نظرية الكون التعاقبي 5

إعداد وترجمة د. جواد بشارة

الجاذبية النيوتنية والثقالة الآينشتاينية والنسبية الخاصة:Gravitation et relativité restreinte

سرعان ما واجه أينشتاين مشكلة التوفيق بين نظرية نيوتن للجاذبية ونظريته النسبية الخاصة.

أظهر العالم الفرنسي لابلاسLaplace أن تأثير الجاذبية يجب أن ينتشر على الأقل عدة ملايين مرة أسرع من الضوء لمطابقة مدارات الكواكب المرصودة في النظام الشمسي.

بالإضافة إلى ذلك، تتعامل نظرية أينشتاين مع وصف الحركات في أطر مرجعية بدون تسريع. ترتبط هاتان المشكلتان بأعجوبة ويمكن التغلب عليها بالملاحظة التالية البسيطة للغاية: إن الكتل الخاملة والجاذبية للأجسام هي نفسها. ماذا يعني ذلك؟

الكتلة الخاملة La masse inerte هي المعامل الذي يتدخل في قانون نيوتن الذي يربط تسارع الجسم بالقوة التي يتعرض لها، والمعروف باسم الجاذبية يرتبط بتقدير شدة القوة التي يتعرض لها الجسم في مجال الجاذبية. هذا أمر مزعج للغاية كما في حالة القوة الكهربائية أو المغناطيسية، حيث تظهر الشحنة. لذلك نشك في وجود صلة بين قوانين الميكانيكا وقانون مجال الجاذبية.

التطبيق اللافت لهذه المساواة اليوم هو التجارب في هبوط الطائرات مؤقتًا. داخل الطائرة، تبدأ جميع الأجسام التي تسقط بنفس السرعة بالنسبة إلى الأرض في الطفو بالنسبة لبعضها البعض.

محليًا يمكننا أن نجد إطارًا مرجعيًا تلغي فيه تأثيرات مجال الجاذبية بعضها البعض!

على العكس من ذلك، يمكننا أن نجد إطارًا مرجعيًا متسارعًا بحيث يمكن للمراقب أن يعتقد أنه غير متحرك ولكنه يخضع لحقل جاذبية. تتمثل الخطوة الأساسية التالية في الوصول إلى أساسيات النسبية العامة في النظر إلى ما يحدث عندما نحاول تطبيق النسبية الخاصة على الأجسام المتسارعة. بشكل عام، نعتبر حالة القرص في دوران موحد.

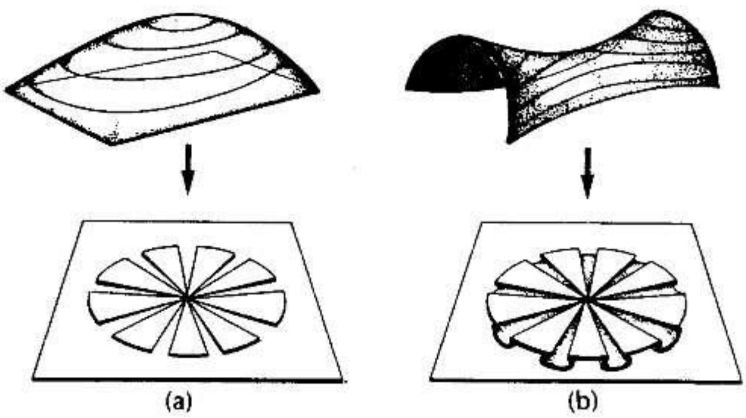
تخضع كل نقطة على طول نصف القطر لسرعة v تزداد مع زيادة المسافة من مركز القرص. لذلك فإن الساعة في كل من هذه سيكون لها تحول أكثر وضوحًا كلما ابتعد المرء عن هذا المركز. بالإضافة إلى ذلك، يشير قياس محيط القرص، بسبب تقلص الأطوال، إلى أن هذا لا يبدو للتحقق من المعادلة أو العلاقة التالية: $C = 2\pi R$. وبالتالي، لم تعد الهندسة المكانية إقليدية لبعض المراقبين وهذا يتعلق بحقيقة أننا في وجود حركات متسارعة. ومع ذلك، كما رأينا، يمكن تفسير التسارع في إطار مرجعي محليًا على أنه وجود مجال جاذبية. لذلك أظهرنا للتو صلة بين الجاذبية وهندسة الفضاء. يستنتج أينشتاين من هذا أن ظواهر الجاذبية يجب أن تكون مرتبطة بشكل عام بهندسة غير إقليدية للزمكان وليس الفضاء فقط، وإلا سيكون لدينا تناقض مع مفهوم الزمكان ذاته في نظام بدون الجاذبية.

نظرية الفراغات المنحنية بأبعاد N: La théorie des espaces courbes à N dimensions

من الطبيعي تمامًا أنه تم توجيهه لاستخدام النظرية العامة للمساحات المنحنية ذات الأبعاد N التي قدمها ريمان Riemann في القرن التاسع عشر.

في هذه النظرية الريمانية، لم تعد الهندسة إقليدية، ومجموع زوايا المثلث لم يعد 180 درجة ولم يعد محيط الدائرة يساوي2πR- πR2. يمكن رؤية هذا بسهولة مع الأشكال الهندسية على الأسطح أدناه. امتلاك انحناء موجب على التوالي (كما هو الحال بالنسبة للكرة)، أو سلبي (كسرج حصان)، لا يمكن تطبيقها على طائرة دون تمزيقها أو بدون تجعدها.

Fig. II.1 a) For a surface with positive curvature, there are gaps if it is flattened onto a plane. b) For a surface with negative curvature, there is overlap if it is flattened onto a plane



لا يمكن أن يتم تسطيح السطح المنحني بشكل إيجابي إلى اليسار على مستوى بدون تمزق. لا يمكن أن يتم تسطيح السطح المنحني بشكل سلبي بدون تجعد. مقتطف من تقرير Cern الأصفر 91-06. © روث م. ويليامز يظهر المقياس السابق في الفاصل الزمني بشكل متناهي الصغر. سيتم تعميمها في، وسيتم وصفه بواسطة موتر والذي من الواضح أنه يتقلص إلى السابق عندما تكون المساحة مسطحة.

يعود تاريخ تقديمها إلى تحقيقات غاوس Gauss في أوائل القرن التاسع عشر حول هندسة الأسطح المنحنية، وهي نتيجة واضحة لعمله في الجيوديسياla géodésie .

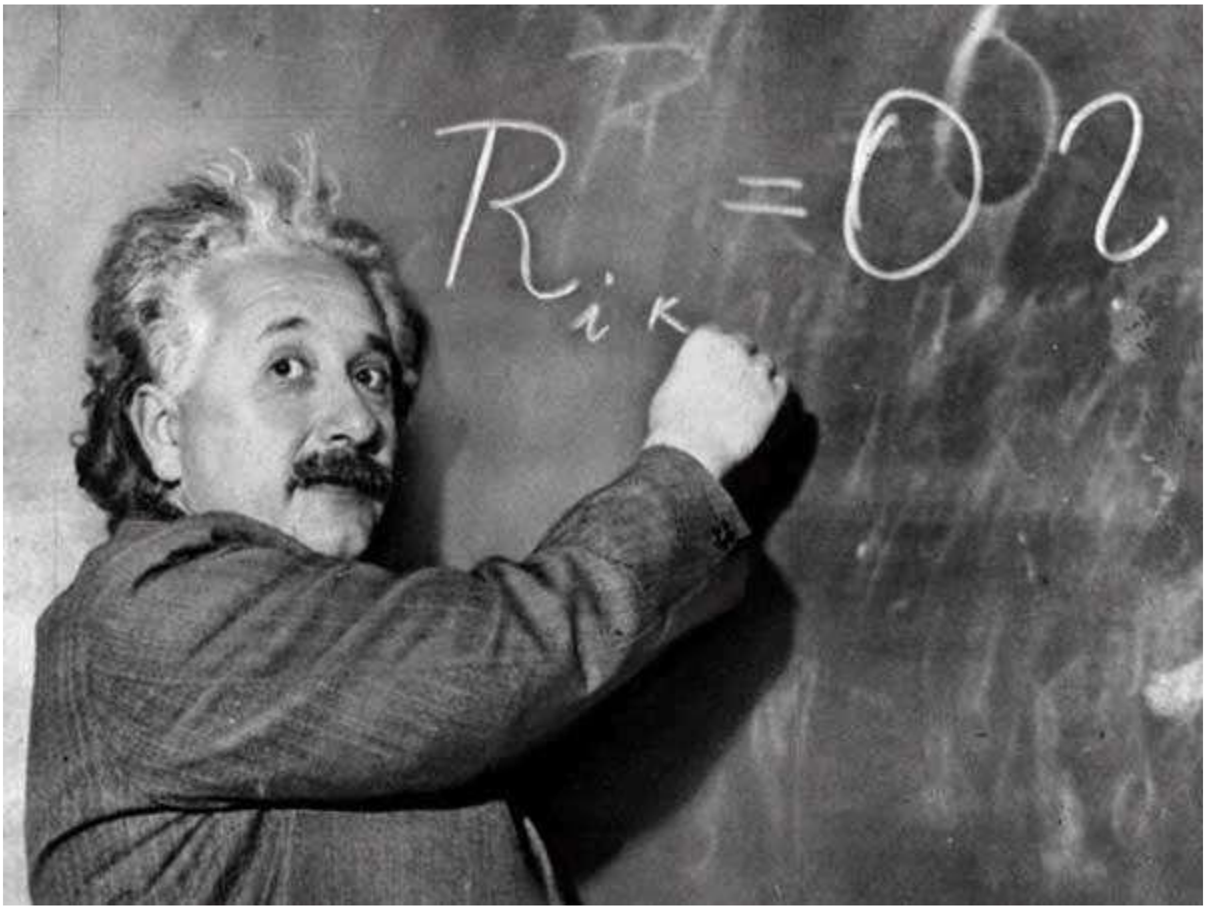
لاحظ أيضًا أن هناك مفهوم الفعل ورد الفعل في فيزياء نيوتن. ترتبط قوى الطرد المركزي بإطارات مرجعية متسارعة وبمبدأ التكافؤ الذي يمكن تفسيره على أنه قوى الجاذبية، إلى ما يمكن بالتالي أن يتوافق مع تفاعل المادة مع التسارع من خلال تغيير الإطار المرجعي؟ في السياق السابق، تظهر الاستجابة بشكل طبيعي، يجب تشويه الزمكان نفسه! نجد بطريقة أخرى علاقة بين زمكان ذي هندسة متغيرة ومجال الجاذبية.

نظرًا لأن توزيع المادة مرتبط بتوزيع الطاقة، فبالإضافة إلى أن المادة تولد مجال جاذبية، فإننا نستنتج أنه لا بد من وجود معادلات تعمم معادلات الجاذبية النيوتونية وتربط توزيعات المادة / الطاقة بهندسة الزمكان.

كان استغلال أينشتاين الرئيسي هو الحصول على هذه المعادلات، وهي مكتوبة:

العضو الأيسر يحتوي على هندسة الزمكان، نجد موتر متري le tenseur métrique بالإضافة إلى مشتقاته المكانية والزمانية. هذا موتر أينشتاين الشهير الذي تم بناؤه باستخدام موتر انحناء ريمان كريستوفيلRiemann-Christoffel الذي تقلص مرة واحدة (عن طريق الجمع وفقًا لأينشتاين للمؤشرين،) يعطي موتر ريتشي le tenseur de Ricci بمؤشرين.

يحتوي الجانب الأيمن للمعادلة، على سبيل المثال، على الطاقة وكمية الحركة المنسوبة إلى توزيع المادة أو المجال الكهرومغناطيسي. هذا موجود في موتر T مع مؤشرين يسميه أحدهما موتر الطاقة النبضية le tenseur d'impulsion-énergie. وبالتالي يصبح مقياس الزمكان كائنًا ديناميكيًا يحدده توزيع وحركة المادة / الطاقة.



ألبرت أينشتاين أمام معادلاته في الجاذبية في الفراغ. يتم تقليلها إلى بطلان موتر ريتشي. © د

الجيوديسية La géodésique

دعونا ننتقل الآن إلى مفهوم مهم آخر في النسبية العامة.

يُطلق على تعميم الخط المستقيم في الزمكان المنحني اسم الجيوديسية. إذن على سطح الأرض، إذا بدأنا من خط الاستواء للوصول إلى القطب باتباع خط الطول الذي يتقاطع مع نقطة البداية، فسيكون هذا المنحنى على وجه التحديد. بشكل عام، هو منحنى الطول الأدنى بين نقطتين على السطح. وفقًا لغاليليو ونيوتن، فإن الجسم في حالة عدم وجود قوة يكون في حالة راحة أو يتحرك على طول مسار مستقيم متماثل، خط مستقيم. وبالتالي ، فإن التعميم في الزمكان المنحني هو بالفعل جيوديسي ، وإذا تم وصف القوة في فيزياء نيوتن بانحراف عن مسار مستقيم متشابه ، ففي هذا السياق ، لم تعد الجاذبية وفقًا لأينشتاين قوة بالمعنى الذي قدمه نيوتن لأن الأجسام تتبع فقط مسارات "مستقيمة" في الزمكان تحت تأثير الجاذبية.

هذا ما توضحه الرسوم البيانية أدناه لحركة الكواكب حول الشمس.

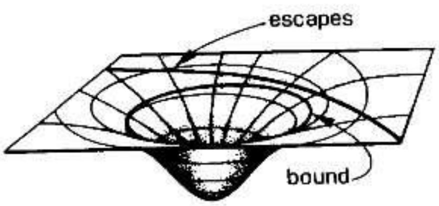


Fig. II.6 A ball moving on a curved surface is held in its path by the shape of the surface

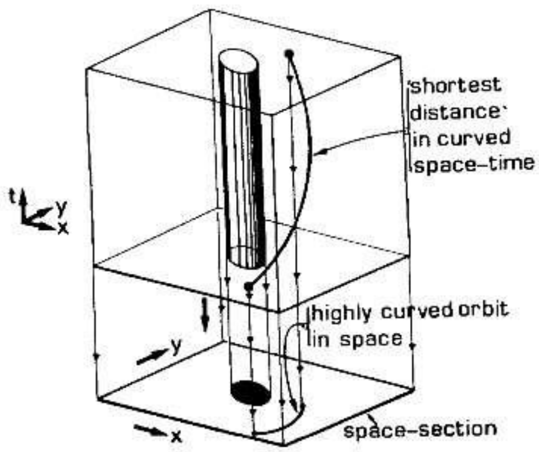
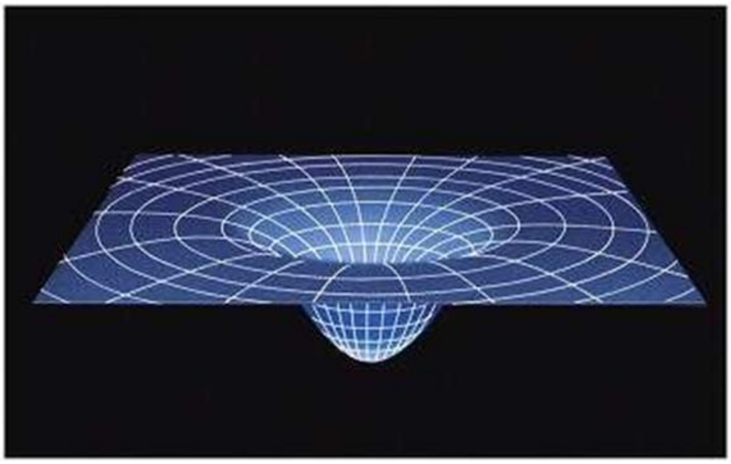


Fig. II.7 The orbit of a planet around the Sun

يمكن أن يأخذ الجسيم الذي يسعى إلى التحرك في أبسط خط ممكن مماسًا لدائرة متمركزة على البئر إلى اليسار. عند الوصول إلى الدائرة، سيتم حصرها في مدار باتباع المنحنى الأكثر استقامة، أي هنا بالضبط هذه الدائرة. على اليمين، كتلة زمكان مع مسار في الزمن لنجم ثابت وجسم يدور حوله. تقرير سيرن الأصفر 91-06. © روث م. ويليامز

نظرية الإمكانات النيوتونية الكامنة للنجوم La théorie du potentiel newtonien pour les étoiles

من المتوقع بالطبع تعديل نظرية حركة الكواكب. كما أوضح كارل شوارزشيلد Karl Schwarzschild، من الممكن إيجاد حل يعمم نظرية الإمكانات النيوتونية للنجم. خارج نجم كروي تمامًا، ذو كتلة M وبدون دوران (نتحدث عن حالة ثابتة)، يتم وصف هندسة الزمكان من خلال: وجود حل داخلي نكتبه ببساطة في النموذج أدناه: مخطط تضمين ثنائي الأبعاد لحل شوارزشيلد. إذا أخذنا في الاعتبار كرة نصف قطرها r



داخل النجم، فسوف تحتوي على كتلة (r) M. هذا ما يفسر مظهره في الفترة الزمنية السابقة للمكان والزمان.

كانت هذه الحلول في الواقع مناجم ذهب قد تستغرق ثرواتها عقودًا لتكشف عن نفسها. كانت الإشارة الأولى تأتي من أينشتاين في عام 1935.

كارل شوارزشيلد (1873-1916). © د

في غضون ذلك، تم ملاحظة مشكلتين. عندما تمر كتلة النجم الموصوفة بالحلول السابقة تحت نصف قطر Rs = 2GM / c2 (أو 2GM عندما حددنا c = 1 في نظام الوحدات المستخدمة عادة)، تسمى

نصف قطر Schwarzschild ، ماذا سيحدث ؟ يبدو بالفعل أن الحل الأول في الفراغ يصبح مرضيًا عندما يكون r = Rs لأننا نحصل على اللانهاية للمصطلح الثاني من المقياس.

وبالمثل، عندما يكون r = 0 وما زلنا في الحالة الأولى، نجد أن انحناء الزمكان يصبح لانهائيًا. هنا نبدأ الحديث عن الفرادة لهندسة الزمكان في هذه المرحلة حيث معادلات أينشتاين وهيكل الزمكان ينهار.