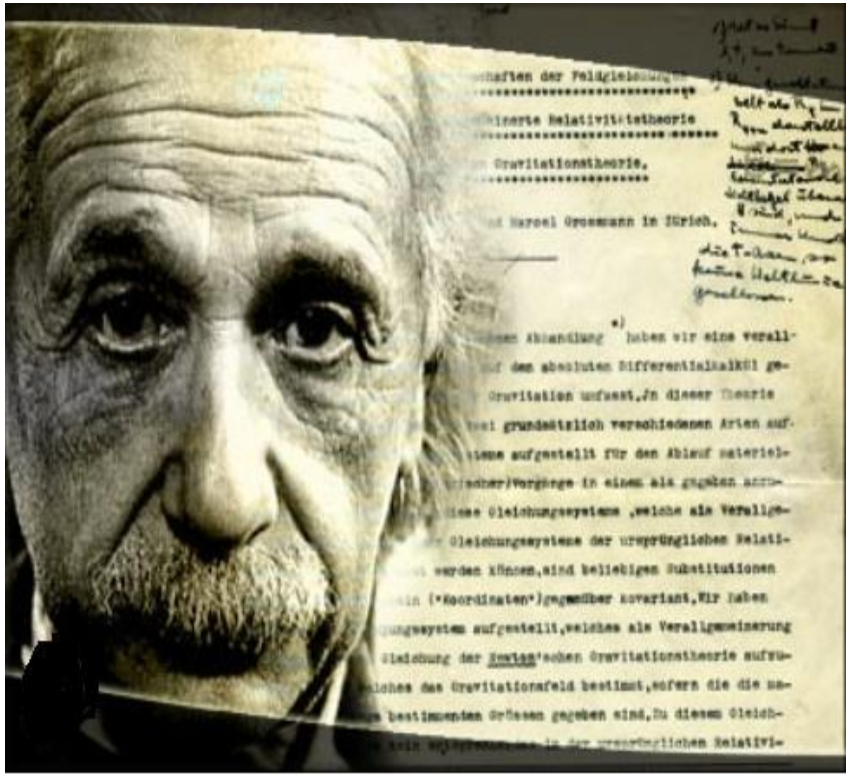
أفكار أينشتاين و موجات الجاذبية

- اكتشاف موجات الجاذبية



القوى في الطبيعة

- أنواع القوى في الطبيعة أربع قوى هي : قوة الجاذبية والكهرومغناطيسية والقوى النووية الضعيفة، والقوية.
- تُعتبر القوة الكهرومغناطيسية القوة المُسيطرة على التفاعلات الفيزيائية على مستوى الذرات والجسيمات تحت الذرية، فهي التي تربط الالكترونات بنوى الذرات.
- أما القوى النووية القوية فهي التي تجمع بين النيوترونات والبروتونات في نواة الذرة.
- و تلعب القوى النووية الضعيفة دورا رئيسياً في التفاعلات التي تحدث في الشمس و القوّة المسئولة عن الاضمحلال الإشعاعي و الاندماج النووي للجسيمات دون الذرية.
- بينما تسيطر قوى الجاذبية على التفاعلات بين الأجسام الكبيرة في الكون مثل الكواكب والنجوم.

- يُمكن تمثيل ذلك بأنَّ الجاذبية، رغم أنها قوة تؤثر على أي جسمين لهما كتلة، لكن يمكن إهمال دورها في ربط الجزيئات والذرات في عالمنا.

- هل سبق وأن شعرنا بأي تأثير للجاذبية على حياتنا اليومية؟
- نظرياً، يؤثر جسمنا بقوة جذبٍ على لوحة المفاتيح القابعة أمامنا، وعلى الشخص الجالس بجانبك، وكذلك على البناء الذي تجلس فيه.
- لكن هذه القوة صغيرة جداً بحيث يستحيل أن تشعر فيها (مع العلم أن ثمَّة عوامل أخرى على سطح الأرض ستجعل ملاحظة تأثير هذه القوة عليك شبه مستحيلة).
- مع ذلك، لولا قوة الجاذبية لكنا نطفو الآن في الفضاء.
- إذا كي نشعر بأي أثر لقوة الجاذبية، علينا أن نتعامل مع أجسامٍ لها كتلة ضخمة جداً.
- مع أنَّ قوة الجاذبية لا تكاد تحمل أي تأثير على الذرات والجزيئات الصَّغيرة، إلا أنها هي القوة الأساسية التي تربط كل الأجسام الكبيرة في الكون تقريباً.
- فنحنُ متعلقون بالأرض، والأرض مرتبطة بالشمس، والشمس مرتبطة بمركز المجرة، والمجرة مرتبطة بالمجموعة المجرية المحلية، فقط بفضل الجاذبية

نبوءات أينشتاين التي تتحقق

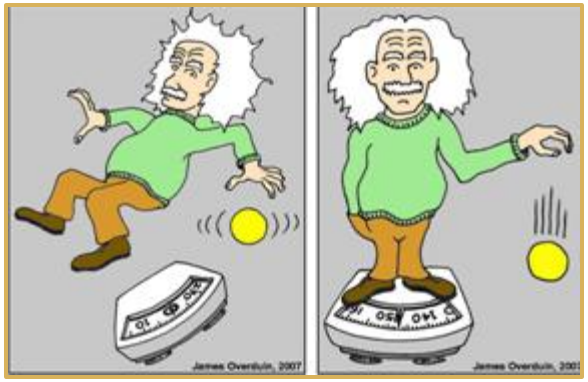
ألبرت اينشتين عالم فيزيائي قضى حياته في محاولة لفهم قوانين الكون. كان اينشتين يسأل الكثير من الأسئلة المتعلقة بالكون ويقوم بعمل التجارب داخل عقله. ما تحقق منها :

- ***إدخال فكرة التسارع*** (ازدياد السرعة يؤدي إلى ازدياد الكتلة ، انضغاط الزمن ، انضغاط الطول)
- ***مفهوم الجاذبية*** (موجات تنقل الطاقة خلال الكون)
- ***مفهوم التماثل*** (القوانين ثابتة)
- ***الانزياح الأحمر*** (مفعول دوبلر)
- ***حضيض عطارد***
- ***الزمكان المنحني***
- ***الثقوب السوداء***
- ***المادة والطاقة المظلمة***
- ***تكثف بوزه ـأينشتاين*** (هو تبريد المادة لدرجة تقترب من الصفر المطلق حتى تتحول الحالات الكمية جميعها إلى ذرة فائقة عملاقة ، إدخال ميكانيك الكم إلى الفيزياء الإحصائية)
- ***تمدد الكون*** و .....

الفضاء الخالي ليس خالياً
الفضاء الخارجي محكوم بطاقة ومادة مظلمتان غير مرئيتان

- اعتقد العلماء ولفترة طويلة أن الكون مؤلف من مادة مرئية مثل النجوم والكواكب. لكن كشفت ملاحظات علمية مؤخراً أن غالبية المادة في الكون هي غير مرئية حقيقة متواجدة في الفضاء الفارغ (اللاشيء (Nothing") أعطى الفيزيائيون لهذه الظاهرة اسم المادة المظلمة dark matter
- إضافة للمادة المظلمة وجد الفيزيائيون أيضاً أن الكون يخفي طاقة مظلمة Dark Energy هذا الاكتشاف قائم على حقيقة أن توسع الكون متسارع، ولهذا لابد من وجود شيء يسببه. التفسير المنطقي الوحيد لهذه الظاهرة وجود طاقة غير معروفة من نوع ما في الفضاء تسبب قوة التوسع هذه.
- وكما أن أغلب الطاقة في الكون غير مرئية، يبدو أيضاً أن المادة كذلك. وجد علماء الفضاء أن الطريقة الوحيدة لتفسير دوران مجرتنا وجود كتلة عالية جداً غير مرئية مقابل المادة المرئية.
- حقيقة الأمر أن العلماء وجدوا أن المادة المظلمة تشكل نسبة أكثر من ٩٠% من كتلة الكون.
- يبدو أن كوننا محكوم ومسيطر عليه من قبل كتلة وطاقة من لاشيء!
- مفاجأة أخرى هنا، يبدو أنه لا يوجد ما يكفي من البروتونات والنيترونات في الكون لتشكيل هذه المادة المظلمة، ما يعني أن هناك جسيم أولي من نوع جديد في كوننا!
- حاليا توقعات بأن هناك شريك للفوتون يسمى " فوتينو" و هو جسيم محايد الشحنة و مستقر و ذو كتلة .
- أينشتاين وصف الفكرة نفسها عام 1931 بقوله «من أجل ثبات الكثافة، ينبغي وجود تكوّن مستمر لجسيمات جديدة .»

تطور نسبية أينشتاين



تطورت في الفترة بين 1907- 1917

التجربة الذهنية التي كانت أول الطرق للوصول إلى فكرة الجاذبية :

إذا سقط شخص ما سقوطا حراً فلن يشعر بوزن جسده.

إذا سقط من على كرسيه سوف يصبح على الفور عديم الوزن.

مبدأ التكافؤ : ينص

على أن جميع الكتل تسقط بنفس المعدل تحت تأثير الجاذبية

(أي كتلة العطالة تساوي كتلة الجاذبية)

- استنتاج هام منها :
- **" لا يمكن التمييز بين القوانين الفيزيائية في إطار التسارع أو إطار الجاذبية "**

مفاهيم أينشتاين النسبية

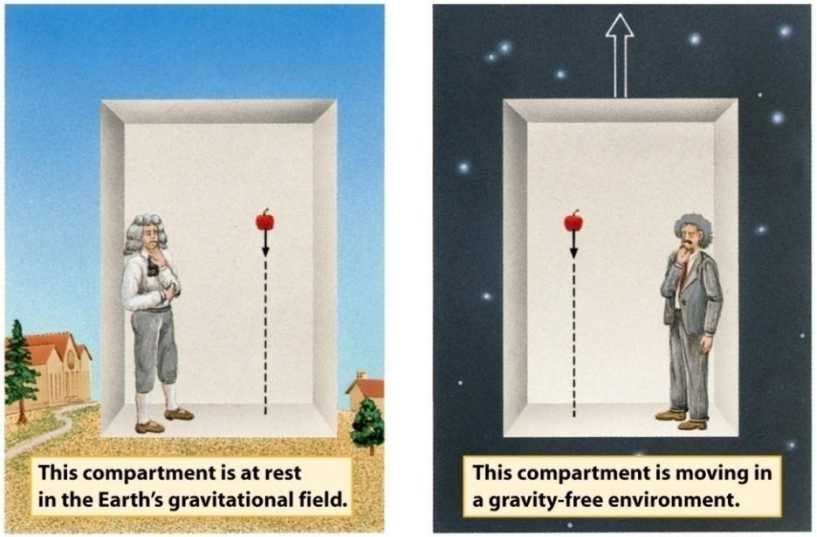
- كان أينشتاين يؤمن بأن جوهر النسبية يمكن بالربط بين المادة و الطاقة، و بين الكهرباء و المغناطيسية عن طريق البعد الرابع و صار "التوحيد بالتماثل" من المبادئ المرشدة له طوال حياته.
- من وجهة النظر الرياضية يسمى الكيان الذي يظل على صورته الأولى بعد أن يدار " متغيرا مشاركا" "Covariant"
- معادلات أينشتاين تظل متغيرات مشاركة بينما يدار الزمان و المكان بصفتهما رباعي الأبعاد.
- وتقول النظرية العامة بأن قوانين الكون واحدة لكل الأجسام بصرف النظر عن حالات حركتها وأن الحركة غير المنتظمة (المتسارعة) مثلها مثل الحركة المنتظمة وكلتاهما حركة نسبية.

مبدأ التماثل
Equivalence principle

- كان مطلب أينشتاين إيجاد نظرية تظل على ثباتها في أي إحداثيات زمانية أو مكانية مستخدمة لتقدير المعيار المطلق، و قاده ذلك إلى مبدأ المتغير المشارك الذي ينص " ***المعادلات الفيزيائية يجب أن تكون متغيرات مشاركة بشكل عام***"

أي أنها تظل على صيغتها في ظل أي تغير عشوائي للإحداثيات.

- كان يريد الخروج بمعادلات تظل بصيغة واحدة مهما كان المعيار المرجعي الذي تقاس مقارنة به سواء كان متسارعاً أو يتحرك بسرعة ثابتة .
- من الشكل المراقب في المصعد الثابت يرى كل القوانين نفسها كما المراقب خارج المصعد
- و كذلك في المصعد المتحرك بتسارع نحو الأعلى لن تتغير الحالة أيضاً لأن كل الآثار الناجمة عن هذا التسارع تماثل الآثار الناجمة عن الثقالة في مرجع ساكن أو يتحرك حركة مستقيمة منتظمة في حقل ثقالي.



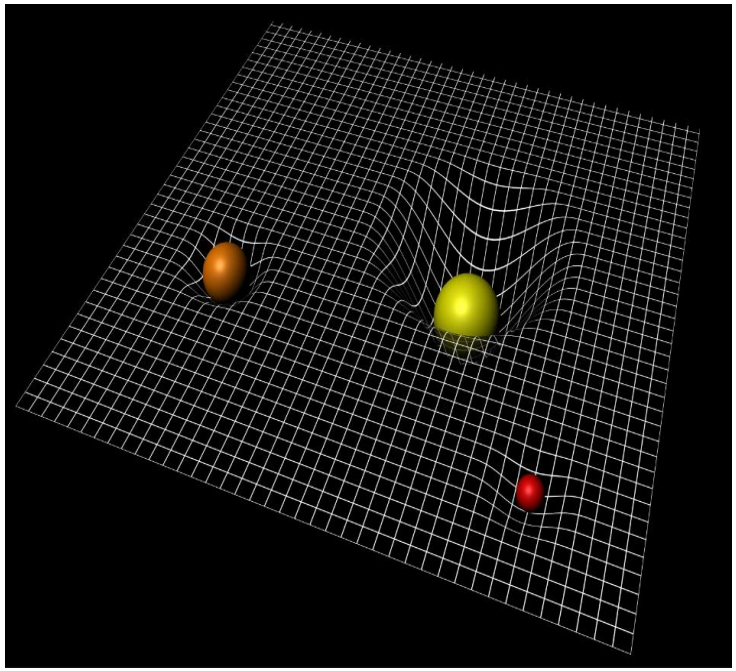
(a) The apple hits the floor of the compartment because the Earth's gravity accelerates the apple downward.

(b) The apple hits the floor of the compartment because the compartment accelerates upward.

انحناء ريتشي

- خلال البحث للتعبير عن الجاذبية و البحث عن المتغيرات المشاركة تبين له بعد ذلك أن هذين المتغيرين هما كتلة المكان المنحني وانحناء المكان نفسه (انحناء ريتشي).

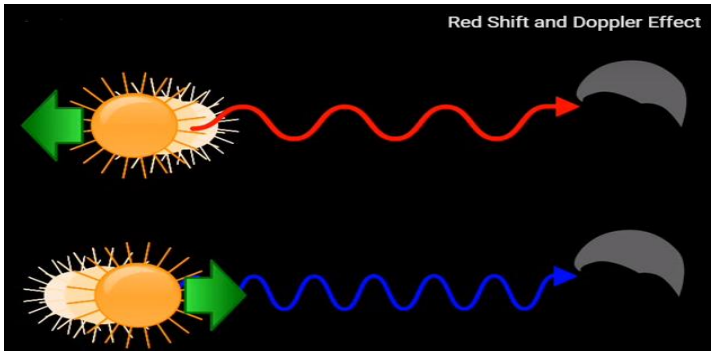
- خلال البحث عن المعادلات النهائية ركز أينشاين على ثلاث تجارب أساسية للإثبات فكرته عن المكان المنحني والجاذبية :



- ***انحناء ضوء النجوم خلال الكسوف الشمسي.***
- ***الإنزياح الأحمر.***
- ***حضيض عطارد.***

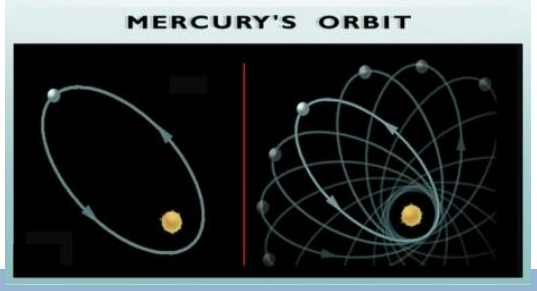
الانزياح الأحمر بتأثير الجاذبية

- حسب أينشتاين تأثير الجاذبية على تردد شعاع الضوء :



- عندما ينبعث الضوء من الشمس فلا بد أن تعمل الجاذبية **كشبكة عازلة تشده إلى الوراء و تفقده طاقته**، غير أن الضوء لن تقل سرعته جراء هذا بل سينخفض تردد موجاته أثناء مقاومته للجاذبية ، لذا فإن الضوء الذي يخرج من الشمس أصفر يكتسب حمرة مع انخفاض تردده و خروجه من نطاق الجاذبية، غير أن الانزياح الأحمر الذي تسببه الجاذبية هو تأثير في غاية الصغر .

حضيض عطارد
Precession of Mercury



- عطارد اقرب كوكب للشمس وهو اصغر كوكب في الحجم بين كواكب المجموعة الشمسية حيث ان قطره يبلغ 4480 كلم اما كتلته فهي تصل إلى 0.055 من كتلة الأرض ... اما دورانه حول الشمس فهو يستغرق 87.969 يوم لكي يتم دورانه حول الأرض ... في تحركاته يعتبر كوكب عطارد أكثر الكواكب شذوذ في حركته ودورانه ودوراته.
- كوكب عطارد حجمه صغير جدا بين كواكب المجموعة الشمسية ولكن يملك حقل مغناطيسي كبيرا جدا ...
- دوران عطارد حول الشمس في مداره يكون بزاوية مائلة
- لأكثر من نصف قرن قبل زمن آينشتاين، كان معروفا أن مدار عطارد لم يكن طبيعيا، فالمسار البيضاوي الذي يقطعه الكوكب حول الشمس ينزاح مع كل دورة، تاركا "الحضيض الشمسي" perihelion، و هو أقرب نقطة للكوكب من الشمس، إلى الأمام قليلا على مساره.
- حين عالج آينشتاين المسألة باستعمال معادلات نظرية النسبية العامة، توصل للعدد ٤٣ ثانية قوسية لكل قرن بشكل دقيق.

أينشتاين و الجاذبية

- ***لماذا وُجدت هذه الجاذبية؟***

❖أجاب أينشتاين (1916)عن هذا السؤال بطريقة ثوريّة. فوفقاً له، الجاذبية ليست قوة تُمارس على الأشياء، وإنما هي عبارة عن انحناء في المكان والزمن **(Curvature of space and time)** ينتج عن وجود جسم فائق الكتلة بالجوار (مثل الأرض).

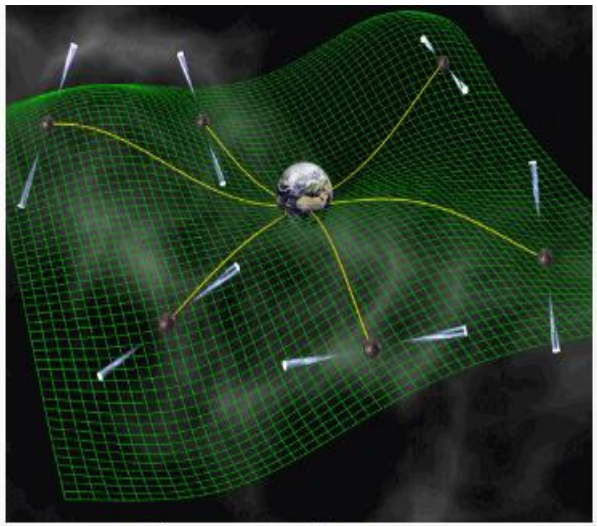
❖نيوتن : الجاذبية أصلها الكتلة .
❖أينشتاين الجسم ذو كتلة يحدث تغييراً في الزمكان و عند تسارع هذه الأجسام فإنها تحدث اهتزازات في الزمكان ، ***أي تغيير نسيج الزمكان يتسبب في حركة هذه الكتل.***

ويزيد هذا الانحناء بزيادة كثافة المادة في الفضاء وكلما زاد الانحناء أبطأ الزمن من سيره.

تخبر المادة الزمكان كيف ينحني
و الزمكان المنحني يخبر المادة كيف تتحرك

لمحة تاريخية عن الجاذبية

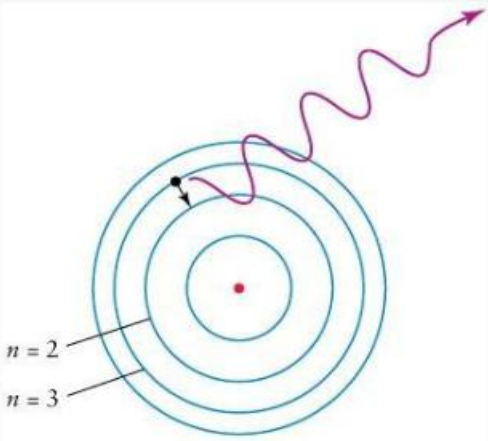
- **نيوتن**: إذا اختفت الشمس فجأة في أحد الأيام فإنَّ الأرض ستخرج من تأثير جاذبيتها على الفور وتبدأ بالانجراف في الفضاء بحُريَّة
- **أينشتاين** : قوة تأثيرها محدود بامتداد مجالها، فمثلما أن لأسلاك الكهرباء والمغنطيسات مجالاتٍ حولها تنقل قوتها، فإن للجاذبية أيضاً مجالاً مماثلاً ولا يُمكنها أن تحدث تأثيراً على جسمٍ إلا لو وقع ضمنه.
- لا يُمكن لجاذبية الشمس أن تفقد تأثيرها على الأرض حتى تخرج من مجال الشمس الجذبي، وهذا المجال ينتشر عبر الفراغ بسُرعة الضوء.
- المسافة بين الأرض والشمس ١٥٠ مليون كيلومتر $d_{E-S} = 1.5 \times 10^{11} m$ ، أي ٨ دقائق ضوئية تقريباً، فحتى لو حدث وأن اختفت الشمس من عالمنا فجأة، ستسمرُّ الأرض بالدوران على وتيرتها المُعتادة لمدة ثماني دقائق.



تُمثل هذه الصورة التصوُّر الذي وضعه آينشتاين عن كيفية عمل قوة الجاذبية، حيث أنَّ لكل جسمٍ مجالاً جذبياً يتناسب مع كتلته يُتسبَّب بانحناء الفضاء حوله، وجذب الأجسام الأخرى باتجاهه.

آلية عمل موجات الجاذبية

- نواة الذرة مُكوَّنة من بروتونات موجبة الشحنة ونيوترونات محايدة، وتُحيط بهذه النواة إلكترونات سالبة تبقى قريبة من النواة بسبب انجذابها نحو البروتونات المتضادة معها في الشحنة.
- الشيء الذي يجعل الإلكترونات ترتبط بالبروتونات هو المجال الكهرومغناطيسي، مماثل في عمله مجال الجاذبية تقريباً، فهو ينتشر في كل الاتجاهات بسُرعة الضوء، ولا يُمكن للقوة الكهرومغناطيسية أن تحدث تأثيراً إلا من خلاله.
- هذه كلها مجالات، أين يأتي دور الموجات إذاً؟
- إن كل إلكترون حول نواة الذرة له مستوى طاقة مُعيَّن، والمسافة التي بينه وبين النواة تتناسب طردياً مع مستوى الطاقة هذا، فالإلكترونات الأقرب إلى النواة لها طاقة أقل. لكن عندما تتعرَّض الذرة لحالة إثارةٍ ويزداد مستوى الطاقة فيها، يُمكن أن يقفز إلكترون إلى مستوى طاقة أعلى من مستواه الأصلي، وذلك يجعل حالة الذرة غير مستقرة.
- لذا، بعد مضي فترةٍ من الوقت سيعود الإلكترون إلى مستوى طاقته الأصلي، بعد أن يتخلَّص من طاقته الزائدة على شكل فوتون يُطلقه بعيداً عن الذرة.
- هذا الفوتون هو المُكوِّن الأولي لأشعة الضوء، أو – بعبارةٍ أخرى – الموجات الكهرومغناطيسية.



b Emission

ينبعث الفوتون من الذرة عندما يرتفع مستوى طاقتها عن الحد الذي يجعلها مُستقرَّة. تنبعث موجات الجاذبية بطريقة شبيهة جداً.

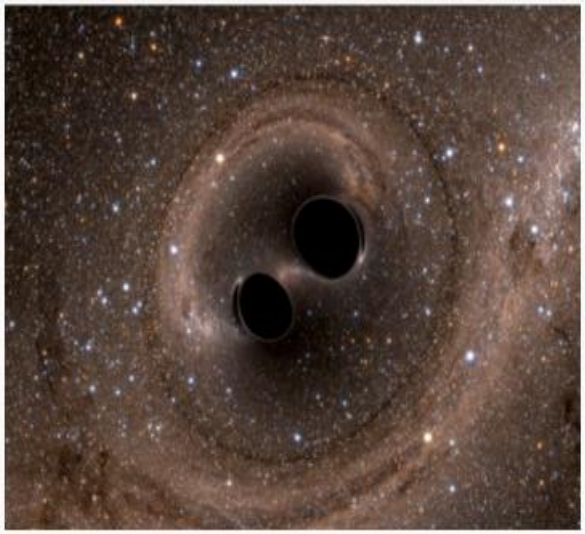
آلية عمل موجات الجاذبية

- تعمل أمواج الجاذبية على تغير المسافات بين الجسيمات التي تتحرك بحرية في مسارات دائرية في الفراغ
- مدر الأرض بيضاوي الشكل فهي تقترب وتبتعد عن الشمس باستمرارٍ على مرِّ السنة.
- كلما اقتربت الأرض من الشمس ، ستخضع لتأثير أقوى من مجال جاذبية الشمس، ولذلك ستزداد سُرعة دورانها حولها.
- بعد مضي فترة من الزمن، سرعان ما ستبتعد ثانية، وعندها ستتباطأ سرعتها، وسوف تطلق طاقتها الزائدة على شكل موجة جاذبية.
- سوف تنتشر هذه الموجة عبر الفضاء بسُرعة الضوء في جميع الاتجاهات، تماماً مثل الأمواج الكهرومغناطيسية.
- إنَّ موجات الجاذبية الصَّادرة عن التفاعلات بين الأجسام المُحيطة بنا تكون في مُعظم الأحوال صغيرة جداً، بحيث أن الإحساس بها في مُعظم الأحوال مستحيلٌ حتى بأكثر التقنيات المتوافرة لنا تطوراً وتقدماً.

- إنَّ موجات الجاذبية تكون أضخم بكثيرٍ من المصدر الذي تنبعث منه، حيث يُمكنها (نظرياً) أن تكون بحجم كوننا بأكمله، بل من المُمكن أن تتجاوز في حجمها حجم الكون، لولا أنَّ ذلك سيجعل الإحساس بها أو اكتشافها مستحيلاً علينا.

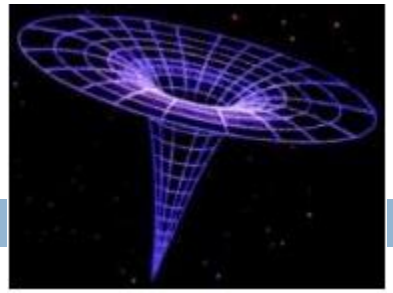
آلية عمل موجات الجاذبية

- لو كان لدينا جسم يمتد من الشمس حتى أقرب النجوم إلينا، وهو نجم **بروكسيما القنطور**، أي على امتداد مسافةٍ تعادل نحو 25 ترليون كيلومتر، ومرَّت عبره موجة جاذبيةٍ قويَّة صادرةٌ عن تصادم ثقبين أسودين مثلاً، فإنَّ تأثيرها عليه سيقتصر على ضغطه بمقدارٍ يُماثل سمك شعرة من رأس إنسان.
- لهذا السبب، نحن لسنا قادرين بالتقنية المتوافرة لنا الآن على التقاط أمواج الجاذبية أو الإحساس بها إلا عند وُقوع ظواهر كونيَّة نادرة شديدة العُنف، تُسبِّب تفاعلاتٍ شديدة بين أجسامٍ لها كتلة ضخمة جداً.
- بما أنَّ الثقوب السوداء والنجوم النيوترونية هي من بين أعلى الأجسام كتلةً في الكون وأكثرها كثافة، فإنَّ لها قوة جاذبية هائلة تجعلها مرشحات ممتازةٍ لإصدار موجات جاذبية يُمكننا التقاطها بتقنياتنا الحالية



مع أنَّ موجات الجاذبية موجودة في كل مكانٍ حولنا، إلا أنَّها ضعيفة جداً بحيث أن الإحساس بها بتقنيتنا الحالية أمرٌ مستحيل. الأجهزة المتوافرة لنا حالياً لا يُمكنها التقاط هذه الموجات إلا عندما تصدر عن ظواهر عنيفة جداً، مثل اندماج ثقبين أسودين (هذه الصورة مُجرَّد تمثيل بسيط، فتصوير الثقوب السوداء أمر مستحيل).

الثقب الأسود



- الثقوب السوداء في صورتها النمطية هي نجوم عملاقة شاخت وماتت. فأي نجم طبيعي في مرحلة شبابه يقع تحت تأثير قوتين: قوة تسبب تمدده بسبب التفاعلات النووية في قلبه وقوة تسبب انكماشه وهى قوة الجاذبية التي تلملم أطرافه وتجذبها بإصرار نحو المركز.ولكن بعد مرور فترة زمنية فان الوقود النووي ينضب وتنتهي القوة الأولى. وتبقى القوة الثانية اللتى تسبب انكماش النجم باستمرار. وهذه المرحلة التي نطلق عليها وفاة النجم. لكن انكماش النجم لا يستمر دوما. ففي مرحلة معينة ستقترب ذرات النجم من بعضها بشكل هائل. وسوف يتحدي ثبات هيكل الذرة فقط قوة الجاذبية.
- *لكن ما هو سبب ثبات هيكل الذرة*؟ إنها الالكترونات. فمدار الالكترونات تمثل أخر مدى الذرة وعندما تقترب الكترونات من بعضها فإنها تتنافر. وسبب التنافر هو قانون باولي. الذي يقول عندما يقترب إلكترونين من بعضهما جدا فان سرعتهما تزداد جدا. وهذا هو سر تنافرهما!
- لكن ازدياد السرعة لا يمكن أن يستمر هكذا فكما سبق ورأينا فان هناك سقف أعلى للسرعات هو سرعة الضوء. وبالفعل فانه في حالة النجوم اللتى تزيد كتلتها عن كتلة الشمس ب ٤٠% تقريبا فان ازدياد سرعة الالكترونات لا يستطيع أن يقف عائقا أمام قوة الجاذبية الرهيبة فتنهار الذرات كلها ويتبقى منها أنويتها فقط. وتتحد الالكترونات مع البروتونات في النواة لنحصل على النجوم النيترونية.

تجارب موجات الجاذبية

- عام ١٩٩٣ حصل العالمين هالس و تيلور على جائزة نوبل لإثباتهم بشكل غير مباشر وجود موجات الجاذبية :

- درس هذين العالمين النجم PSR 1913+16 وهو نجم نيوتروني مزدوج يبعد عن الأرض مسافة 16000 سنة ضوئية، و يتكون من نجمين معتمين يدور كل منهما حول الآخر كل سبع ساعات و خمس و أربعين دقيقة ، و يطلق كل منهما كمية كبيرة من موجات الجاذبية تتبعه في دورانه.

- فوفقاً للنسبية العامة ثبت أن النجمين يقتربان أحدهما من الآخر مسافة ميليمتر واحد في كل دورة يدورانها ، وإذا كان هناك مدار نجمي قطره 435000 ميل فإن مقدار الانكماش في هذا المدار خلال سنة واحدة سيكون ياردة واحدة ، و هو الرقم الذي تحدده معادلات أينشتاين بالضبط ، و بعد مائتين و أربعين مليون عام سوف ينهار النجمان بفعل فقدانهما لموجات الجاذبية.

تجارب موجات الجاذبية

- أعلن فريق من علماء الفيزياء أنهم سمعوا وسجّلوا صوت ثقبَين أسودين اصطدما على بعد مليار سنة ضوئية، وأنه كان صوتاً متصاعداً وسريعاً، ما يعني تحقّق النبوءة الأخيرة في نظرية النسبية العامة التي وضعها أينشتاين.

- يقول علماء الفيزياء إن ذلك الصوت المتصاعد والخافت هو الدليل المباشر الأول عن موجات الجاذبية، أي التموّجات في نسيج ما يُسمّى الزمكان (space-time) التي تحدّث عنها أينشتاين قبل قرن من الزمن. ويشكّل تأكيداً على طبيعة الثقوب السوداء، أي حفر الجاذبية التي لا قعر لها وحتى الضوء لا يستطيع الإفلات منها فتمتصّه، وهو الجزء الذي كان الأكثر إثارة للتوجس (والذي لم يكن موضع ترحيب على الإطلاق) في نظرية أينشتاين.

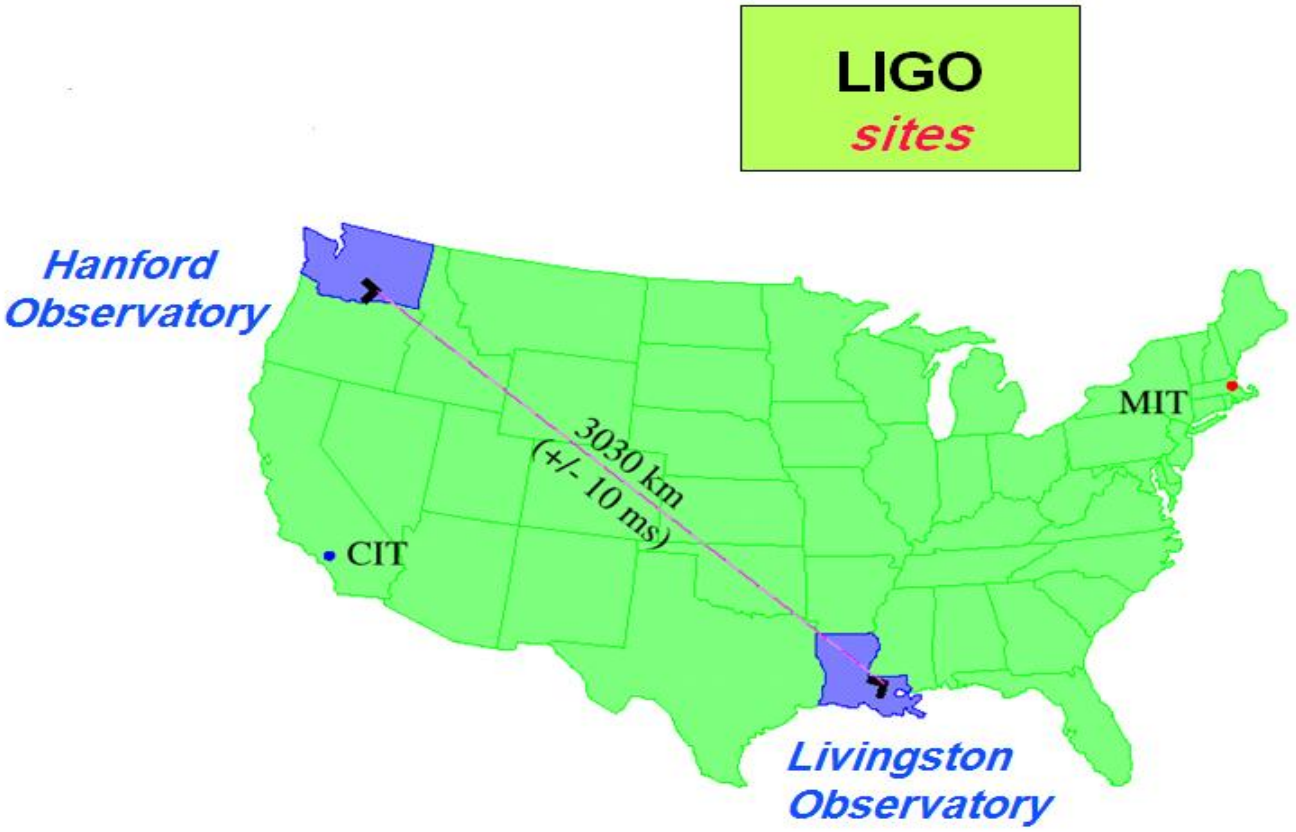
- قالت غابرييلا غونزاليس من جامعة ولاية لويزيانا، والمتحدثة باسم "دائرة التعاون العلمي" في مرصد
- LIGO : "وصلنا إلى القمر وعدنا. أعتقد أن أينشتاين سعيد جداً".

اكتشاف موجات الجاذبية

- كيف تمكن العلماء من اكتشاف شيءٍ مثل هذا؟
- صدرت الموجة التي تحقَّق بفضلها اكتشاف موجات الجاذبية من اندماج ثقبين أسودين وقع قبل ١.٣ مليار سنة، أي عندما كانت لا تسكن كوكب الأرض سوى بكتيريا وحيدة الخلية، لكنَّ هذا الحدث وقع على مسافةٍ بعيدة جداً عنا بحيث لم تصل أمواج الجاذبية الصَّادرة عنه (والتي تسير بسُرعة الضوء) إلينا حتى شهور قليلة من الآن.
- التقطت أجهزة "LIGO" الموجة الصَّادرة عن اندماج الثقبين في ١٤ سبتمبر الماضي، حيث دام تأثيرها على الجهاز لمدة ٠.٢ ثانية تقريباً. سجَّلت أجهزة الحاسوب عُبور الموجة خلال ثلاث دقائق، لكنَّ تحليل البيانات والتأكُّد من صحتها أخذ عدَّة شهور.
- يعتبر مصدر هذه الموجة أعنف حدث رصدته البشرية في التاريخ، فقد كان الثقبان الأسودان يدوران حول بعضهما بسُرعة تتعدَّى ٦٠% من سرعة الضوء قبل انبعاث الموجة مباشرة، وأدى تصادُمهما إلى إطلاق كميَّة من الطاقة تعادل ٥٠ ضعف الطاقة التي تُشعِّها جميع نجوم الكون مُجتمعة.
- حوَّل الاصطدام كميَّة من المادة تماثل في كتلتها ثلاثة أضعاف كتلة الشمس إلى موجة جاذبية هائلة تعبر الفضاء بسُرعة الضوء، وتُسبِّب تموُّجاً في نسيج الفراغ الذي تمرُّ من خلاله.

LIGO

Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory



LIGO

Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory

LIGO
Hanford

LIGO

Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory

LIGO
Livingston

LIGO

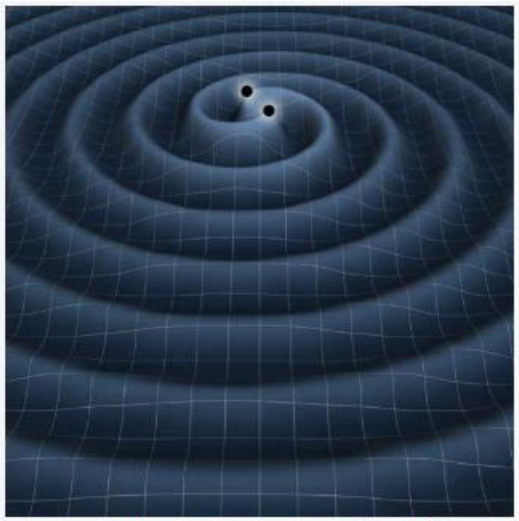
Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory

ما تراه أمامك هو المرصد الذي اكتشف موجات الجاذبيَّة! هذه الأنابيب البيضاء الطويلة هي أنفاقٌ يمتد كل واحدٍ منها مسافة أربعة كيلومترات، يوجد عند نقطة التقائها جهاز يبعث شعاعاً من الليزر. يعبر الليزر كل نفقٍ بأكمله حتى ينعكس على مرآة في طرفه البعيد ويعود مرَّة أخرى.

LIGO

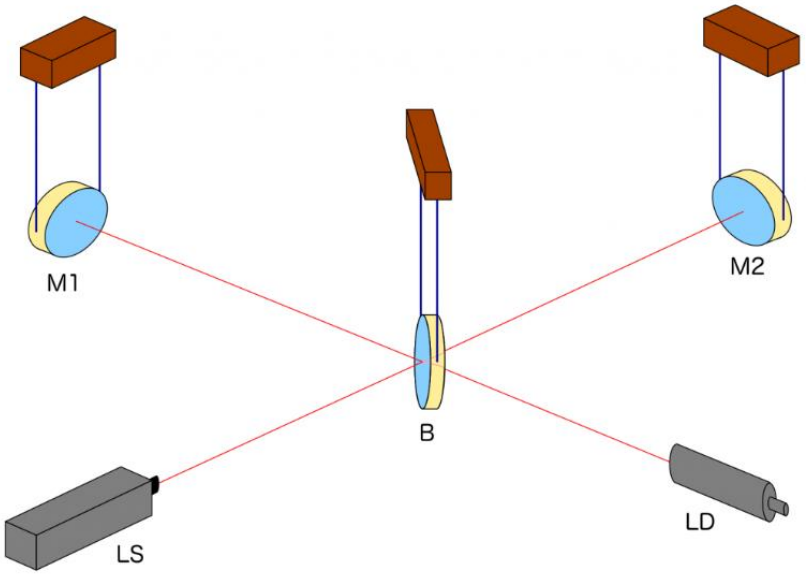
(اختصار مرصد التقاط موجات الجاذبية الليزري)

- في عام ١٩٩٢ أسَّس عالم الفيزياء الفلكية كب ثورن ورونالد دريفر من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا وبروفيسور الفيزياء رينر ويس من معهد ماساتشوتش للتكنولوجيا مرصداً فيزيائياً كبيراً في ولاية لويزيانا الأمريكية، تحت اسم "LIGO"، عدد العاملين فيه والمسئولين عن تشغيله أكثر من ٩٠٠ عالم من مُختلف المجالات.
- بدأ المرصد عمله الفعلي بعد عشر سنوات، يُعتبر مرصد موجات الجاذبية واحداً من أكبر المشاريع العلميَّة التي موَّلتها حكومة الولايات المتحدة في تاريخها(قرابة مليار دولار).
- منذ سنة ٢٠١٠ توقَّف عمل المرصد لإجراء صيانة وتطوير.
- في بداية العام الماضي استُبدلت أجهزة المرصد القديمة بأخرى أحدث بكثير تُسمَّى " LIGO Advanced".
- عُقد مؤتمر صحفيٌّ يوم الخميس 14/2/2016، أعلن فيه رسمياً عن التقاط أوَّل موجة جاذبية في تاريخ العلم



تمثيلٌ لكيفيَّة انتشارموجات الجاذبية حول ثقبين أسودين يتقاربان من بعضهما تدريجياً، حتى يصطدما ويندمجان. كلُّ مرحلة يقترب فيها الثقبان أكثر تُسبِّب انبعاث موجة جديدة.

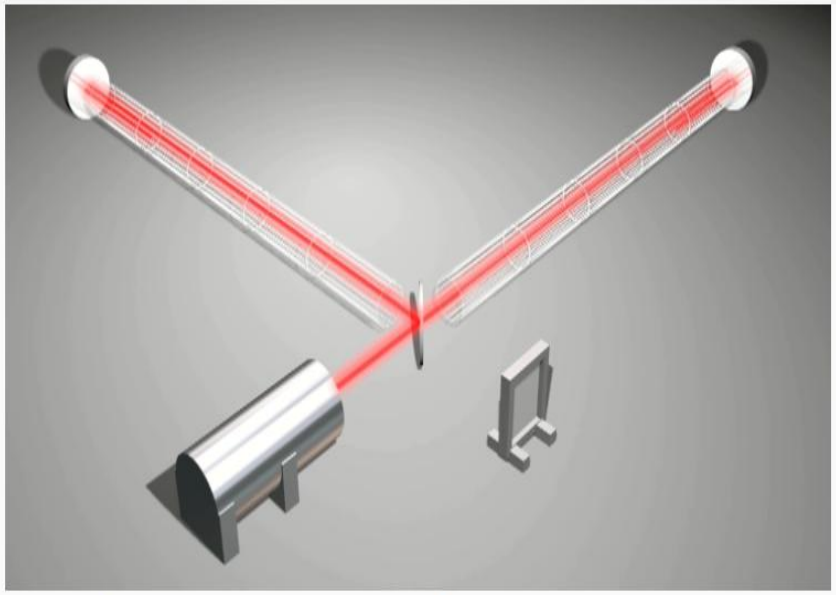
تجهيزات التجربة



- مرصد ليجو LIGO. وتتكون التجربة من مرآتين و كاشف ضوئي مع استخدام موزع ضوئي beamsplitter للحصول على شعاعين ضوء من مصدر واحد.
- ينطلق ضوء الليزر إلى الكاشف من مصدر الليزر LS مرورا في الموزع الضوئي B والذي يقوم بإرسال نصف الضوء إلى المرآة M1 والنصف الآخر إلى المرآة M2 ينعكس الضوء الساقط على المرآتين ويعود إلى الموزع الضوئي B لذا فان الضوء القادم من المرآة M1 أو المرآة M2 ينقسم مرة أخرى حيث يتجه نصفه إلى الكاشف LD والنصف الآخر يعود إلى المصدر الضوئي LS.
- تحدث موجة الجاذبية تغير في المسافة بين المرآتين M1 و M2 بالنسبة للموزع الضوئي Bعلى افتراض أن المسافة بين الموزع الضوئي ومصدر الضوء لا تتغير وذلك لتبسيط التجربة).
- بسبب موجة الجاذبية تصبح النبضات الضوئية التي تصل إلى الكاشف، تكون في بعض الأحيان تالمسافات بين النبضات متساوية تقريبا وفي بعض الأحيان تكون قريبة من بعضها البعض.
- يتم ضبط المرآتين بدقة عالية حتى نجعل قمة موجة تتقابل مع قاع الموجة الأخرى تلاشي الموجتين بعضهما البعض وعندها لا يرصد الكاشف الضوئي أي شيء ولا يعطي أي إشارة.

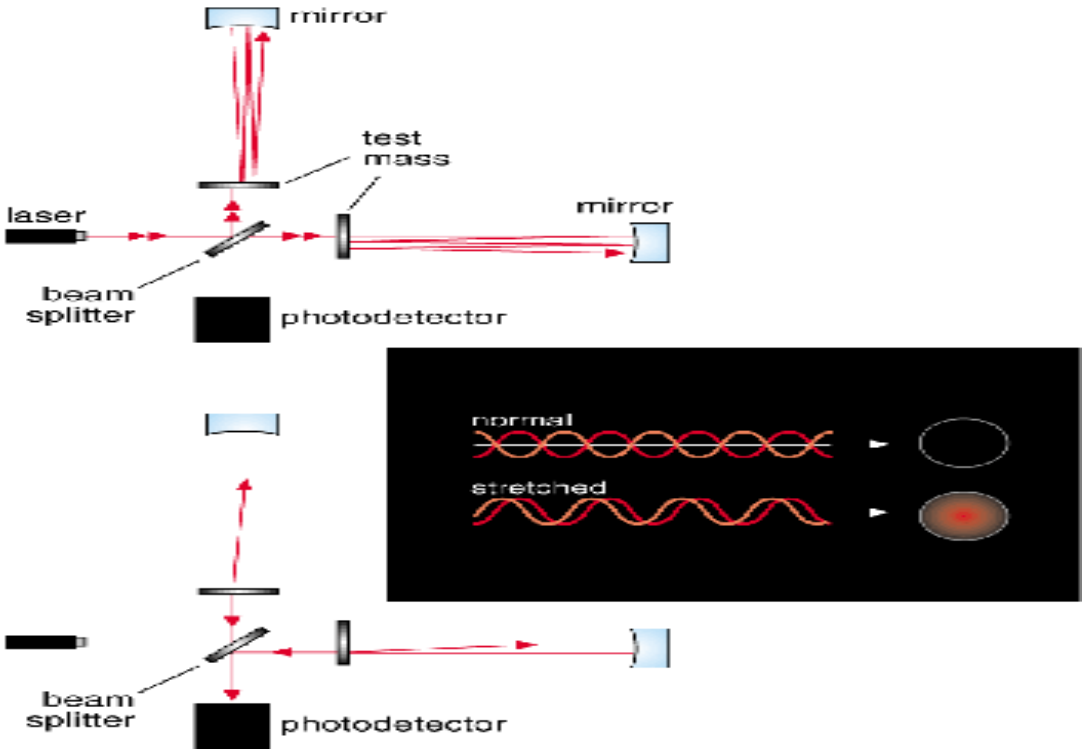
جهاز القياس

- يتكوَّن الجهاز الذي صمَّمته منظمة "ليغو" من ("Interferometer") من نفقين طول كل واحدٍ منهما أربعة كيلومترات، يلتقيان عند أحد الطرفين.
- قرب نقطة الالتقاء يوجد جهاز يبث شعاعاً من الليزر، يمرُّ هذا الشعاع أولاً عبر منشور يقسمه إلى خطين متعامدين: كلٌّ منهما يذهب عبر أحد النفقين. عند نهاية كلِّ نفق توجد مرآة تُعيد عكس الشعاع نحو نقطة انبعاثه.
- عندما يعود شعاعا الليزر إلى نقطة انبعاثهما يلتقيان في نفس النقطة وعند نفس التوقيت تماماً، وبما أنَّ كليهما يتكوَّنان من موجات كهرومغناطيسية متماثلة الطول والتردد، فإنَّهما يُلغيان بعضهما كلياً، ولذلك تختفي جميع أشعة الليزر العائدة من النفقين عندما تصطدم بالمنشور أو هذا ما يُفترض أن يحدث تحت الظروف الطبيعية.



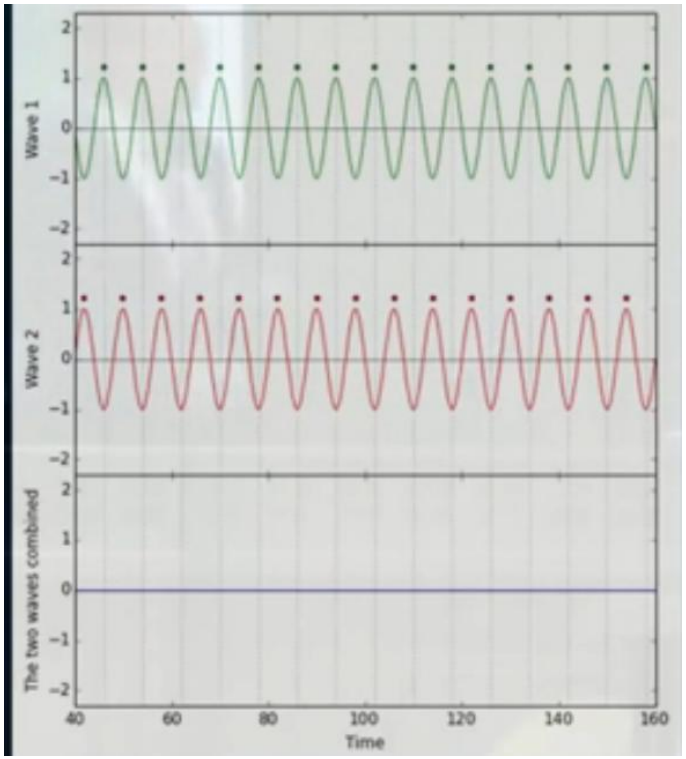
هكذا يبدو الـ"Interferometer" من الداخل تقريباً. يبث الجهاز الأسطواني في الأسفل شعاعاً من الليزر، ينقسم عنده مرور بمنشورٍ إلى جزئين، ينعكسان في نهاية كل نفقٍ ليعودا ويلتقيا معاً، وعندها يلغيان بعضهما. لو مرَّت موجة جاذبية عبر الجهاز ستغيِّر أطوال الشعاعين، ولذلك سيتمكَّن أحدهما من عبور المنشور والوصول إلى لاقط الضوء مُربَّع الشكل.

كيف حدث

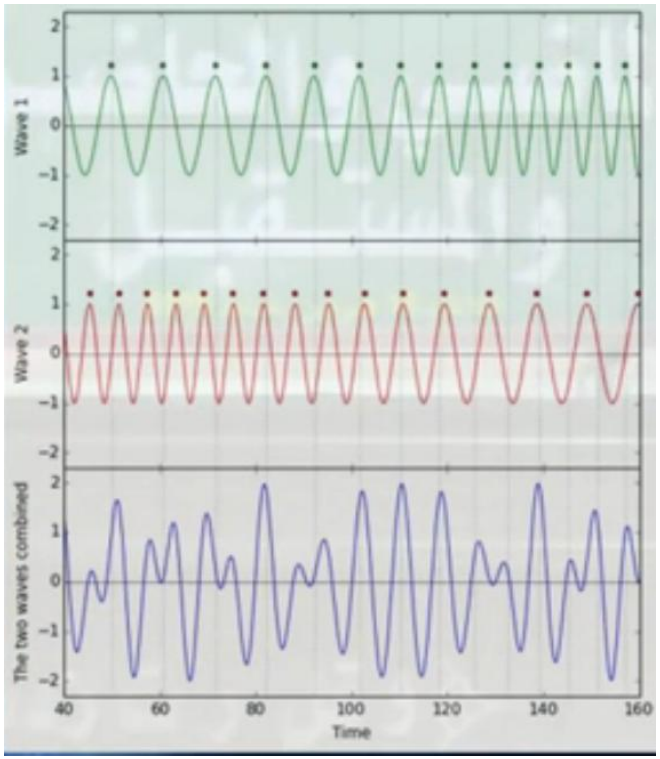

mirror
test
mass
laser
mirror
beam
splitter
photodetector
normal
stretched
beam
splitter
photodetector

تداخل موجتين من نفس مصدر الليزر

بدون موجات الجاذبية

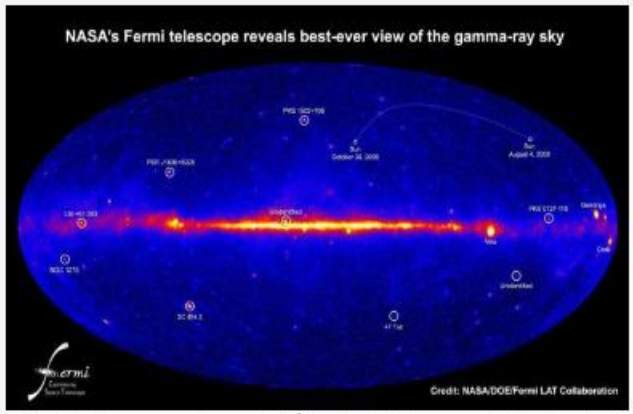


بوجود موجات الجاذبية



فائدة هذا الاكتشاف

- بالنسبة للعلم، قيمة هذا الاكتشاف في زيادة معرفتنا عن الكون المُحيط بنا فحسب.
- حتى الآن، كل ما نعرفه عن الفضاء الخارجي يقتصر بالكامل تقريباً على الأمواج الكهرومغناطيسية التي نرصدها من الأجسام البعيدة، هذه الأمواج يُمكن أن تكون ضوءاً مرئياً أو أشعة سينية أو أشعة غاما أو أمواجاً راديوية، فهي العدسة الوحيدة التي أمكننا حتى الآن أن ننظر إلى الكون من خلالها.
- أما الآن، فقد حصلنا على أداةٍ جديدةٍ تماماً ولأول مرة في التاريخ نستطيع جمع المعلومات عن كوننا عبرها.
- بل إنَّ هذه الأداة قد تكون المفتاح لفهم ظواهر كونيَّة لا يُمكننا التعرُّف عليها عبر الضوء أصلاً، مثل الثقوب السوداء.



يُمكن للعلماء رصد السَّماء بطُرق مختلفة، منها التقاط أشعة غاما كما في خريطة السَّماء هذه، لكن جميع هذه الطرق تنحصر بأنواع مختلفة من الموجات الكهرومغناطيسية، فقد كان الضوء (حتى وقتٍ قريب!) طريقتنا الوحيدة للتعرُّف على الكون.

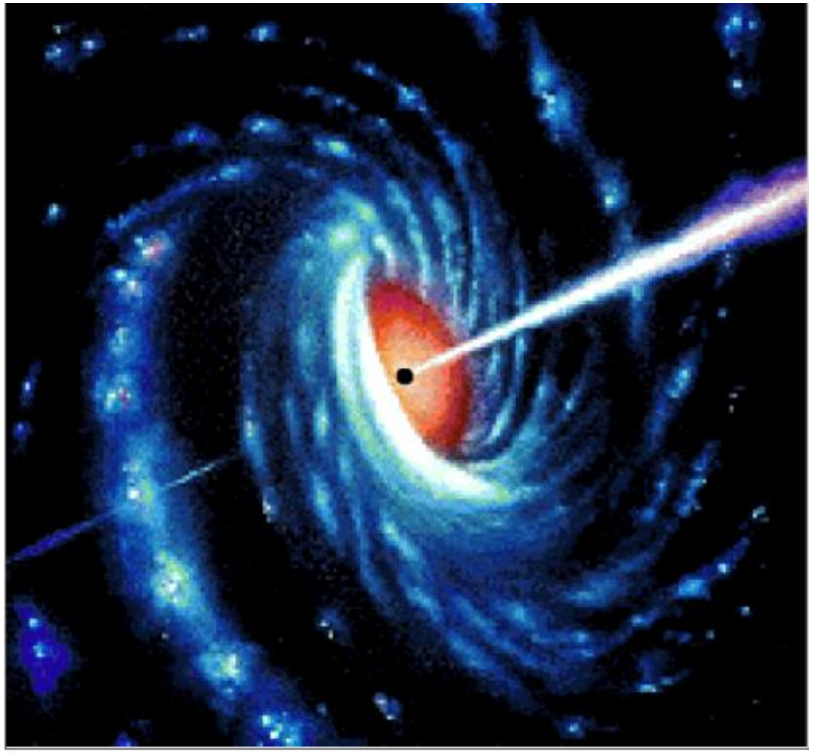
فائدة هذا الاكتشاف

- أحد أبرز الأمثلة على الحالات التي نعجز فيها عن جمع معلومات عن الفضاء هي الثقوب السوداء.

- هذه الأجسام لها كتلة ضخمة وكثافة شديدة جداً بحيث أنَّها تمنع أي مادة نعرفها من الهرب من مجال جاذبيتها، بما في ذلك أشعة الضوء. كما أنَّ رصد الكثير من المجرات والنجوم يُمكن أن يكون صعباً أو مستحيلاً بسبب وُجود أجسام أخرى أمامها تحجب ضوئها عنها.

- هذه العقبات تجعل فهمنا للكثير من الأجسام الغريبة في كوننا محدودة، إلا أنَّ اكتشاف موجات الجاذبية – وتطور قدرتنا على رصدها – يُمكن أن يفتح مجالاً جديداً أمامنا.

- لذلك عندما تصلنا موجة جاذبية مُنبعثةٌ من ثقب أسود يُمكننا التأكد من أنها تحمل معلومات دقيقةً عنه. كما أننا، على فرض أن تقنياتنا ستتطوَّر مستقبلاً، قادرون على التقاط موجات الجاذبية الصادرة عن أي جسم في الكون، بغضِّ النظر عن طبيعته أو موقعه في الفضاء



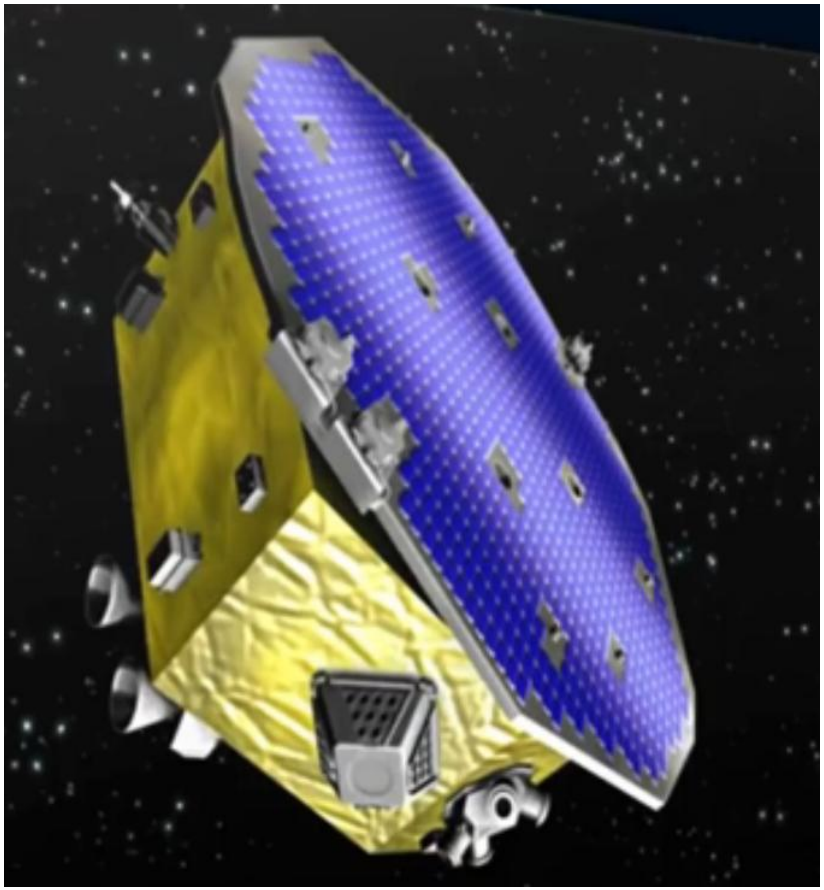
فائدة هذا الاكتشاف

- الأمر الآخر الذي يجعل العلماء متحمسين كثيراً لاكتشاف موجات الجاذبية هو أنها الحلقة الأخيرة غير المُؤكَّدة بعد في نظرية آينشتاين للنسبية العامة.

- فقد نجح العلماء حتى الآن بإثبات جميع المفاهيم المُهمة التي طرحتها هذه النظرية، وكانت هذه الموجات هي آخر مفهوم جوهري فيها لم يُثبَت تجريبياً بعد.

مع أنَّ الوقت مُبكِّر قليلاً لتخمين نتائج هذا الاكتشاف، لكنَّه قد يحدث ثورة نوعيَّة في علم الفيزياء الفلكية، وقدرتنا على دراسة الكون من حولنا.

المستقبل



ماذا سيحدث بعد ذلك؟

- سيعمل فريق الليجو أيضًا على زيادة حساسية أجهزة المرصد لرصد المزيد والمزيد من الإشارات أيضًا.
- من الأشياء المثيرة هو إنه سيتم إطلاق مرصد ليزا الفضائي LISA–Laser Interferometer Space Antenna Project وهو مشابه لمرصد الليجو ولكنه سيعمل بدون وجود تلك الضوضاء في الخلفية الموجودة على الأرض.

ماذا نتوقع الآن؟

لا تزال هنالك أجزاء كبيرة من الكون خفية عنا، ومع وجود موجات الجاذبية فإنها ستصلنا ومن كل اتجاه.

موجات الجاذبية لعلم الفلك مثل الأشعة السينية للعلوم الحديثة..

لن نتمكن من دراسة النظرية النسبية لأينشتاين فحسب، بل أيضا سنتمكن من تأكيد وجود أجسام فضائية لم نتخيلها إطلاقا، وسنتمكن من دراسة كون لم يتم رؤيته من قبل.

أول من تحدث عن الجاذبية

- الجاذبية هي اكتشاف إسلامي وليس غربي!
- وهذا ما نراه واضحاً في كلام البغدادي الذي تحدث عن قوانين الجسم المقذوف والسقوط الحر فقال:
- "فكذلك الحجر المقذوف فيه ميل مقاوم للميل القاذف؛ إلا أنه مقهور بقوة القاذف؛ ولأن القوة القاسرة عرضية فيه، فهي تضعف لمقاومة هذه القوة والميل الطبيعي ولمقاومة المخروق.. فيكون الميل القاسر في أوله على غاية القهر للميل الطبيعي، ولا يزال يضعف ويبطئ الحركة ضعفًا بعد ضعف وبطئًا بعد بطء حتى يعجز عن مقاومة الميل الطبيعي، فيغلب الميل الطبيعي فيحرك إلى جهته".
- وهذا يشير بوضوح إلى أن البغدادي يتحدث عن تأثير الجاذبية الأرضية. وكذلك تناول عدد من علماء المسلمين موضوع تسارع الجاذبية الأرضية مثل الخازن في كتابه "ميزان الحكمة"، وهذا يدل على سبق علماء المسلمين للغرب في هذا المجال

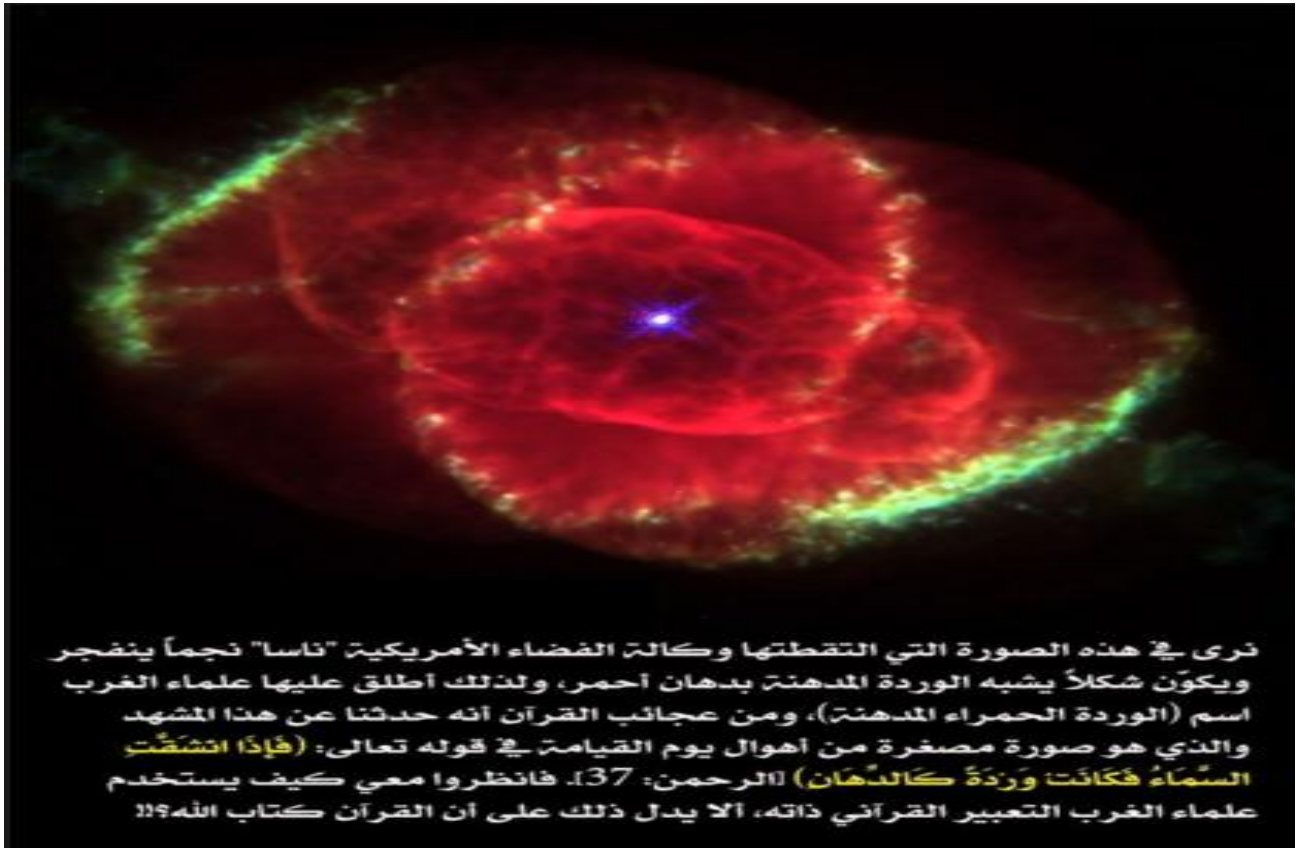
الإعجاز في الكون - السماء والجاذبية

- قول عز وجل: (وَمِنْ آيَاتِهِ أَنْ تَقُومَ السَّمَاءُ وَالْأَرْضُ بِأَمْرِهِ ثُمَّ إِذَا دَعَاكُمْ دَعْوَةً مِنَ الْأَرْضِ إِذَا أَنْتُمْ تَخْرُجُونَ) [الروم: ٢٥]. في هذه الآية إشارة قوية إلى الجاذبية ،وتبين أن قوى الجاذبية تربط أجزاء الكون فلا يتفكك أو ينهار. وفي عام ١٩١٢ أعطى آينشتاين تفسيراً علمياً لسرّ ترابط الكون من خلال أمواج الجاذبية.
- ولكن القرآن تحدث عن هذا السر قبل أربعة عشر قرناً في قوله تعالى: (أَنْ تَقُومَ السَّمَاءُ وَالْأَرْضُ بِأَمْرِهِ) فقوى الجاذبية هي مخلوق من مخلوقات الله يعمل بأمر الله، فالسماء والأرض وكل محتويات الكون لا يمكنها القيام والاستمرار والتماسك إلا بوجود هذه القوى الجاذبة، وهي أمر من عند الله تعالى.

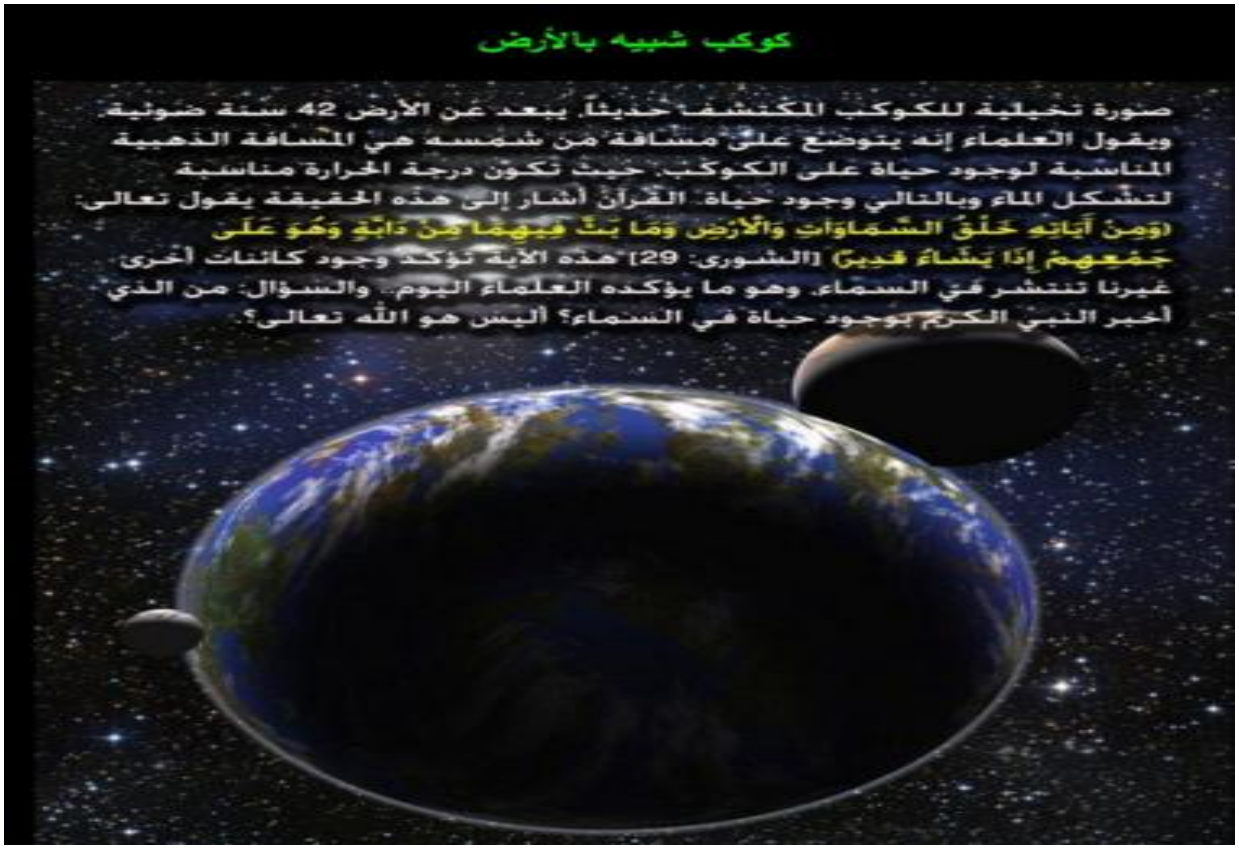
الإعجاز في الكون – عن الثقوب السوداء

رسم لثقب أسود في مركز الدوامة وهو يبتلع سحابة كثيفة من الدخان الكوني، ويقول العلماء إن هذه الثقوب السوداء لا تُرى أبداً وهي تجري بسرعات كبيرة وتشفط وتكنس أي شيء يقترب منها، فهي تعمل مثل مكانس كونية عملاقة. وسبحان الله! لقد أشار القرآن الكريم إلى هذه الثقوب السوداء قبل أن يكتشفها العلماء بأربعة عشر قرناً في قوله تعالى: (فَلاَ أُقسِمُ بِالخُنَّسِ ۞ الجَوَارِ الكُنَّسِ) [التكوير: 15 – 16]. وكلمة (الخنَّس) تعني التي لا تُرى، وكلمة (الكُنَّس) تعني التي تكنس وتجذب، وكلمة (الجوار) أي التي تجري... وهذه هي صفات الثقوب السوداء التي اكتشفها العلماء حديثاً، والسؤال: ألا تدل هذه الآية على إعجاز القرآن وأنه كتاب منزل من الله تعالى؟

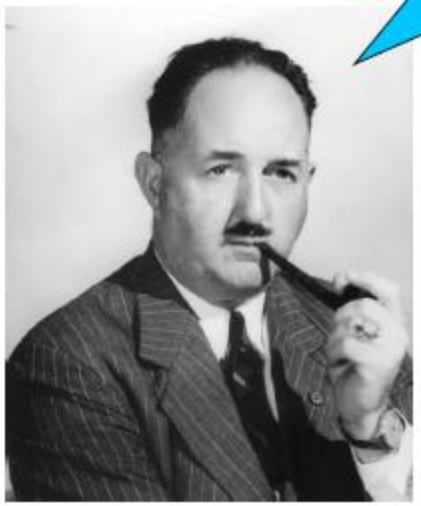
الإعجاز في الكون – عن الانفجار العظيم



الإعجاز في الكون – عن الأكوان الأخرى

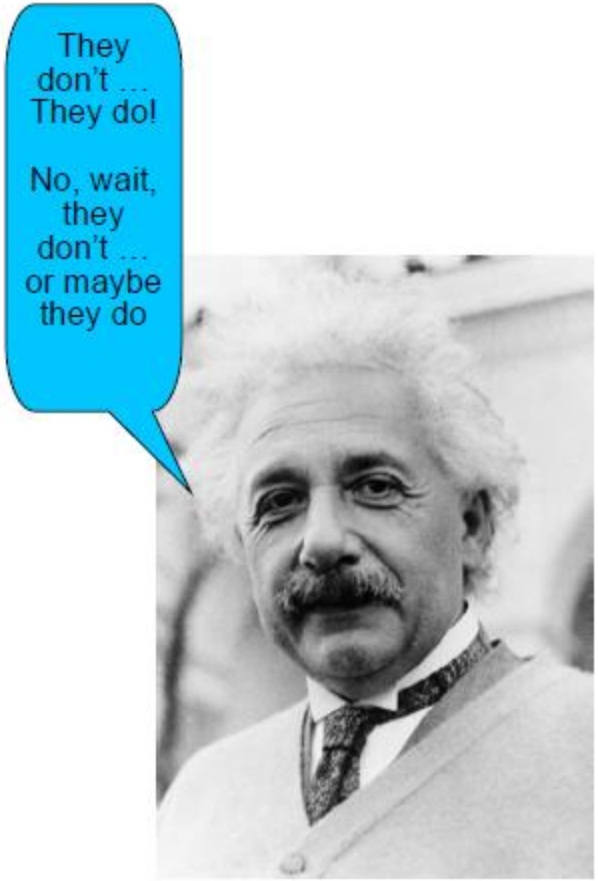


Do GWs exist? a historical footnote



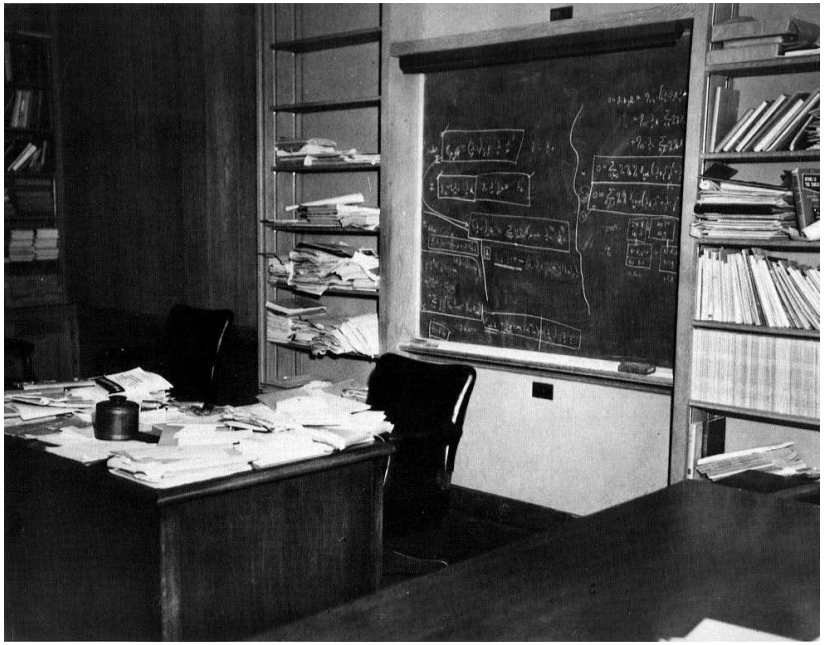
Howard P. Robertson

Arthur S. Eddington



Albert Einstein

عبارات قالها أينشتاين



- في الفيزياء لا ينفصل الماضي و الحاضر و المستقبل عن بعض بل هم وحدة متماسكة .
- إن جميع النظريات الفيزيائية و تعبيراتها الرياضية يمكن أن تشرح عن طريق صور وصفية بسيطة حتى الطفل الصغير يستطيع أن يفهمها.
- قال آينشتين لتشابلن (لقد تجمع الناس لينظروا إلى عبقري يفهمونه تمام الفهم وهو أنت، وعبقري لا يفهمون من أمره شيئاً وهو أنا).
- زميله في برلين العالم الفيزيائي لندتبورغ (كان يوجد في برلين نوعان من الفيزيائيين: النوع الأول آينشتين، والنوع الآخر سائر الفيزيائيين)

نظرية الأوتار الفائقة

- هي النظرية التي وحدت نظرية الكم مع النظرية النسبية.
- تضم نظرية الأوتار الفائقة (10 أبعاد سابقاً حاليا أضيف بعد حادي عشر مما سمح لها بافتراض وجود أغشية تتذبذب في المكان ذي الأبعاد المتعددة " نظرية الغشاء") جميع أفكار أينشتاين المتعلقة بالنسبية ، فهي تتناول الزمكان و تقرر أن الفضاء المحيط فيه منحني تماماً (أينشتاين 1915).
- تعتبر ظاهرة الجاذبية حقيقة لازمة. (نظرية الكم لا تتضمن هذه الظاهرة)
- قادرة على توحيد الجاذبية مع القوة الكهرومغناطيسية من خلال افتراض أن الأبعاد العليا قادرة على التذبذب مولدة قوى جديدة تنتشر في الأبعاد الثلاثة مثل الضوء

المصادر

* Barrow.John D. The universe that Discovered Itself. Oxford University Press.Oxford, 2000.
* Fank. Philip. Einstein: His Life and His Thoughts. Alfred A. Knopf,New York, 1949.
* Pais,Abraham , Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical World.
Oxford UniversityPress,New York, 1986.
* Michio Kaku , Einsteins Cosmos,
Lisa Randall, Knocking on Heaven's Door.
* http://www.gravity.pd.uwa.edu.au
* http://www.ligo.org/
* http://www.ligo-la.caltech.edu
* http://focus.aps.org/story/v8/st3
* spaceplace.jpl.nasa.gov/ lisa_fact2.htm
* http://www.physicscentral.com/action/action-02-8.html

- مصادر متنوعة عن الإعجاز العلمي

شكرا لإصغائكم و حضوركم