



أمواج الجاذبية

تقدمة الطالب: علي أحمد

الصف: الثالث ثانوي

السنة: 2016-2017

اشراف الأستاذ: محمود نوح

الفهرس

المحتويات

2	المقدمة
2	أمواج الجاذبية
3	أهمية هذا الاكتشاف
6	كيف تؤثر أمواج الجاذبية على الفضاء
10	كيف تم قياس موجة الجاذبية
12	تجربة الاكتشاف
15	النتائج:
16	المراجع

المقدمة

جميعنا يعتقد ان الجاذبية هي القوة التي تشدنا نحو الأسفل لكن اينشتاين فكر بطريقة أخرى حيث انه اعتقد بوجود شيء يسمى أمواج الجاذبية و عبر عنها في نظريته النسبية العامة سنتعرف على مفهومه لأمواج الجاذبية في هذه الحلقة التالية.

أمواج الجاذبية

هي تموجات تقع في نسيج المكان و الزمان وهي ظاهرة تنبأت بوجودها نظرية النسبية العامة و هي نوع من الأمواج ينتج عن الاجسام الفيزيائية المتسارعة و هي أمواج عرضية ذات طاقة تنتقل عبر الزمكان.

طبقا للنسبية العامة فان كل جسم ذو كتلة يحدث تغيرات في شكل الزمكان (تمدد و تقلص). و يمكن للأجسام بناً على ذلك ان تحدث اهتزازات في الزمكان تسمى أمواج الجاذبية و في النسبية العامة ما يتم ملاحظته كقوة جاذبة في الميكانيك الكلاسيكي يفسر انه حركة الاجسام في الزمكان و هي حركة تتبع خطوطا جيوديزية في فضاء الزمكان والخطوط الجيوديزية هي اقصر الخطوط الواصلة على سطح كرة بين نقطتين على السطح .

استمرت محاولات علماء الفيزياء على مدى قرن كامل لأثبات وجود أمواج الجاذبية.

اقترح اينشتاين ان اجساما متسارعة مثل نجمين نوترونيين او ثقبين اسودين تسببا بتشتت في النسيج الكوني و عندما اندمجت هذه الاجسام اطلقت ظاهرة كونية لتنتج اطنانا من موجات الجاذبية الى الفضاء و توقع ان هذه الموجات تمر عبر المجرات بسرعة الضوء لتغير شكل الاجسام التي تقف بطريقها.



تصادم نجمين نيوترونيين

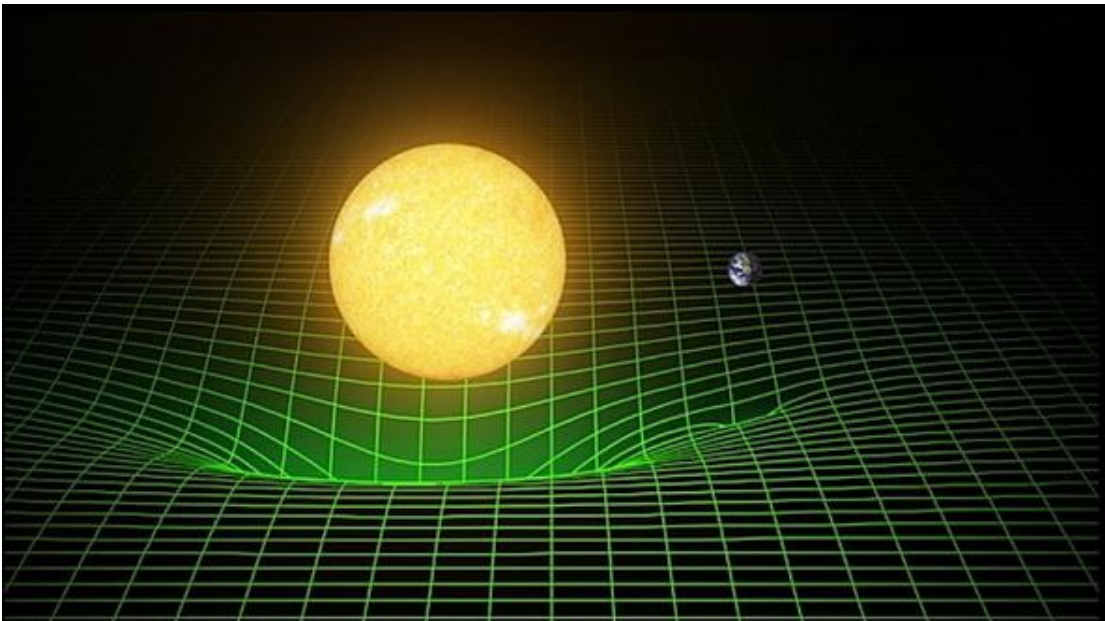
على عكس الموجات الكهرومغناطيسية و اشعة الراديو او حتى الضوء المرئي فأن الموجات لا تتأثر بمحيطها فخلال سفرها عبر الكون لا تتفاعل هذه الموجات مع المواد التي تمر بها بل تمر من خلالها بسلاسة وثبات لتعتبر دليلا على الماضي بطريقة الاتجاه و من خلال دراسة هذه

الموجات يمكننا ان نجيب على ابرز الأسئلة التي لطالما حيرتنا حول كيفية سير عالمنا. ضخمة و كبير مثل تصادم و اندماج ثقيبين اسودين . نظريا فأن هذه الموجات كان يفترض بها ان تصادف الأرض لكن العلماء لم يتمكنوا من توثيق وجودها وحاولوا تصميم أجهزة رصد دقيقة لتتمكن من رصدها حيث ان هذه الأمواج تنقل معلومات عن الكون وعن تصادم او اندماج ثقيبين اسودين او نجمين نيوترونيين.

أهمية هذا الاكتشاف

كان الإعلان عن أمواج الجاذبية اكتشاف تاريخي و عقد له مؤتمر عالمي و احتفل الفيزيائيون بهذا الحدث الهام حيث لأن:

- 1- أمواج الجاذبية هي طريقة اينشتاين الجديدة لمراقبة الكون :
يدرس الفيزيائيون الكون من خلال الطيف الكهرومغناطيسية بدءا من اشعة اكس و الاشعة فوق البنفسجية و حتى أمواج الراديو و الميكروويف. ان الانبعاث الصادر من الكون في مدى تردد هذه الاشعة المختلفة يوفر معلومات مختلفة و كل طيف من هذه الاشعة يعطي منظور مختلف للكون.
حيث ان العلماء يجب ان يستخدموا مرصد فلكية تعمل بالأشعة تحت الحمراء و أمواج الراديو بدل الضوء او الاشعاع الكهرومغناطيسي لاكتشاف ملايين النجوم المتمركزة في المجرة لان الضوء لا يستطيع النفوذ خلال الغبار الكوني.
ان أمواج الجاذبية ظاهرة مختلفة تماما عن أي شيء في الطيف الكهرومغناطيسي في العام 1915 افترض العالم اينشتاين طريقة مختلفة تماما للنظر في موضوع الجاذبية في نظرية أعطاها اسم النظرية النسبية العامة . وبدلا من التفكير في الجاذبية على انها قوة تدفع و تسحب الكتل الكبيرة في اتجاهات مختلفة افترض اينشتاين ان الجاذبية هي عبارة عن تحذب في احداثيات الزمكان بمعنى ان كلا من المكان والزمان يتحذب وينحني حول الكتل الهائلة و من ثم وصف مسار الاجسام الأخرى التي تمر بجوار هذا الانحناء.



رغم غرابة هذه النظرية الا ان العلماء اكتشفوا العديد من الظواهر التي تؤكد فرضية اينشتاين . مثلا ان الجاذبية العامة تخبرنا ان الزمن يتغير بنحو ابطاً للأجسام المتحركة حول كتل كبيرة و قد لاحظوا هذا الامر في حركة الأقمار الصناعية المستمدة في تحديد المواقع بتقنية GPS وهذه الظاهرة تعرف بالتأخير الزمني و التي نتجت عن تحذب الزمكان . بدون تعديل و ضبط مقدار التأخير الزمني الصغير فان كل أقمار الاتصالات الصناعية سوف تضيع في الكون.

و نتيجة لاطار عمل النظرية النسبية العامة فانه للأجسام المتحركة بتسارع خلال الفضاء المنحني فأنها سوف تحدث تموجات هي أمواج الجاذبية . تنتشر أمواج الجاذبية خلال الفضاء و تضغطه في اتجاه واحد و تمدده في الاتجاه الاخر.

لكن تطلب الامر 100 عام لرصدها لان هذه الأمواج صغيرة جدا وتصل لواحد على الف من قطر البروتون. لذا انتظر العلماء حدث مثل تصادم او اندماج ثقبين اسودين. نعلم ان الثقوب السوداء يمكن ان تندمج ليتكون عنها ثقب اسود اكبر حجما: وصف الفيزيائي الشهير كيب ثورن ان هذا الحدث الذي نتج عنه أمواج الجاذبية بالإعصار العنيف في نسيج الزمكان. منذ حوالي 1.3 مليار سنة مضت أي عندما بدأت الحياة على الأرض اقترب ثقبين اسودين يدوران حول بعضهما البعض و مع اقترابهما اكثر فأكثر ازداد تسارعهما حتى وصلت سرعتهما لنصف سرعة الضوء تقريبا ومن ثم اندمجا معا ليصدر عنهما هزة عنيفة انتجت أمواج جاذبية قوية.



كيب ثورن Kip Thorne

بمقارنة شكل الموجة التي تم رصدها مع موجة المحاكاة التي أجريت باستخدام كمبيوتر فائق السرعة يمكن ان نقدر كتلة الثقبين الاسودين حيث احدهما بلغت كتلته 29 مرة كتلة شمس و الاخر 36 مرة كتلة الشمس قد صدر عنهما طاقة في صورة أمواج جاذبية و قد قدر ان زمن التصادم لم يتجاوز 20 ميلي ثانية وهذه الطاقة تقدر بحوالي 50 مرة اكبر من الطاقة التي صاحبت الانفجار العظيم لتضع كل النجوم في الكون. قبل هذا الاكتشاف لم يكن الفلكيون متأكدون من هذا الاندماج بين الثقوب السوداء ممكن ان يحدث و الان هذه التفاصيل التي صاحبت هذا الاكتشاف كان بمثابة الدليل الأكيد على حدوث اندماج للثقوب السوداء.¹

2- مئات العلماء اخذوا على عاتقهم مغامرة كبيرة لجعل هذا الرصد و الاكتشاف ممكنا تنبأ اينشتاين بوجود أمواج الجاذبية منذ 100 عام مضت لكن ذلك الوقت لم يكن هناك أي احتمال لرصد إشارات ضعيفة الى هذا الحد في العام 1992 اصبح مرصد الليجو

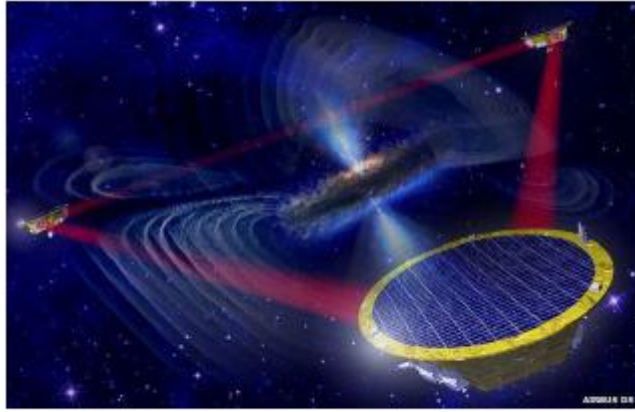
أكبر استثمار قامت به مؤسسة العلوم الدولية على مر الزمن. هذا الاستثمار الكبير مخاطرة كبيرة حيث ان أمواج الجاذبية كانت مجرد فرضية نظرية وان اشارتها الدالة على وجودها من المستحيل ان نرصدها بدون بناء أداة أكبر من أضخم أداة قياس معروفة على الأرض . في الحقيقة منذ بدأ التشغيل الفعلي لمرصد الليجو في الفترة بين 2002 و 2010 و لم ينجح ابدا في رصد أي إشارة للأمواج الجاذبية. لكن تم اجراء تحسينات جديدة على مرصد الليجو لزيادة مقدار حساسيته و تمكن من رصد إشارة واضحة للأمواج.

3- بادئة جديدة تستمع بها لصوت الكون فإننا على أبواب اكتشافات جديدة لا يمكن ان نحلم بها:

الجيد في هذا الاكتشاف الجديد ان رصد موجة جاذبية بواسطة الليجو يجعلنا نتوقع رصد المزيد من أمواج الجاذبية و بدون ان ننتظر لرصد ادق للأمواج الجاذبية. ان نجاح مشروع رصد الليجو سوف يشجع على تمويل مشاريع أخرى حيث ستبني الهند مرصد ليجو و اليابان بدأت ببناء مرصد اسمته كاجرا KAGRA و إيطاليا فيرجو VIRGO و المانيا جيرو GEO600600 . باستخدام العديد من المراصد سوف نصل الى اصل هذه الإشارات.

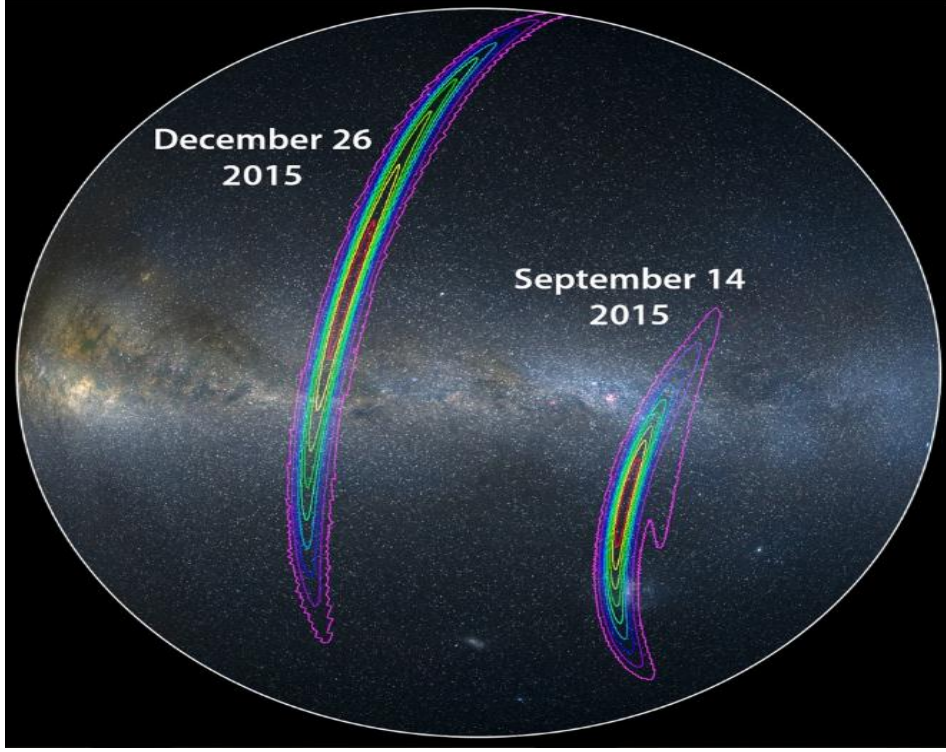
مشروع الفضاء ليزا

LISA (The Laser Interferometer Space Antenna) حصل على دعم مالي من ناسا في 2011 و تولت الان ادارته وكالات أوروبية سوف يرسل مرصد للأمواج يعمل في الفضاء. وهذا سيفتح إمكانيات جديدة لرصد الأمواج لفترات تدوم أطول و قد تصل الى بضعة دقائق و حتى ساعات بدلا من رصدها لأجزاء من الثانية.



Laser Interferometer Space Antenna

تصدر الأمواج المتوقعة بين ثقبين اسودين يدوران حول بعضهما البعض مثل التي تم رصدها في 14 سبتمبر 2015 و 26 ديسمبر 2015 و كذلك تصدر أيضا في الأنظمة الثنائية التي تحتوي على اجسام ذات كثافة عالية مثل النجوم النيوترونية . وفي النهاية فإن أمواج الجاذبية تختلف اختلافا جوهريا عن الاشعاعات الكهرومغناطيسية المعروفة لنا بشكل جيد. لذا لا احد يعرف ماذا يمكن ان نكتشف عن اسرار الكون.²



الفرق في الأمواج المكتشفة في العام 2015

كيف تؤثر أمواج الجاذبية على الفضاء

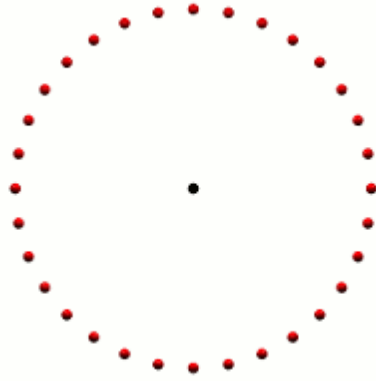
اعتمدنا في فهم الكون و دراسته على أمواج الاشعة الكهرومغناطيسية بمختلف تردداتها و اطيافها و كشفنا الكثير من الغازها من خلال المراصد الفلكية التي ترصدها. الا ان هذه الاشعة تبقى قاصرة لفهم اعماق للكون حيث انه لا يمكن الاعتماد عليها في دراسة الثقوب السوداء. اما أمواج الجاذبية فتفتح افاق جديدة لدراسة الكون و كل ما فيه حتى الثقوب السوداء لان لا يوجد شيء يمنع وصول أمواج الجاذبية اليها او يمتصها او يؤثر عليها. وباستخدام أمواج الجاذبية في رصد الكون يمكن ان نصل لأبعد مدى حتى التواصل مع الاكوان الموازية ان وجدت.

قال العالم جون ولير يصف النظرية النسبية العامة لأينشتاين: "تخير المادة المكان و الزمان كيف يتحدب و المكان و الزمان المتحدبان يخبران المادة كيف تتحرك" نشر اينشتاين النظرية النسبية العامة عام 1915 و لكن في 1916 اكتشف نتيجة أخرى لم يذكرها لتشووه المكان و الزمان :

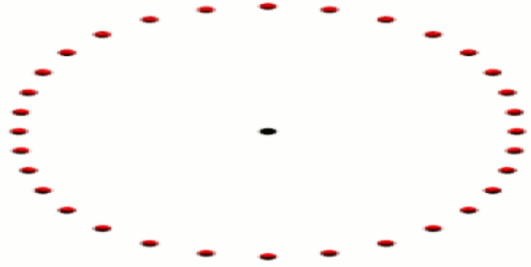
"تسمح النظرية النسبية لأمواج الجاذبية بتشووهات متناغمة تنتشر في الفراغ بسرعة الضوء".³

ما الذي تفعله أمواج الجاذبية؟

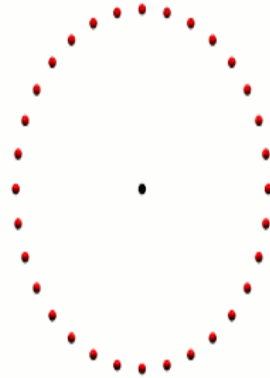
لنفترض على سبيل التبسيط جسيمات تتحرك في الفضاء بعيدا عن أي مصدر للجاذبية . تخيل الجسيمات باللون الأحمر مرتبة على شكل دائرة مركزها الجسيم باللون الأسود.



إذا مرت موجة جاذبية من خلال الجسيمات في الصورة السابقة في اتجاه عمودي على المستوي الذي يحوي هذه الجسيمات فإن المسافات بين الجسيمات تتغير وفق الشكل التالي



و هكذا

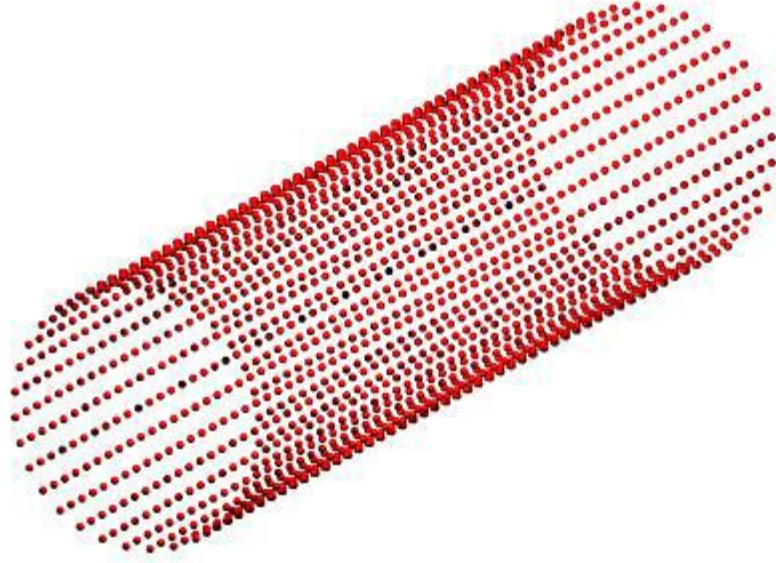


ان مرت موجة جاذبية عبر المادة فإن المسافة ستتغير بنسبة ضئيلة للغاية.

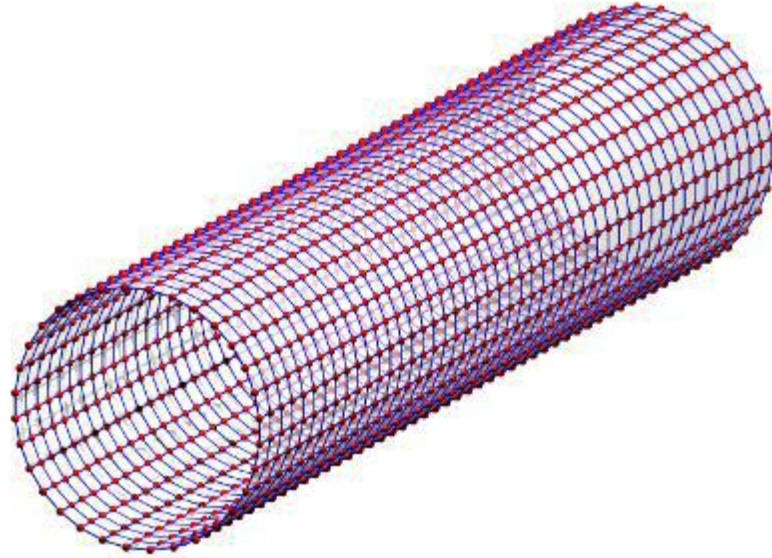
$$\text{حيث إذا كان } r \text{ نصف قطر الدائرة سيصبح } \frac{\Delta r}{r} = 10^{-22}$$

يحدث هذا التأثير عند مرور موجة جاذبية ، و مع وضع كرة أرضية مكان كل جسيم وهي تدور حول الشمس فإن موجة الجاذبية لها تأثير طفيف على الأرض يقدر بأقل من قطر ذرة الهيدروجين.

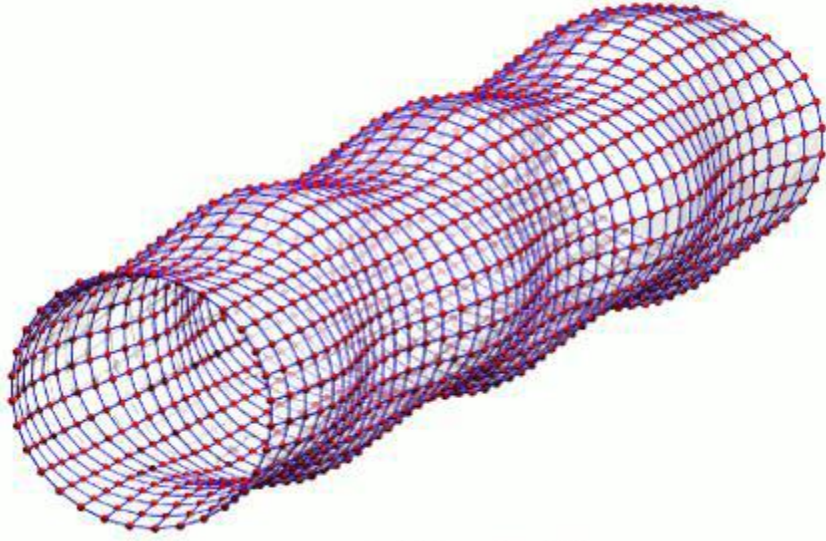
حركة أمواج الجاذبية في الفضاء
توضح الصورة ما يعرف بمصطلح تذبذبات الجاذبية



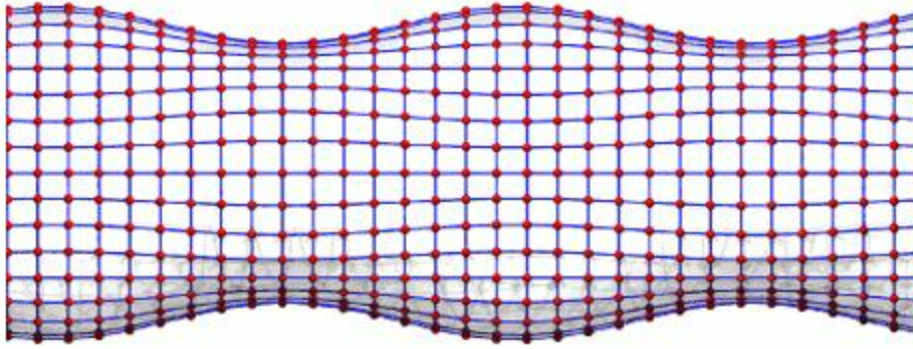
الحركة التذبذبية للماء و الحبل المهتز هي نفسها لأمواج الجاذبية ، ولتوضيح الامر
اكثر وصلنا الجسيمات بخطوط زرقاء



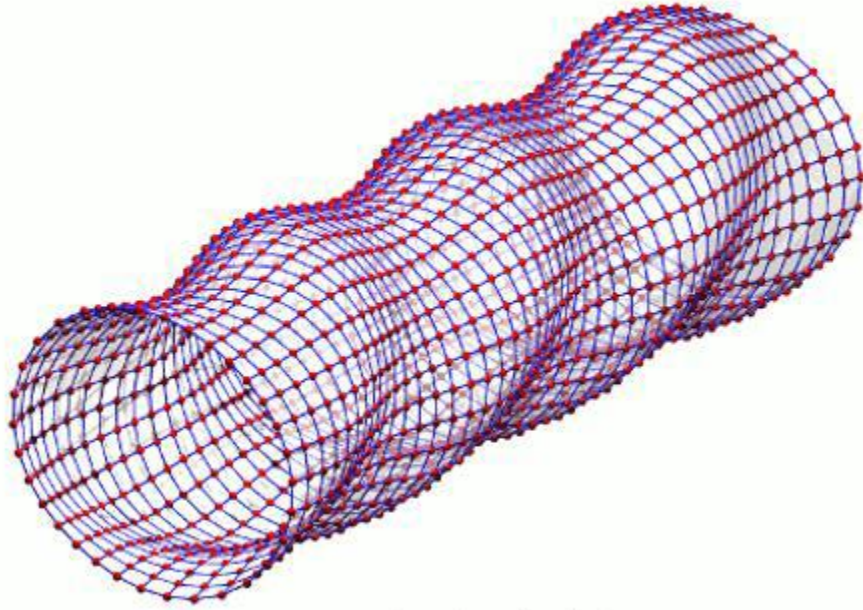
عند مرور موجة الجاذبية من الجانب الأيمن الى الأيسر أي من الخلف للأمام يصبح
الشكل:



مع انتشار الموجة في الفضاء نتج عنها تغير بالمسافات بين الجسيمات الرأسية داخل كل دائرة من الجسيمات و تتضح الطبيعة الموجية اكثر اذا نظرنا من احد جانبيه



و هذا عبارة عن موجة جاذبية ذات استقطاب خطي وهو احد أنواع أمواج الجاذبية و لكن لو تعرضت الجسيمات لموجة جاذبية ذات استقطاب دائري لحدث تغير في المسافات بين الجسيمات مثل



نستنتج ان أمواج الجاذبية تنتشر مثل تموجات دودية في الفضاء الا ان الديدان الفضائية هي مما يبحث عنها العلماء بسبب ما تحمله بين طياتها من معلومات كونية مهمة من المستحيل الحصول عليها باستخدام الأمواج الكهرومغناطيسية. و حاول العلماء رصد الأمواج منذ 100 سنة. و تبلغ صعوبة رصد أمواج الجاذبية في كونها ضعيفة جدا و تحدث اثر ضعيف لا يتعدى قطر ذرة الهيدروجين. يكون للأمواج اقصى تأثير عندما تكون ناتجة عن اجرام فلكية هائلة مثل حركة نجوم نترونية متسارعة او اندماج ثقبين اسودين فيحدث عنهما موجة جاذبية تنتشر في الفضاء و هذا ما حدث منذ 1.4 مليار عام و قد وصلت موجة الجاذبية للأرض و التي تم رصدها بواسطة مرصد ليجو مؤخرا ليكون بذلك اثبات عملي على فرضية اينشتاين في النظرية النسبية العامة وفتح افاق جديدة لفهم أعماق الكون.⁵

كيف تم قياس موجة الجاذبية

الجهاز المستخدم في رصدها يعد من ادق نظام قياس تم بناؤه حتى الان

مرصد ليغو (LIGO) و هو اختصار لـ

(Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory)

تم تجهيزه بأحدث الأجهزة البصرية والترصد بالليزر منذ 1988 للعثور على الموجات .

وتعتمد هذه العملية على تقنية التدخل الليزري laser interferometry .

عمل معهد "MIT" و جامعة "Caltech" على تطوير مرصدين متطابقين احدهما في لوزيانا و الاخر في واشنطن شكل كل منهما يشبه حرف L يطلقان اشعة ليزر بمضخات تمتد على مسافة حوالي أربعة كيلومترات.⁶

⁵ مجلة الفيزياء العصرية

⁶ www.ligo.org



صورة جوية لمرصد الليجو LIGO

صور لداخل مرصد الليجو



تجربة الاكتشاف

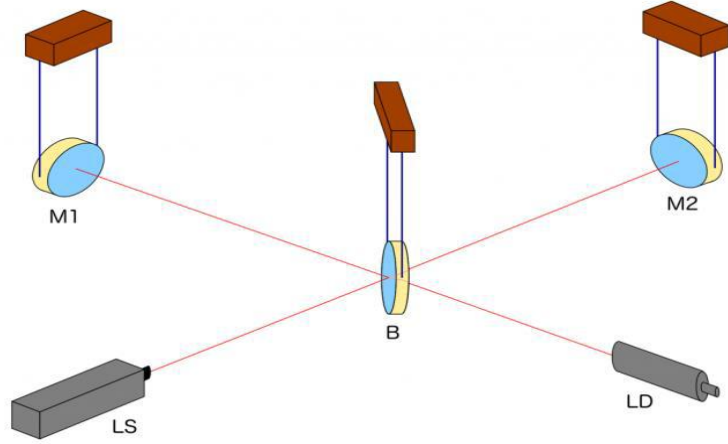
اذا وضعنا مصدر ليزر مقابل لكاشف و اطلقنا نبضات ليزر في اتجاه الكاشف في غياب أي موجة جاذبية.
في كل مرة تصل فيها النبضات للكاشف يعطي ضوء اصفر اللون ترسل النبضات بشكل منتظم وتتحرك بنفس السرعة و بالتالي فهي تصل الى الكاشف خلال فترات زمنية متساوية .



الان اذا تخيلنا مرور موجة جاذبية خلال هذا النظام سوف تتسبب الموجة في تغيير المسافات . و ذلك سيؤثر على المسافة بين النبضات .

تم الكشف عن هذه الموجات (باستخدام تداخل الليزر) من خلال التجربة الاتية:

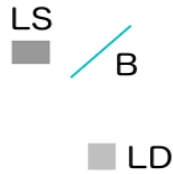
مرآتين و مستقبل او كاشف ضوئي مع استخدام موزع للحصول على شعاعين من مصدر واحد.



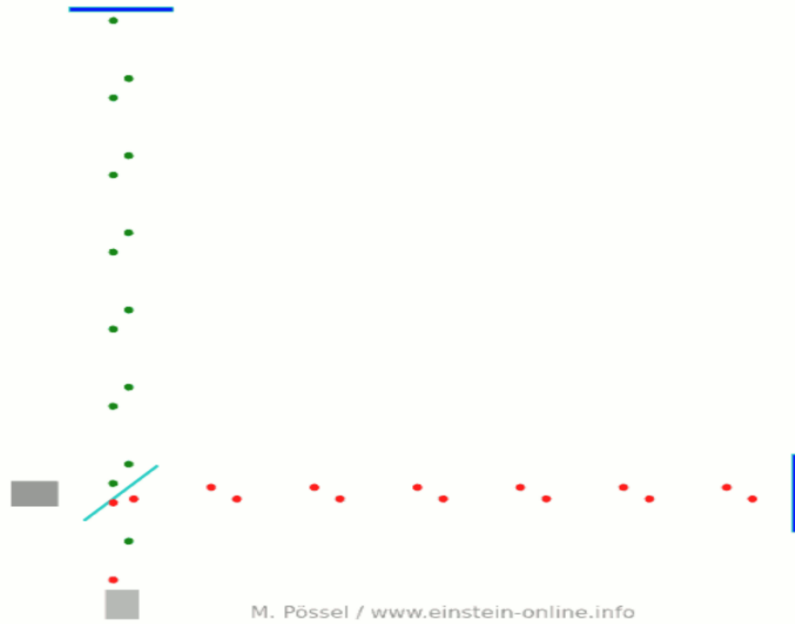
ينطلق ضوء الليزر الى الكاشف من مصدر الليزر LS مرورا بالموزع الضوئي B و الذي يقوم بإرسال نصف الضوء الى المرآة M1 و النصف الاخر للمرآة M2 ينعكس الضوء الساقط على المرآتين و يعود الى الموزع . لذا فان الضوء القادم من المرآة M1 او M2 ينقسم مرة أخرى حيث يتجه نصفه للكاشف LD و الاخر يعود للمصدر .

الشكل يوضح التجهيزات بمنظر علوي.

M1



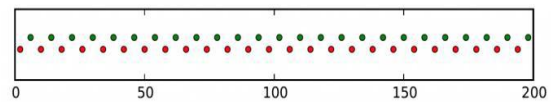
تبدأ التجربة بانبعث نبضات الضوء (سوف نجعل النبضات الضوئية الصادرة من المرآة M1 ملونة بالأحمر اما المرآة M2 بالأخضر).



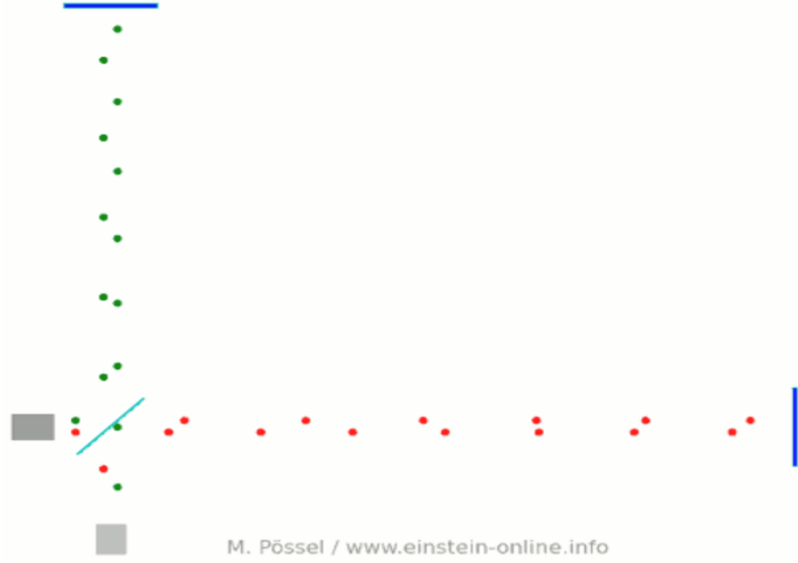
تبدأ نبضات الليزر بالذهاب الى الموزع الضوئي . يرسل الموزع نبضات الليزر الخضراء للأعلى و يسمح الموزع الضوئي للنبضات ذات اللون الأحمر بالمرور في اتجاه المرآة الى اليمين تعود النبضات بعد انعكاسها عن المرآتين. يتم توجيه النبضات المنعكسة الى الكاشف الضوئي في الأسفل.

في هذه التجربة كان الذراع الافقي أطول من الذراع العمودي . لذلك فإن النبضات الحمراء تقطع مسافة أطول قليلا. فتصل للكاشف متأخرة قليلا.

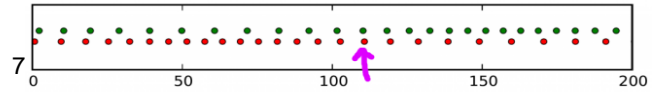
في الشكل التالي نلاحظ في شريط تسجيل لزمان وصول النبضات الحمراء و الخضراء ، و المسافات متساوية بينهما.



ولكن عندما نمرر موجة جاذبية في التجربة:



نلاحظ ان الموجة أثرت على النبضات حيث انها غيرت في المسافة بين المرآتين و الموزع. و أصبحت المسافات بين النبضات متساوية تقريبا و هذا التغيير بسبب موجات الجاذبية. وهذا شريط تسجيل وصول النبضات بعد تمرير الموجة:



النتائج:

تعرفنا في هذه الحلقة على مفهوم أمواج الجاذبية و اكتشافها و كيف تم قياسها كما و تأثيرها على الكون

- 1- كلام اينشتاين كان صحيح واثبت الاكتشافات و الوقائع ذلك.
- 2- اصبح بإمكاننا الان معرفة اسرار الكون و الاصطدامات التي تحدث دون علمنا.

المراجع

- 1 مجلة الفيزياء العصرية(العدد الثامن عشر مارس 2016) الصفحات (13-14-21-25)
www.modrenphys.com
- 2 www.ligo.caltech.edu
- 3 www.ligo.org
- 4 www.news.mit.edu/2016/ligo-first-detection-gravitational-waves-0211
- 5 www.space.com/25090-big-bang-gravity-waves-discovered-video.html
- 6 www.geo600.org
- 7 www.ego-gw.it
- 8 (TEDTALK) www.TED.com
- 9 Gravitational Waves (volume1 -Theory and Experiments-Michele Maggiore-
Département de Physique Théorique –Université de Genève)
- 10 Jolien D.E. Creighton and Warren G.Anderson –Gravitational Waves Physics and
Astronomy