $m \geq 10^{-64}$ ev\c (حوالى 2×10^{-47} g).

هناك سبب آخر يدعو للاعتقاد باعتمادية سرعة الضوء على تردده و هو فشل تطبيق النسبية الخاصة على القياسات الصغرية بنفس ما تنبأت به نظريات مقترحة مثل ثقالة الكم. في ٢٠٠٩، وجدت مراقبة انفجارات غاما عدم وجود أي فرق في سرعة الفوتونات المختلفة الطاقة، مؤكدة صحة لاتباين-لورتنز على الأقل نزولا حتى مقياس طول بلانك ($l_P = \sqrt{\hbar G/c^3} \approx 1.6163\times10^{-35}$ م (مقسومة على ١.٢.

تاريخ

لم تكن سرعة الضوء أمراً مؤكداً حتى عهد قريب كان أمبدوقلس أول من أشار إلى محدودية سرعة الضوء ولذلك فكان لزاماً أن يستغرق وقتاً في انتقاله وعلى العكس من ذلك أصر أرسطو بأن "الضوء هو تعبير عن وجود شيء ما إلا أنه ليس بحركة" اقترح أقليدس نظرية الاشعاع في الابصار (والتي روج لها كذلك بطليموس) القائلة بأن الضوء ينبعث من العين بدلاً من دخوله العين من مصدر آخر وباستخدام هذه النظرية طور هيرون السكندري مقولة أن سرعة الضوء هي حتماً غير محدودة لأن الأجرام البعيدة كالنجوم تظهر فوراً بمجرد أن نفتح أعيننا.بداية وافق الفلاسفة المسلمون المبكرون على وجهة نظر أرسطو في أن سرعة الضوء غير محدودة إلا أنه في عام ١٠٢١ نشر الفيزيائي المسلم ابن الهيثم كتاب البصريات وفيه استخدم تجارب لدعم نظرية الولوج في الابصار حيث ينتقل الضوء من جرم إلى العين، مستخدماً آلات مثل كاميرا اوبسكيورا (صندوق مظلم) الأمر الذي أدى بابن الهيثم لأن يقترح أن الضوء لذلك حتماً له سرعة محددة وأن سرعة الضوء تتغير إذ تنقص في الأجسام الأكثر كثافة وقد جادل بأن الضوء هو "مادة محسوسة" يتطلب انتشارها وقتاً "حتى لو كان مخفياً عن حواسنا" ويقال أن وصول ابن الهيثم لهذه النظريات كانت خلال الأعوام التي قضاها في السجن إبان فترة الحاكم بأمر الله في مصر استمر هذا الجدل في أوروبا والعالم الإسلامي طوال العصور الوسطى.

في القرن الحادي عشر وافق أبو الريحان البيروني على أن الضوء له سرعة محددة ولاحظ أن سرعة الضوء تكون أعلى من سرعة الصوت وفي عقد ١٢٧٠ أخذ ويتلو في الاعتبار احتمال أن ينتقل الضوء بسرعة غير محدودة في الفراغ وأن يبطئ في الأجسام الكثيفة وفي تعليق على آية في ريكفدا في القرن الرابع عشر من الباحث الهندي سايانا يمكن تفسيره على أنه تقدير لسرعة الضوء في اتفاق كبير مع السرعة الفعلية وفي عام ١٥٧٤، وافق الفلكي العثماني والفيزيائي تقي الدين بن معروف مع ابن الهيثم على أن سرعة الضوء ثابتة ولكنها تتغير في الأجسام الأكثف واقترح أن الضوء سيستغرق وقتاً طويلاً للوصول من النجوم التي تبعد ملايين الكيلومترات ليصل الأرض.

في مطلع القرن السابع عشر آمن يوهانس كلير أن سرعة الضوء غير محدودة لأن الفراغ ليس فيه معوقات للضوء وجادل فرانسيس بيكون أن سرعة الضوء لم تكن بالضرورة غير محدودة، إذ أن شيئاً يمكنه السفر بسرعة أعلى من أن ندركها وقد جادل رينيه ديكارت بأنه لو كانت سرعة الضوء محدودة فإن الشمس والأرض والقمر سيظهرون على غير خط واحد أثناء الخسوف القمري ولما كنا لا نشاهد عدم الإتساق هذا فقد استنتج ديكارت أن سرعة الضوء غير محدودة وقد خمن ديكارت بأنه لو وجد أن سرعة الضوء محدودة فإن ذلك سيقوض كل نظام فلسفته!

تأثر سرعة الضوء بسرعة المصدر

نظراً لان المجرة تسير بسرعة عالية جداً ومن ضمنها الأرض والرقم الذي حسبته ٥٠٠٠ كيلومتر في الثانية فلو كان الضوء مستقل على الطاقة الحركية لمصدر الضوء فإن هذا يعني ان سرعة الضوء النسبية لحركة الأرض في المجرة سوف تختلف مما يعني ظهور صورة لجسم ساكن وبعيد سوف يختلف مع دوران الأرض حول نفسها وذلك لان السرعة النسبية سوف تختلف ولكن ظهور صورة الجسم في نفس المكان يعني أن الضوء يسير متأثر بسرعة المصدر.

أسرع من الضوء

أسرع من الضوء تدل على انتقال المعلومات أو المادة بسرعة أكبر من سرعة الضوء تحت تعريف النظرية النسبية لكي نجعل جسم يتحرك بسرعة تصل إلى سرعة الضوء فإننا نحتاج إلى طاقة لا نهائيه أوأن يكون الجسم ذا كتله صغيره جدا تقترب من الانعدام لانه كلما ازدادت السرعة النسبية تزداد معها الكتلة النسبية وبذلك يزداد القصور الذاتي حتى إذا بلغت سرعة الضوء تصبح الكتلة لا نهائية بالرغم من ذلك فإن النسبية لا تقول بعدم وجود جسيمات تتحرك بسرعة أكبر من سرعة الضوء في كل وقت.

النيوترينات

في أواخر سبتمبر ٢٠١١ أعلن خبراء سيرن في إطار الاختبار الدولي "أوبرا" أن نيوترينات اجتازت نفقاً يبلغ طوله ٧٣٠ كيلومترا يفصل بين منشآت المركز الأوروبي للأبحاث النووية "سيرن " في جينيف ومختبر "سان جراس " في أيطاليا بسرعة ٣٠٠٠٠٦ كيلومترات في الثانية أي ٧ كيلومترات في الثانية أكثر من سرعة الضوء (١.٠٠٠٠٢ قدر سرعة الضوء). ونشر علماء المركز الأوروبي للأبحاث النووية "سيرن" نتائج التجربة المعروفة باسم "تجربة أوبرا" الجمعة، والتي استخدمت فيها أجهزة قياس ورصد فائقة الدقة لرصد سرعة ١٥ ألف "نيوترينو" أثناء انتقالها من مركز "سيرن" في سويسرا إلى مركز أبحاث " غران ساسو" قرب العاصمة الإيطالية روما بيد أن تجارب أعيدت لاحقاً شككت في صحة القياسات كما تبين وجود خلل في منفذ استلام إشارة التزامن للحاسوب كانت السبب في ظهور هذا الخطأ.

سرعة ضوء متغيرة

سرعة ضوء متغيرة variable speed of light (VSL) مفهوم ينص على أن سرعة الضوء في الفراغ التي يرمز لها غالباً c قد لا تكون ثابتة في بعض الحالات في غالبية حالات فيزياء المواد المكثفة عندما ينتقل الضوء خلال وسط فإن سرعته تقل بفعالية يمكن للفوتونات الافتراضية في بعض الحسابات في نظرية الحقل الكمي

أن تنتقل بسرعات مختلفة لمسافات قصيرة، ومع ذلك، هذا لا يقتضي أن أي شيء يمكن أن يسافرأسرع من الضوء بينما يعتقد ألا معنى يمكن عزوه إلى كمية بعدية مثل سرعة الضوء المتغيرة زمنياً (بالمقارنة بعدد لابعدي مثل ثابت البنية الدقيقة) في بعض النظريات الكونية المثيرة للجدل تتغير سرعة الضوء أيضا بتغيير فرضيات النسبية الخاصة وبالرغم من ذلك فإن هذا يتطلب إعادة كتابة الكثير من الفيزياء الحديثة لإبدال النظام الحالي والذي يعتمد على الثابت c.

تغير c في الفيزياء الكلاسيكية

يعتقد بأن الفوتون والذي يعد جسيماً وسيطاً في القوة الكهرومغناطيسية هو عديم الكتلة إن ما يدعى بفعل بروكا يصف نظرية عن فوتون كتلي كلاسيكياً من الممكن أن يكون هناك فوتون خفيف الوزن لأبعد الحدود ولكن بكتلة مع ذلك كما هو الحال مع النيوترينو هذه الفوتونات يمكن أن تنتقل بسرعة أقل من سرعة الضوء المعرفة في النسبية الخاصة ولها ثلاثة إتجاهات من الاستقطاب لكن في نظرية الحقل الكمومي لاتتسق كتلة للفوتون مع لاتباين غيج أو أعادة التوحيد ولذلك فإنها تهمل عادة ومع ذلك فإن النظرية الكمومية للفوتون الكتلي يمكن أن تؤخذ بعين الاعتبار في نظرية الحقل الفعالة الويلسونية والمقاربة لنظرية الحقل الكمومي حيث أنه اعتماداً على ما إذا كانت كتلة الفوتون قد تولدت في آلية هيغز أم أُدرجت بطريقة ما لهذا الغرض فإن القيم الحدية المقتضاة من ملاحظات وتجارب مختلفة قد تبدو مختلفة.

تغير c في نظية الحقل الكمي

في نظرية الحقل الكمي يشير مبدأ الريبة لهيزنبيرغ إلى إمكانية انتقال الفوتونات عند أي سرعة للمسافات القصيرة. تعرف هذه في تفسيرمخطط فينمان للنظرية باسم "الفوتونات الافتراضية " ويتم تمييزها من انتشارها بعيداً عن قشرة الكتلة يمكن لهذه الفوتونات أن تمتلك أي سرعة، بما في ذلك سرعات أكبر من الضوء في محاضرة لريتشارد فايمن، يقول فيها:

يقول ريتشارد فاينمان في إحدى محاضراته

بالرغم من ذلك فإن الفوتونات لا تتناقض مع مبدأ السببية أو النسبية الخاصة بما أن ملاحظتها غير ممكنة بشكل مباشر ولا يمكن نقل المعلومات في النظرية على نحو سببي مخططات فيمان والفوتونات الافتراضية لا تفسر على أنها تصور فيزيائي لما هي عليه حقيقة ولكن كأداة حسابية مناسبة بدلاً من ذلك (وهذا يحدث أحياناً مع مسألة متجهات أسرع من الضوء).

النجوم

النجوم عبارة عن كرة من الغازات المرتبطة معاً بوساطة جاذبيتها الخاصة وأقرب نجم إلى الأرض هو شمسنا ولذلك لدينا مثال قريب يستطيع علماء الفلك دراسته بالتفصيل ويمكن تطبيق الدروس التي نتعلمها عن الشمس على النجوم الأخرى.

حياة النجم عبارة عن صراع مستمر ضد قوة الجاذبية إذ تعمل الجاذبية باستمرار محاولةً التسبب في انهيار النجم على أية حال نواة النجم ساخنة جداً مما يؤدي إلى خلق ضغط داخل الغاز ويقاوم هذا الضغط قوة الجاذبية واضعاً النجم في حالة تعرف بالتوازن الهيدروستاتيكي (hydrostatic equiliburum) ويبقى النجم على ما يرام طالما استمر هذا التوازن الحاصل بين جاذبية سحب النجم للداخل والضغط الذي يدفع النجم نحو الخارج.

خلال معظم حياة النجم تقدم التفاعلات النووية الحاصلة في قلب النجم الحرارة والإشعاع الخاصين بالنجم وتعرف هذه المرحلة من حياة نجم ما بالتسلسل الرئيسي (main sequence) قبل وصوله إلى التسلسل الرئيسي ينكمش النجم ولا تعود نواته ساخنة أو كثيفة بما فيه الكفاية لبدء التفاعلات النووية من جديد إذاً حتى وصول النجم إلى التسلسل الرئيسي يستمر تزويده بالدعم الهيدروستاتيكي من قبل الحرارة المتولدة جراء الانكماش.

في مرحلة ما ستنفذ المواد التي يستخدمها النجم من أجل إشعال عملية الاندماج النووي في قلبه وعندما ينفذ الوقود النووي منه تبدأ المرحلة النهائية من حياته في التسلسل الرئيسي إذا كان النجم كبير بما فيه الكفاية قد يعاني سلسلة من التفاعلات النووية الأقل فعالية لينتج الحرارة الداخلية ومع ذلك في نهاية المطاف لن تستطيع هذه التفاعلات بعد ذلك توليد كمية من الحرارة كافية لجعل النجم يقاوم جاذبيته الخاصة وحينها يبدأ النجم بالانهيار.

التطور النجمي

يولد النجم ويعيش ويموت كأي شيءٍ آخر في الطبيعة وباستخدام مراقبات النجوم التي تشمل جميع مراحل حياتها أنشأ علماء الفلك دورة حياة لكل النجوم التي رصدوها ومصير وحياة أي نجم يعتمد بالدرجة الأولى على كتلته.

تبدأ كل النجوم حياتها من انهيار المواد الموجودة في سحابة جزيئية عملاقة هذه السحب عبارة عن سحب تشكلت بين النجوم وتتألف أساساً من الغاز الجزيئي والغبار يتسبب الاضطراب داخل السحابة بتشكل عقد يمكنها الانهيار تحت تأثير جاذبيتها الخاصة مع انهيار هذه العقد يبدأ تسخين المواد الموجودة في المركز ويعرف هذا القلب الساخن بالنجم البدائي protostar) (وسيصبح في نهاية المطاف نجماً مكتملاً.

لا تنهار السحابة إلى نجم واحد كبير فقط، وإنما ستكون كل عقدة مختلفة من المواد

النجم البدائي الخاص بها ولهذا السبب تسمى هذه السحب في كثير من الأحيان بالحاضنات النجمية (stellar nuseries) لأنها الأماكن التي تتشكل فيها العديد من النجوم مع استمرار النجم البدائي باكتساب المزيد من الكتلة يصبح قلبه أكثر سخونة وأكثر كثافة وفي مرحلة ما سيكون ساخناً بما فيه الكفاية، وكثيفاً بما فيه الكفاية لبدء صهر الهيدروجين إلى هليوم وحتى تبدأ عملية الاندماج النووي الحراري هذه يجب أن تكون درجة حرارة القلب ١٥ مليون كلفن وعندما يبدأ النجم البدائي بصهر الهيدروجين سيدخل في طور التسلسل الحقيقي لمراحل حياة النجوم الموجودة في التسلسل الرئيسي هي تلك التي تقوم بصهر الهيدروجين إلى هليوم داخلها ويمنع كل من الإشعاع والحرارة الناجمين عن هذا التفاعل، قوة الجاذبية من التسبب في انهيار النجم خلال هذه المرحلة من حياته وهذه المرحلة هي الأطول في مراحل حياة النجم ستقضي شمسنا حوالي ١٠ مليار سنة وهي تمر في التسلسل الرئيسي ومع ذلك فإن النجوم الأكثر ضخامة تقوم باستهلاك وقودها بشكلٍ أسرع وبالتالي تستمر السلسلة الرئيسية لحياتها ملايين السنين فقط.

في نهاية المطاف يستنفذ قلب النجم الهيدروجين وعندما يحدث ذلك لن يعود النجم قادراً على الصمود في وجه الجاذبية وستبدأ طبقاته الداخلية بالانهيار ما يؤدي إلى سحق القلب وهذا يزيد من الضغط ودرجة الحرارة في قلب النجم.في الوقت الذي ينهار فيه القلب تتوسع الطبقات الخارجية من المواد الموجودة في النجم نحو الخارج ويتوسع النجم إلى حجم كبير لم يبلغه في السابق أبداً -إذ سيكون أكبر ببضع مئات المرات! ويسمى النجم في هذه المرحلة بالعملاق الأحمر .(red giant) وما سيحصل بعد ذلك يعتمد على كتلة النجم.

مصير النجوم متوسطة الحجم

عندما يصل نجم متوسط الحجم (يمتلك كلتة أكبر من كتلة الشمس بحوالي ٧ مرات) إلى مرحلة العملاق الأحمر من حياته سيمتلك القلب ما يكفي من الحرارة والضغط لدفع الهليوم للانصهار مشكلاً الكربون مما يقدم للقلب زمن إضافي قصير قبل أن ينهار.

بمجرد انتهاء الهليوم من القلب سيلقي النجم بمعظم كتلته ليشكل سحابة من المواد التي تسمى بالسديم الكوكبي (planetary nebula) بعد ذلك سيبرد قلب النجم ويتقلص تاركاً خلفهُ كرة صغيرة وساخنة تعرف بالقزم الأبيض .(white dwarf) لا ينهار القزم الأبيض جراء قوى الجاذبية الخاصة به وذلك ناتج عن ضغط الالكترونات التي تقوم بالتنافر فيما بينها في قلب هذا النجم

دوران النجوم حول نفسها يكشف عن أعمارها

عندما كنت طفلاً كان كل عيد ميلاد سبباً للإحتفال لكن مع تقدمك بالعمر تصبح أعياد الميلاد أقل إثارة؛ فربما أنت لا تريد الاعتراف بأنك أصبحت أكبر ولاحظت أنك تصبح أبطأ مع تقدمك بالعمر لست وحدك – الأمر نفسه صحيح مع النجوم إنها تتباطأ مع تقدمها بالعمر وتحتفظ بأعمارها كأسرار يستفيد علماء الفلك حالياً من الحقيقة الأولى من أجل تعقب النجوم وقياس أعمارها بشكل دقيق.

دوران النُجوم حول نَفسِها يَكشِف عَن أعمارها

يقول سورين ميبوم (Soren Meibom) من مركز هارفارد- سيمثسونيان للفيزياء الفلكية (CfA): "هدفنا هو الحصول على ساعة يمكنها قياس الأعمار الدقيقة والصحيحة للنجوم بالاعتماد على سبينها (دورانها حول نفسها) أخذنا خطوة مهمة أخرى نحو بناء تلك الساعة". عرض ميبوم اكتشافات فريقه في مؤتمر صحفي في اجتماع الجمعية الأمريكية لعلم الفلك وتمثل نتائجهم التوسيع الأول لمثل هذه المراقبات المتعلقة بالنجوم ذات الأعمار الأطول من مليار سنة وتمتد نحو تلك التي يبلغ عمرها حوالي ٤.٦ مليار عام – وهو قريب من عمر شمسنا إن القدرة على تحديد أعمار النجوم هي الأساس في فهم كيفية انتشار الظواهر الفلكية التي تتضمن النجوم ومرافقيها مع مرور الوقت ترتبط معرفة عمر النجوم بشكلٍ خاص مع البحث عن إشارات على حياة خارجية موجودة خارج النظام الشمسي فقد تطلب الأمر وقتاً طويلاً حتى بدأت الحياة فوق الأرض بالوصول إلى تعقيدها الحالي وبوجود ساعات

نجمية دقيقة يستطيع علماء الفلك تحديد النجوم والكواكب التي يصل عمرها إلى عمر الشمس أو أكثر.

يعتمد معدل دوران النجم حول نفسه (سبينه) على عمره لأنه يتباطأ بشكلٍ منتظم مع مرور الزمن –بشكلٍ مشابه لمغزل يدور فوق طاولة ويعتمد سبين النجم أيضاً على كتلته فقد وجد علماء الفلك أن النجوم الأكبر والأثقل تميل لأن تمتلك معدلات دوران أسرع من النجوم الأصغر والأخف يوضح هذا العمل الجديد وجود علاقة رياضية وثيقة بين الكتلة، والسبين، والعمر ولذلك عبر قياس المقدارين الأولين يمكن للعلماء حساب الثالث يشرح المؤلف المشارك سيندي بارنز (Sydney Barnes) من معهد لايبنز للفيزياء الفلكية في ألمانيا: "وجدنا أن العلاقة الموجودة بين معدل الدوران والكتلة والعمر محددة بدرجة كافية جراء المراقبات وبالتالي يمكننا استخلاص أعمار النجوم المفردة بهامش خطأ يصل إلى ١٠%".اقترحت بارنز هذه الطريقة في البداية عام ٢٠٠٣ واعتمدت في ذلك على عمل سابق وسمت الطريقة دراسة الدوران الزمني (gyrochronology) هذه الكلمة قادمة من الكلمات الإغريقية (gyros) الدوران، و(chrono) الزمن/العمر، و(logo) دراسة.ولقياس سبين نجم ما يبحث علماء الفلك عن التغيرات الحاصلة في لمعانه والناتجة عن البقع المظلمة الموجودة فوق سطحه –المكافئ النجمي للبقع الشمسية على النقيض من شمسنا فإن النجم البعيد يكون عبارة عن نقطة من الضوء لا يمكن تمييز ما بداخلها ولذلك لا يستطيع علماء الفلك أن يقوموا بشكل مباشر برؤية بقعة شمسية ما أثناء عبورها القرص النجمي وبدلاً من ذلك، يراقب العلماء خفوت النجم قليلاً أثناء ظهور البقعة الشمسية وعودته إلى اللمعان بشكلٍ أكبر بعد اختفاء البقعة الشمسية جراء دورانها خارج حقل الرؤية من الصعب جداً قياس هذه التغيرات لأن النجم النموذجي يعاني من انخفاض لا يتجاوز ١%، وتحتاج البقعة الشمسية الواحدة إلى أيام من أجل عبور وجه النجم أنجز فريق العمل باستخدام بيانات المركبة الفضائية كبلر التابعة لناسا والتي تقدم قياسات دقيقة ومستمرة للمعان النجمي وكي يكون العمر المحدد عبر دراسة الدوران الزمني دقيق يجب على علماء الفلك أن يعايروا ساعتهم الجديدة عبر قياس فترات دوران النجوم حول نفسها – النجوم التي تمتلك أعمار وكتل معروفة درس ميبوم وزملاؤه في السابق عنقوداً نجمياً يبلغ عمره مليار عام وتفحص الطريقة الجديدة نجوم ذلك العنقود المعروف بـ NGC 6819 موسعة بالتالي وبشكلٍ معتبر مجال الأعمار يقول ميبوم: "تمتلك النجوم الأطول عمراً بقعاً أصغر وأقل عدداً ما يجعل من قياس فترات دورانها أمراً صعباً".

تحقق الفريق من نجوم تمتلك كتلة أكبر من كتلة الشمس بحوالي ٨٠% إلى ١٤٠% وكانوا قادرين على قياس فترات دوران ٣٠ نجم وامتدت تلك الفترات على المجال بين ٤ إلى ٢٣ يوم مقارنة مع فترة دوران الشمس حول نفسها البالغة ٢٦ يوم

تمتلك ثمان نجوم مشابهة للشمس فترة دوران تبلغ حوالي ١٨.٢ يوم تقريباً و هو أمر يوضح أن فترة دوران الشمس كانت عند تلك القيمة تقريباً عندما كان عمر ها ٢.٥ مليار عام (قبل حوالي ٢ مليار عام).بعد ذلك، قيم الفريق بضعة سيناريوهات حاسوبية موجودة من أجل حساب معدلات دوران النجوم بالاعتماد على كتلها وأعمارها ليعرفوا بالتالي أي النماذج يطابق المراقبات بشكلٍ أدق يقول ميبوم: "الآن يمكننا اشتقاق العمر الدقيق لعدد كبير من النجوم الباردة والموجودة في مجرتنا بالاعتماد على فترات دوران تلك النجوم هذه أداة جديدة ومهمة وستساعد علماء الفلك على دراسة تطور النجوم ومرافقيها ويمكنها المساعدة أيضاً في تحديد الكواكب ذات العمر المناسب من أجل نشوء وتطور الحياة المعقدة فوقها".

نشر هذا العمل على الانترنت في موقع مجلة بتاريخ ٥ كانون الثاني/يناير وهو جزء من دراسة عنقود كبلر الذي يعتبر ميبوم الباحث الرئيسي فيه.

مصير النجوم فائقة الكتلة

من المقدر أن تكون نهاية النجم العملاق الأحمر الذي يمتلك كتلة أكبر من كتلة الشمس بـ ٧ أضعاف نهاية مذهلة جداً تمر النجوم فائقة الكتلة بنفس الخطوات التي تمر بها النجوم متوسطة الكتلة أولاً تنتفخ الطبقات الخارجية للنجم العملاق بشكلٍ أكبر من نظيرتها الموجودة في النجوم المتوسطة وتُشكل عملاقاً أحمراً فائقاً (red supergiant).

بعد ذلك يبدأ القلب بالتقلص ليصبح ساخناً وكثيفاً جداً ومن ثم تبدأ عملية انصهار الهليوم إلى كربون في النواة عندما تنفذ كميات الهليوم الموجودة، تبدأ النواة من جديد بالانكماش لكن وبسبب امتلاك القلب للمزيد من الكتلة في هذه الحالة فإنه سيصبح ساخناً وكثيفاً بما فيه الكفاية لصهر الكربون إلى نيون في الواقع عندما يستهلك الكربون تحدث تفاعلات اندماج أخرى إلى أن يمتلئ قلب النجم بذرات الحديد حتى هذه النقطة تستمر تفاعلات الاندماج النووي بتقديم الطاقة مما يتيح للنجم محاربة الجاذبية ومع ذلك يتطلب صهر الحديد دَخلاً طاقياً بدلاً من إنتاج الطاقة الزائدة وبوجود قلب مليء بالحديد، سيخسر النجم معركته ضد الجاذبية ترتفع درجة الحرارة النواة إلى أكثر من ١٠٠ مليار درجة، جراء التصادمات الشديدة لذرات الحديد مع بعضها البعض وتتغلب قوى التنافر بين النوى المشحونة إيجابياً على قوة الجاذبية وعندها تنتفض النواة في قلب النجم خالقة موجة صدمة انفجارية في واحدة من أكثر الأحداث إثارة في الكون تقوم الصدمة بدفع المادة بعيداً عن النجم ضمن انفجار هائل يعرف بالسوبرنوفا(supernova) ، وفيه تُقذف المواد إلى الفضاء بين-النجمي وجراء السوبرنوفا يقذف حوالي ٧٥٪ من كتلة النجم إلى الفضاء ويعتمد مصير القلب الذي تركته السوبرنوفا ورائها على كتلته. إذا كانت كتلة القلب المتبقي تساوي حوالي ١.٤ إلى ٥ ضعف كتلة شمسنا سينهار القلب إلى نجم نيوتروني أما إذا

كان القلب أكبر من ذلك سينهار مشكلاً ثقبا أسودا من أجل أن يتحول نجم ما إلى نجم نيوتروني يجب يبدأ بكتلة تساوي ما بين ٧ إلى ٢٠ مرة ضعف كتلة الشمس قبل أن تحصل السوبرنوفا وفقط النجوم التي تمتلك كتلة أكبر من ٢٠ ضعف كتلة الشمس هي القادرة على أن تصبح ثقوباً سوداء لا تتواجد معظم المجرات وحيدة في الفضاء الواسع ولكنها مرتبطةٌ مع بعضها أو مع مجرات أخرى عبر الجاذبية فالقوة نفسها التي تحافظ على وجودك على الأرض تُحافظ على المجرات المفردة مرتبطة مع بعضها.

يمكن أن تكون المجموعات صغيرة مثل مجرتين تدوران حول بعضهما أو كبيرة مثل عنقود كوما الغني بآلاف المجرات التي توجد على مساحة يصل عرضها إلى عشرة ملايين سنة ضوئية هذه هي أكبر الأجسام المعروفة في الكون وتتمتع بكثير من الخواص التي تجعل منها مختبرات فلكيةً عظيمة.

على سبيل المثال:

- تتغير العناقيد ببطء إذ قد يحتاج العنقود النجمي إلى فترة تصل إلى عمر الكون كي يحصل فيه تغير معتبر و من ثم تحتفظ العناقيد ببصمة تتعلق بكيفية تشكلها ويجعل هذا الأمر من العناقيد طريقة جيدة لسبر تاريخ تطور الكون وبنيته.
- على النقيض من المجرات تميل العناقيد للاحتفاظ بالغاز في أنظمتها ففي المجرات يجبر الغاز على الاتجاه نحو الخارج جراء انفجارات السوبر نوفا وبكلمات أخرى فإن العناقيد هي أنظمة مغلقة وبدراسة التركيب الكيميائي للعناقيد يمكننا الحصول على تاريخ الاصطناع النووي في الكون.
- تنتج قوة الجاذبية التي تحافظ على العناقيد مرتبطة بمعظمها عن المادة المظلمة ما يجعل من العناقيد طريقة ممتازة لدراسة المادة المظلمة في الكون.

الجزء المرئي من العناقيد المجرية و هو جميع النجوم الموجودة في المجرات المكونة للعنقود يمثل قسما صغيرا جداً من المكونات الإجمالية للعنقود و من المحتمل أن تكون الجزء الأقل أهمية في العنقود على سبيل المثال يدرس العلماء إصدار الأشعة السينية القادمة من العناقيد المجرية وقد وجدوا أنها قادمة من غاز ساخن (١٠ إلى ١٠٠ مليون درجة) محتجز بوساطة قوة جاذبية العنقود ويجعل هذا الأمر من الغاز الجزء المكون لمعظم كتلة العنقود مقارنة بكتلة النجوم لكنه غير مرئي بالمطلق بالنسبة للعين البشرية يدرس العلماء في مركز غودارد لرحلات الفضاء العديد من الأشياء المتعلقة بالعناقيد المجرية لكن يمكن تقسيم هذه الأشياء إلى مجموعتين رئيسيتين هما:

- **مم تتكون العناقيد؟**
- **كيف تتطور العناقيد؟**

العناقيد مؤلفة من نوعين أساسيين من المادة هما: المادة اللامعة (مثل النجوم والغاز الساخن) والمادة المظلمة التي لا تسطع بنفسها والطريقة الوحيدة لمعرفة وجودها تعتمد على تأثيرها الثقالي على المادة اللامعة وفيما لو أردنا معرفة كمية المادة المظلمة الموجودة في كامل الكون فإن علينا دراسة شيء يمثل الكون بالمجمل أي شيء كبير إن عناقيدَ المجرات هي أكبر الأجسام المعروفة في الكون ويعتقد بأنها كبيرة إلى درجة امتلاكها لنفس نسبة المادة المظلمة التي يمتلكها الكون وتهدف إحدى حقول دراسات العناقيد إلى استخدام مراقبات الأشعة السينية من أجل فهم كميات المادة اللامعة والمادة المظلمة الموجودة في العناقيد توجد معظم المادة اللامعة في

العناقيد على شكل غاز ساخن بين المجرات ويشع هذا الغاز الذي تبلغ درجة حرارته بين ١٠ إلى ١٠٠ مليون درجة بالأشعة السينية وترتبط كمية الغاز الساخن الموجود في مجرة ما ببساطة بالسطوع الإجمالي للأشعة السينية التي نرصدها من العنقود ومن ثم يمكننا إجراء قياس مباشر للمادة اللامعة بالاعتماد على مراقبات الأشعة السينية لعناقيد المجرات.

مع ذلك يمكن الاستدلال على كمية المادة المظلمة الموجودة في عنقود ما بالاعتماد على المادة اللامعة المرصودة حيث يمكننا القيام بذلك لأن العناقيد المجرية عبارة عن أنظمة "مسترخية" أي يوجد فيها توازن بين المادة المظلمة وضغط العنقود الذي يرتبط بالغاز المُصدر للأشعة السينية التي نرصدها ولذلك باستطاعتنا تقدير كميّة المادة المظلمة عبر افتراض وجود التوازن بينها وبين الغاز.

بعض الاستنتاجات المفاجئة

عندما ندرس كميةَ المادة المظلمة الموجودة في العناقيد نجد أنه على الرغم من كونها أكثر من المادة اللامعة إلا أنها لاتزال أقل بكثير مما تنبأت به "نظريات كل شيء" وأحد عواقب هذا الأمر فيما لو كان صحيحاً هو أن الكون سيستمر بالتوسع إلى الأبد: لن يكون هناك مقدار كاف من المادة لإيقاف التوسع بالاعتماد على قوة الجاذبية.

الوفرة الكيميائية في العناقيد: دليل آخر

يمضي طريق بحث آخر حالياً باستخدام أطياف الأشعة السينية لتحديد ما هي أنواع العناصر الموجودة في الغاز بين المجرات ويمكن استخدام هذه المراقبات كاختبار إضافي لنماذج العناقيد وتطورها المواد اللامعة في العناقيد ليست نفسها في كل مكان فبعض هذه المواد هي هيدروجين وهليوم بدائيان قادمان من الانفجار العظيم وبعضها عناصر أثقل مثل الأكسجين، والنيون، والمغنيزيوم، والسيليكون، والكبريت وهذه الأخيرة ولدت جراء عمليات الاندماج النووي في النجوم، أو في انفجارات السوبر نوفا قد تستطيع النماذج التي شرحت كيفية انطلاق هذه العناصر من النجوم داخل المجرات إلى العناقيد وغازات العنقود، أن تشرح أيضاً السبب الكامن وراء امتلاك بعض العناقيد كميات من المادة المظلمة أكبر من غيرها

حياة العناقيد المجرية

يتعلق بعض أكبر الأسئلة التي يتأملها علماء الكون حالياً بكيفية تشكل الكون ومن هذه الأسئلة: "لو أن كل شيء بدأ مع الانفجار العظيم عندما كانت الأشياء ساخنة جداً وناعمة جدا فكيف أصبحت الأجسام متكتلة إذًا ؟" و"كيف بدأت المجرات بالتشكل؟" تعتبر هذه الأسئلة من بين الأسئلة الأساسية جداً لكن الإجابة عنها تبدو من

الأكثر صعوبة على الإطلاق لقد مضت مليارات الأعوام على حصول الانفجار العظيم وكذلك الأمر بالنسبة لتشكل أولى المجرات فكيف يمكننا النظر إلى ما نشاهده اليوم وتخمين ما حصل سابقاً إذاً؟ إن العناقيد المجرية هي إحدى الأماكن التي يتوجب علينا النظر إليها بحثاً عن الأجوبة فهذه العناقيد عملاقة جداً إذ قد يصل عرض بعضها إلى عشرة ملايين سنة ضوئية وهي تحتوي على آلاف المجرات وفي كثير من النماذج الكونية تتشكل هذه العناقيد فائقة الكتلة انطلاقاً من عناقيد مجرية أصغر وأكثر شيوعا وفيما لو كان ذلك صحيحا فإن العناقيد المجرية المتشكلة منذ وقت طويل يجب أن تكون أصغر وسطياً من العناقيد الحديثة ويجب أن يتغير تابع الكتلة الذي يصف عدد العناقيد كتابع للكتلة بطريقة محددة مع مرور الزمن لكن كيف يمكنك النظر إلى العناقيد التي تشكلت منذ وقت طويل جداً؟ يكمن الجواب في أن الضوء يتحرك عند سرعة محددة تماما والضوء الذي نشاهده اليوم قادماً من بعض الأجسام كان في الواقع قد غادر هذه الأجسام منذ ملايين السنين وبسبب توسع الكون ينزاح مثل هذا الضوء نحو المجال تحت الأحمر وكلما كان الانزياح نحو الأحمر أكبر كلما كان الضوء قد قطع مسافة أكبر ليصل إلينا وهو ما يعني أن بإمكاننا العودة بالزّمن إلى الوراء عبر رصد الأجسام التي تنزاح نحو الاحمر كثيرًا.

وفي هذا الإطار تتجلى إحدى أكبرِ المشاكل في صعوبة النظر إلى الأجسام المنزاحة بشكل كبير نحو الأحمر فهي تميل إلى أن تكون خافتة جداً وهذا الأمر صحيح بشكل خاص عندما تريد الحصول على عينة إحصائية كبيرة كأن يأخذ المرء عينة من أجل الوصول إلى قانون عام حول النزعة المتعلقة بأحجام العناقيد المجرية على مدار أعوام طويلة من الزمن فمثل هذه النزعة مقبولة في حالة وحيدة فقط وهي عندما ترصدها في الكثير من العناقيد.

معالجة السؤال

تستخدم مجموعتنا للأبحاث مراقبات الأشعة السينية لتطوير عمليات مسح للعناقيد المجرية وتابع لمعان الأشعة السينية الإجمالي لها(XLF) فقياس هذا التابع بالنسبة لعنقود أبسط بكثير من قياس تابع كتلتهMF لكن تفسيره أصعب بكثير ولقياس XLF للعناقيد المجرية بدأ مسح ROSATواسع الحقل (أو اختصاراًWARPS (العمل في مركز غودارد للطيران الفضائي يغطّي WARPS منطقة صغيرة من السماء وبالتالي العناقيد الأقل غنى لكن الخرائط الناتجة عنه تأخذ بعين الاعتبار اللمعان المنخفض جداً ولإنجاز هذا المسح نستخدم القمر الصناعي.ROSAT

ما الذي تقدمه عمليات المسح للعناقيد؟

يبين مسح تابع XLF آخر يعرف بمسح ايزشتاين الموسع ومتوسط الحساسية (EMSS)، تقريباً عدم وجود اختلاف في توابع XLFs للعناقيد التي تمتلك قيمة انزياح

نحو الأحمر z>0.3 وتلك التي تبلغ قيمتها .z<0.3 عند الحد الأعلى لتابع اللمعان هناك إشارة على ميل أقل لوجود العناقيد عند لمعان مرتفع وذلك عند انزياحات نحو الأحمر أكبر من ٠.٣ و هذا الأمر مناقض لما توقعناه بالاعتماد على أبسط النماذج الكونية التي تتنبأ بوجود عناقيد لامعة أكثر في المراحل المبكرة.

ماذا يخبئ المستقبل؟

WARPSمشروع مستمر في العمل وقد اكتمل جزيئاً فقط وعندما يتم الانتهاء من المشروع يمكننا استخدامه من أجل توابع XLF بالنسبة للعناقيد منخفضة اللمعان يقدم كل من WARPS وعمليات المسح الأخرى عينة من العناقيد للاستخدام كمدخلات للدراسات المستقبلية التي ستجري بوساطة مهمات الأشعة السينية كمرصد تشاندرا الفضائي وتلسكوب نيوتن XMM، وستكون هذه المهمات قادرة على قياس درجات حرارة الأشعة السينية للعناقيد بما في ذلك تلك الموجودة عند انزياح كبير جدا نحو الأحمر وستسمح قياسات درجة الحرارة للعناقيد بتحديد تابع درجة الحرارة (TF) لتلك العناقيد فارتباط درجة الحرارة بالكتلة أبسط بكثير مما هو الحال مع اللمعان ومن ثم نتجنب الكثير من التعقيدات مثل الحقن الطاقي الناجم عن السوبرنوفات القديمة جداً وستسمح مقارنة توابع TFs لكل من الانزياحات المرتفعة نحو الأحمر وتلك المنخفضة بالوصول إلى قيود أفضل بكثير بالنسبة للنماذج الكونية.

العناقيد المجرية

المجموعة المحلية Local Goup ويبلغ قطرها ٢٠ مليون سنة ضوئية أما عنقود Virgo (تجمع مجرات العذراء) وعنقود مجرات Fornax فتبعد عنا نحو ٦٠ مليون سنة ضوئية ويشكل كل ذلك التجمع واحد من العناقيد الهائلة للمجرات (super clusters)

السوبرنوفا (المستعر الاعظم)

السوبر نوفا هو انفجار نجم ما في الفضاء وللسوبر وفات أهمية بالغة في مجرتنا فهي تعمل على تسخين الأوساط النجمية ونشر العناصر الثقيلة في كافة

أرجاء المجرة كما تقوم بتسريع الأشعة الكونية لكن ما الذي يودي بالنجوم إلى الانفجار؟ وهل هناك أكثر من نوع من السوبر وفات؟ يبدو في الحقيقة أنه يوجد نوعين مختلفين من السوبرنوفات: أحدها ذلك الذي يحدث لنجم وحيد وضخم ونوع آخر هو الذي يحدث لقزم أبيض موجود في نظام نجمي ثنائي جراء عملية امتصاصه للنجم المرافق.

النوع الأول: السوبرنوفا الناشئة عن نجم وحيد وضخم

تنتهي حياة النجوم التي تكبر كتلة شمسنا بحوالي ٨ مرات أو أكثر بشكل أكثر إثارة من غيرها فهي تنفجر على شكل سوبرنوفا ويحدث ذلك عندما يقل الوقود اللازم لعملية الانصهار في قلب النجم عن الحد اللازم لإنتاج ضغط للخارج يضاهي قوة سحب الجاذبية للداخل والتي تتناسب مع كتلة النجم الضخمة يبدأ النجم بالتضخم ليُصبح ما نسميه بـ "العملاق الاحمر" في بداية تلك المرحلة إذ أن لون النجم يكون أحمراً على الأقل من الخارج بينما في الداخل يبدأ قلب النجم بالانكماش تحت تأثير قوة الجاذبية ليصبح أكثر حرارة وأكثر كثافة هذا ما يحفز سلسلة جديدة من التفاعلات النووية لم تكن ممكنة سابقاً يقوم ذلك بعملية انهيار للنجم مؤقتا غير أن هذا الأمر لا يطول للأسف فبعد أن تتحول كل العناصر الموجودة داخل القلب إلى عنصر الحديد لا يبقى فيه شيء لإنتاج الطاقة (فنتيجة لتركيب ذرة الحديد لا يؤدي انصهارها إلى إنتاج أي طاقة، مما يعني عدم جدواها) فيتوقف الانصهار داخل القلب في أقل من ثانية واحدة يبدأ النجم في دخول آخر مراحل الانهيار الثقالي حيث ترتفع درجة حرارة القلب إلى ما يفوق الـ ١٠٠ مليار درجة سيليزية أثناء تصادم ذرات الحديد مع بعضها البعض ورغم وجود قوى تنافر بين الأنوية موجبة الشحنة فإن قوة الجاذبية تنتصر عليها ولذلك ينضغط القلب ومن ثم يرتد فتنتقل طاقة الارتداد تلك على شكل موجات حتى تصل إلى سطح النجم فينفجر وينتج ما نسمية بموجة الصدمة (Shock Wave). وعندما تصادف تلك الأمواج مواداً معينة عند سطح النجم تقوم بتسخينها وبالتالي صهرها مما يؤدي إلى إنتاج عناصر ونظائر مشعة جديدة ومن ثم تعمل نفس الأمواج تلك على دفع تلك المواد إلى الفضاء نطلق على تلك المواد اسم "بقايا السوبرنوفا" وكل ما يتبقى من النجم هو قلب صغير مدمج (شديد الكثافة) يتكون بمعظمه من النيوترونات ولذلك نُسميه حينها "النجم النيوتروني"، أما إذا كان النجم المنفجر شديد الضخامة (أكبر ١٥ مرة أو أكثر من الشمس)، فحتى النيوترونات عندها لا تقوى في تلك الحالة على الصمود جراء انهيار القلب ليتشكل بالتالي ثقب أسود وتقوم المواد الملتهبة الناتجة عن الانفجار والنظائر المشعة والإلكترونات الحرة المتحركة في الحقل المغناطيسي للنجم النيوتروني بإنتاج أشعة غاما وأشعة سينية وهي عبارة عن فوتونات عالية الطاقة يستغلها الفلكيون في دراسة ظاهرة السوبرنوفا ودراسة النجوم النيوترونية.

النوع الثاني: انفجار القزم الأبيض انفجاراً نووياً – حراريا

يحدث نوع آخر من السوبرنوفات على شكل انفجار مفاجئ لقزم أبيض موجود في نظام نجمي ثنائي إن القزم الأبيض هو آخر مراحل حياة بعض النجوم التي كانت كتلتها تساوي ثمانية أضعاف كتلة شمسنا أو أكثر ولكن القزم الأبيض الذي يتبقى يتمتع بكتلة أقل من ١.٤ ضعف كتلة الشمس بينما يصل حجمه إلى حجم الأرض فقط!وغالبا ما يكون رفيق القزم الأبيض في النظام النجمي عبارة عن عملاق أحمر ويحدث أحياناً أن يكون النجمين قريبان جداً من بعضهما البعض بشكلٍ يسمح بانسياب المادة من العملاق الأحمر نحو القزم وما أن تصل كتلة القزم المتزايدة إلى حوالي ١.٤ ضعف كتلة الشمس وهو ما يسمى بحد تشاندراسكار (Chandrasekhar threshold) يفوق الضغط على قلب النجم الحد اللازم لصهر ذرات الأكسجين والكربون مما يؤدي إلى انصهارهما داخله بشكل عشوائي ومن ثم انفجار النجم انفجاراً نووياً حرارياً تاماً بحيث لا يتبقى أي شيء من النجم عدا بعض العناصر المتناثرة التي هربت من القزم المنفجر أو تلك التي تكونت نتيجة انصهار العناصر المختلفة خلال حدوث السوبرنوفا ومن ضمن تلك العناصر التي تقوم السوبرنوفا بتكوينها نجد عناصر مشعة كالنيكل الذي يحرر كميات ضخمة من الطاقة يُوجد بعضها في طيف الضوء المرئي.من الجدير بالملاحظة أن تطور هذه السوبرنوفات يميل إلى أن يكون متشابهاً.

القزم الأبيض

حياته وخصائصه

القزم الأبيض هو نوع من أنواع النجوم في مجرتنا مجرة درب التبانة أو الطريق اللبني وله حجم صغير في حدود حجم الكوكب (ولذلك أطلق عليه اسم قزم مقارنة بأحجام النجوم) ولكن كثافته عالية تصل إلى مليون مرة قدر كثافة الشمس وألوانها ما بين اللون الأبيض والأصفر والأقزام البيضاء نجوم قليلة اللمعان في السماء وبالرغم من كونها داكنة وصغيرة الحجم كحجم كوكب الزهرة فهي تحوي كثافة مادية عالية جدا وهذه المادة في داخل القزم الأبيض مكدسة بشكل مضغوط حيث تكون كثافة السنتيمتر المكعب ما بين طن إلى عشرة أطنان من المادة تقريبا ويرجع السبب إلى أن نجوم الأقزام البيضاء لا تولد الطاقة النووية إذ انها تبدأ بنجم متوسط الحجم (كشمسنا) وتنتهي حياته في هيئة القزم الأبيض يكون النجم قد استنفذ معظم الهيدروجين فيه ويتوقف الاندماج النووي فينكفئ على نفسه وتتكدس كل كتلته في قلبه الذي يصبح شديد الكثافة تعتبر الأقزام البيضاء نجوما تحتضر وسطوحها ساخنة بدرجة غير اعتيادية، بسبب انكفائها على نفسها تحت تأثير الجاذبية وهي تفقد حرارتها رويدا رويدا عن طريق الإشعاع.

الخصائص العامة

يصل قطر النجم القزم الأبيض عدة آلاف الكيلومترات فقط إلى عشرة آلاف كيلومتر أي أن حجمها يقرب من حجم الأرض وتبلغ درجة حرارة سطحها في البداية من ١٠٠٠٠ إلى ١٠٠.٠٠٠ درجة مما يجعلها تبدوذات ضوء أبيض. ثم يبدء القزم الأبيض يفقد حرارته بسبب قلة التفاعلات الداخلية فيه وقلة وقوده النووي فيبرد ويصبح بعد مليارات السنين قزما أسود .تتكون معظم الأقزام البيضاء من عنصري الكربون والاوكسجين التي تكون قد تكونت أثناء الاندماج النووي فيه لأنوية الهيليوم بعد أن استنفذ وقوده النووي من الهيدروجين وتبلغ كثافة القزم الأبيض نحو طن \سنتيمتر مكعب، وذلك يرجع لكتلته التي تعادل كتلة الشمس ولكن ضمن حجمه الصغير فقطر القزم الأبيض يتراوح بين ٠.٠٠٨-٠.٠٢ قطر الشمس وهذا يقترب من قطر الأرض تقريباً وهذا مايفسر كثافته العالية وتحت هذا الضغط العظيم يصل فيها الغاز فيه إلى حالة انفطار (فيزياء) كما يسميها العلماء هذه الحالة تعني انشطار مستويات الطاقة في نظام يتبع ميكانيكا الكم إلى مستويات ثانوية.

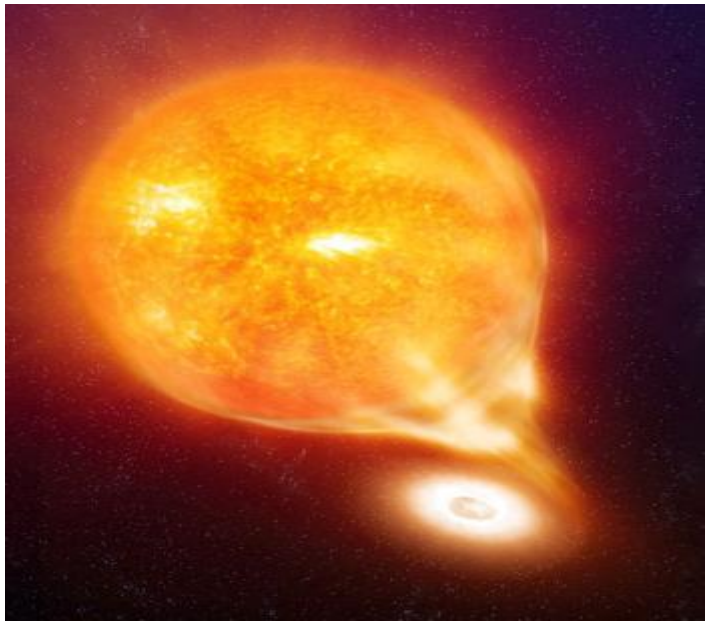
القزم الأبيض وميكانيكا الكم

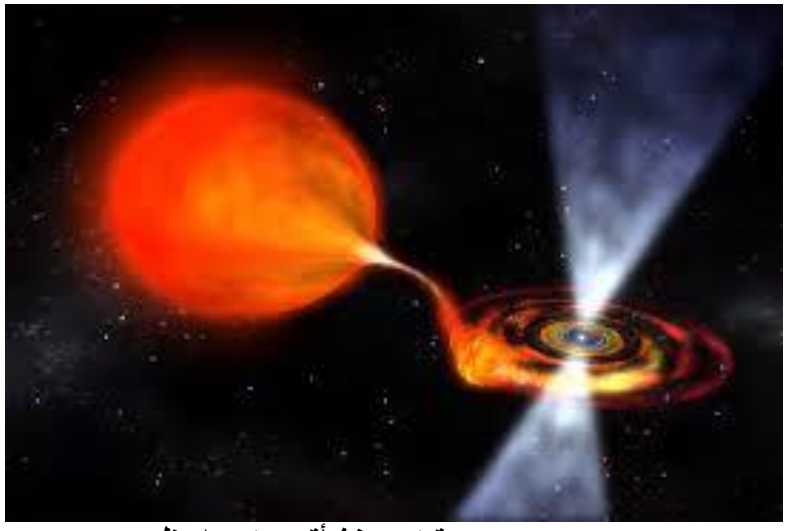
ويتحكم في القزم الأبيض قوى تنبع من مبدأ استبعاد باولى وطبقاً له فلا يمكن لالكترونين شغل نفس مستوى الطاقة في بلازما القزم الأبيض وطبقا لميكانيكا الكم تتوزع مستويات الطاقة الممكنة بحيث تزيد المسافة بينها تزايداً عكسياً مع ضمور حجم النجم ونظرا لاشغال مستويات الطاقة في المتسويات التحتية ينشأ عن الضغط الناشئ عن قوي الجاذبية أن تشغل الإلكترونات مستويات الطاقة العليا في البلازما وينتج عن ذلك ضغطا مضادا يقاوم الضغط الناشئ عن الجاذبية فإذا كانت كتلة النجم في البدء ١,٤٤ من كتلة الشمس فلا يمكن تعادل تلك القوتان بذلك الشكل ومن العجيب ان قطر القزم الأبيض يعتمد على كتلة الالكترون أي أن أحد المقاييس الكونية متعلق بأحد المقاييس الذرية أو تحت الذرية مباشرة كذلك يعتمد التوازن في النجوم النيوترونية على سريان مبدأ استبعاد باولي والذي فيه تشغل النيوترونات مستويات الطاقة في النجم بدلا عن الإلكترونات في القزم الأبيض حيث تمتص البروتونات الإلكترونات وينتج عنها نيوترونات هي بمفردها مكونات النجم النيوتروني.

القزم الأبيض والنسبية العامة

ونظراً لكثافة الأقزام البيضاء العالية (١ طن/ سنتيمتر مكعب) فيعتبر أحد الكتل الضخمة التي تؤثر في هيئة نسيج الزمكان حولها ويمكن أن تتطبق عليه النظرية النسبية الخاصة فهو يُبدي ظاهرة انزياح احمر تجاذبي في مجال جاذبيته، وقد تم رصد ذلك عملياً في خمسينيات القرن العشرين.

ويتطلع العلماء بأمل كبير في العثور نجم مزدوج من الأقزام البيضاء حيث تنتج عنهما موجات جاذبية لم تشاهد بعد ولكن يبذل العلماء جهودا لمشاهدتها عملياً ولهذا قررت إنجلترا وألمانيا على توحيد الجهود والعمل على تنفيذ بناء مرصد بالاقمار الصناعية يسمى ليزا Laser Interferometer Space Antenna (LISA) لتحسس موجات الجاذبية وإثبات تواجدها حيث تنبأ بها أينشتاين في النظرية النسبية العامة.





صورة تبين نشأة مستعر اعظم

كيف يمكن أن يصبح النجم ثقب أسود؟

يصدر النجم الضوء نتيجة لاندماج نوى الهيدروجين وهي عملية تطلق كميات هائلة جداً من الطاقة تنجو النجوم لملايين أو مليارات السنين جراء التوازن الحاصل بين الضغط الناجم عن تفاعلات الاندماج النووي وسحبها الثقالي الذي يتجه إلى الداخل تنتهي حياة النجوم عندما تستنفذ كامل الوقود النووي وفي البداية يتضخم النجم ويضيء ويبرد حتى يصبح عملاقا أحمرا بعد ذلك ينهار إلى بقايا نجمية متراصة وأصغر بكثير من شمسنا لكنها تشابهها بالكتلة تموت النجوم ذات الكتلة الأقل من ثمانية أضعاف كتلة شمسنا بسلام إذ تتلاشى الطبقات الخارجية من النجم عبر الرياح النجمية مما يجعلنا نرى النجم كسديم كوكبي وكل ما يتبقى من النجم هو عبارة عن جسم بحجم الأرض تقريباً ويدعى هذا الجسم بالقزم الأبيض أما النجوم الأثقل فتموت على شكل انفجارات مستعرات فائقة مذهلة إذا كان النجم معتدل الكتلة تشكل البقايا نجما نيوترونيا: وهو عبارة عن كرة كثيفة من الجسيمات الحيادية العنصرية والتي توجد جميعها في مكان قطره أقل من ١٠ ميل ليس لدى النجوم فائقة الكتلة -كتلتها أكبر من كتلة من الشمس بحوالي ٢٥ مرة أوأكثر- وسائل لمقاومة جاذبيتها الخاصة أثناء موتها وبذلك تنهار كليا إلى ثقب أسود. يمكننا إيجاد أمثلة عن دورة حياة النجوم في السماء من حولنا فشمسنا عبارة عن نجم نموذجي متوسط الحجم والعمر ونجم منكب الجوزاء المعروف ما هو إلا عملاق أحمر وتشكل السدم الكوكبية وبقايا السوبرنوفا في السماء مشهدا مذهلا يمكن رصده بالتلسكوبات الصغيرة وأحد الأمثلة الجيدة على ذلك هو NGC 7027 وسديم السرطان ألبيريو(Albireo) هو أيضا مثال

جيد عن نظام ثنائي النجوم يوجد فيه نجمين يدوران حول بعضهما وإذا ما تطور أحد هذين النجمين إلى ثقب أسود يمكن أن يصبح هذا النظام مصدرا لأشعة اكس وفي مجرتنا درب التبانة، يوجد مثال جيد على هذا الأمر هو نظام (Cygnus X-1). ويُمكننا أيضا رؤية العديد من الأمثلة الأخرى في المجرات القريبة مثل المجرة M33.