النيوترينوات حرباوات الفضاء*

تاكاكي كاجيتا Takaaki Kajita وآرثر بي. مكدونالد Arthur B. McDonald كبار العلماء لمجموعتين من المجموعات البحثية الكبيرة، مجموعة تجربة سوبر كاميوكاندي أو كامييوكا الخارق Super-Kamiokande ومرصد سودبيري للنيوترينوات Sudbury Neutrino Observatory ، اللتان اكتشفتا أن النيوترينوات تتحول في منتصف الرحلة.

إنهم حلو لغز النيوترينو وفتحوا عالم جديد في فيزياء

* نشر المقال في موقع منظمة المجتمع العلمي العربي بتاريخ ١٢ أكتوبر ٢٠١٥م.

الجسيمات.

يجرى تعقب - في عمق الأرض في مرافق عملاقة حيث الآلاف من العيون الاصطناعية التي انتظرت اللحظة المناسبة للكشف عن أسرار النيوترينوات. في عام ١٩٩٨، قدم تاكاكي كاجيتا اكتشاف أن النيوترينوات يبدو أنها تخضع للتحول. فهي تبدل هوياتها في طريقها إلى كاشف تجربة سوبر كاميوكاندي في اليابان، حيث يتم أسر النيوترينوات هناك في التفاعلات بين الأشعة الكونية والغلاف الجوي للأرض.

وفي الوقت نفسه، على الجانب الآخر من الكرة الأرضية، يدرس العلماء في مرصد سودبيري للنيوترينوات في كندا Sudbury Neutrino Observatory، SNO، النيوترينوات القادمة من الشمس. في عام ٢٠٠١، أثبتت مجموعة من الباحثين برئاسة آرثر بي ماكدونالد أن هذه النيوترينوات ، أيضا، تبدل هوياتها.

معا، قد اكتشفت التجربتان ظاهرة جديدة – هي تذبذبات النيوترينو neutrino oscillations . والاستنتاج بعيدة

opelkanal.com

المدى من التجارب هو أن النيوترينو- الذي أعتبر عديمة الكتلة وقتا طويلا- يجب أن يكون له كتلة. ولهذا الأمر أهمية رائدة في فيزياء الجسيمات وفهمنا للكون.

الأبطال المترددون

نحن نعيش في عالم من النيوترينوات. آلاف المليارات من النيوترينوات تتدفق خلال جسمك في كل ثانية. لا يمكنك رؤيتها ولا تشعر بها، فالنيوترينوات تندفع عبر الفضاء تقريبا في سرعة الضوء، ونادرا ما تتفاعل مع المادة.

من أين يأتون؟

تكوّن البعض بالفعل في الانفجار الكبير Big Bang ، في حين يجري باستمرار صنع آخرين في عمليات مختلفة في الفضاء وعلى الأرض - من انفجار السوبرنوفا ، وموت النجوم الضخمة، إلى التفاعلات في محطات الطاقة النووية وبشكل طبيعي تحدث التحلل الإشعاعي، حتى داخل أجسامنا يتم انبعاثها في المتوسط ٥٠٠٠ نيوترينو في الثانية عندما تتحلل نظائر البوتاسيوم. الغالبية العظمى من تلك التي تصل إلى الأرض تنشأ في التفاعلات النووية داخل الشمس.

النيوترينوات هي في المرتبة الثانية بعد الفوتونات – جسيمات الضوء – من حيث العدد بين الجسيمات في الكون كله.

ومع ذلك لفترة طويلة، كان وجودها غير متأكد منه. بل العكس تماما؛ عندما اقتراح النمساوي فولفغانغ باولي Wolfgang Pauli (الحائز على جائزة نوبل في عام ١٩٤٥) وجودها من قبل كان ذلك أساسا في محاولة يائسة لتوضيح حفظ الطاقة في تحلل بيتا beta decay ، وهو نوع من التحلل الإشعاعي في الأنوية الذرية. في ديسمبر ١٩٣٠، كتب باولي رسالة إلى زملائه الفيزيائيين خاطبهم قائلا أعزائي السيدات والسادة المشعين. في هذه الرسالة اقترح أن بعض من الطاقة يتم جرفها عن طريق جسيمات خفيفة جدا متعادلة كهربائيا، ذات تفاعل ضعيف.

حتى باولي، نفسه، بالكاد صدق بوجود هذا الجسيم. هو قال مفترضا: "لقد فعلت شيئا فظيعا، لقد افترضت جسيمة التي لا يمكن الكشف عنها".

بعد وقت قصير كان الإيطالي إنريكو فيرمي Enrico Fermi (الحائز على جائزة نوبل في عام ١٩٣٨) قادرا على عرض نظرية أنيقة التي تضمنت جسيمة باولي خفيفة الوزن، والمحايدة. والتي سميت النيوترينو. لا يمكن لأحد أن يتوقع أن هذه الجسيمات صغيرة سوف تحدث ثورة سواء في فيزياء الجسيمات أو علم الكونيات.

استغرق الأمر ربع قرن قبل اكتشاف النيوترينو فعلا. وجاءت الفرصة في الخمسينات تقريبا، عندما بدأت النيوترينوات تتدفق على شكل تيار بأعداد كبيرة من محطات الطاقة النووية التي تم بناؤها بعد ذلك. في يونيو ١٩٥٦، أرسل الفيزيائيان الأمريكيان فريدريك رينز Frederick Reines (الحائز على جائزة نوبل في عام ١٩٩٥) وكلايد كوان Clyde Cowan برقية إلى فولفغانغ باولي – تقول إنهم وجودوا آثارا النيوترينوات في كاشفهم . أظهر الاكتشاف أن النيوترينو الشبحي، أو الروح الشريرة كما قد سميت، هو جسيم حقيقي.

ثلاثي غريب

جائزة نوبل لهذا العام من جوائز الفيزياء للاكتشاف الذي حل لغز النيوترينو القائم من فترة طويلة.

منذ الستينات، كان العلماء يحسبون نظريا عدد النيوترينوات التي تم إنشاؤها في التفاعلات النووية التي تجعل الشمس تسطع ، ولكن عند إجراء القياسات على الأرض، وجدوا أنما يصل الى ثلثي الكمية المحسوبة كان في مفقودا.

أين كانت تذهب النيوترينوات؟

الاقتراحات لم تكن قليلة. لكن ربما كان هناك شيء خاطئ في الحسابات النظرية لكيفية إنتاج النيوترينوات في الشمس؟ أحد الاقتراحات الأخرى لحل لغز النيوترينوات الشمسية أن النيوترينوات تغيّر هوياتها.

وفقا للنموذج القياسي لفيزياء الجسيمات هناك ثلاثة أنواع من النيوترينوات؛ وهي : نيوترينوات الإلكترون electron-neutrinosونيوترينوات الميون-muon neutrinosونيوترينوات تاو tau-neutrinos . كل واحد لديه شريكه المشحون الخاصة به، وهم الإلكترون،

والاثنين شبيهاه الأثقل والأقصر عمرا، وهما الميون والتاو. لا تنتج الشمس سوى نيوترينوات الإلكترون. التي إذا كانت ستتحول إلى نيوترينوات الميون أو نيوترينوات التاو- في طريقها إلى الأرض، فهذا من شأنه أن يجعل العجز في أسر نيوترينوات الإلكترون مفهومة.

البحث عن النيوترينوات تحت الأرض

ظلت التكهنات حول تغيير هوية النيوترينو تخمينات فقط، حتى بدأ العمل بتسهيلات الاكثر والأكبر تطورا ، فتم البحث باستمرار عن النيوترينوات في كواشف ضخمة بنيت في أعماق الأرض، من أجل الوقاية من أي ضوضاء يحدثه الإشعاع الكوني من الفضاء ومن أي انحلال اشعاعي عفوي في المناطق المحيطة. رغم ذلك، فمهارة صعبة أن تفصل بضع إشارات حقيقية عن نيوترينو من بين مليارات منها كاذبة. حتى الهواء في المناجم ومادة الكاشف يحتويان طبيعيا العناصر النزرة التي تتحلل وتتداخل مع القياسات.

أصبحت تجربة سوبر كاميوكاندي شغالة في عام ١٩٩٦ في منجم للزنك على بعد ٢٥٠ كيلومترا شمال غرب طوكيو، في

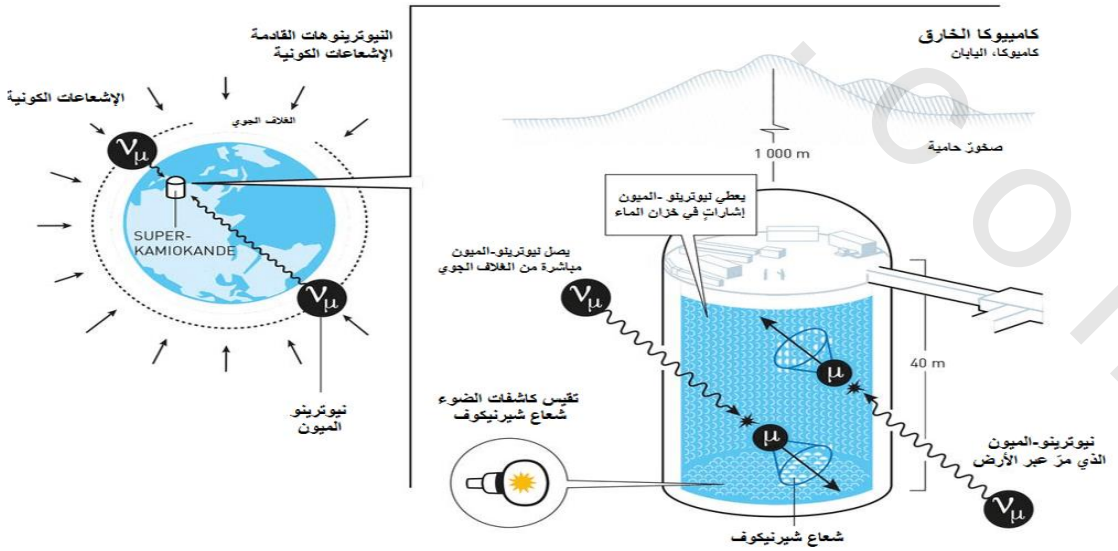
حين مرصد سودبيري للنيوترينوات، الذي بني في منجم النيكل في أونتاريو، بدأ بالمراقبة في عام ١٩٩٩.

الاثنان معا سيكشفان الطبيعة المتلونة للنيوترينو، الاكتشاف الذي من أجله حصلا على جائزة نوبل في الفيزياء لهذا العام.

سوبر كاميوكاندي هو كاشف عملاق بني على عمق ١٠٠٠ متر تحت سطح الأرض. وهو يتألف من خزان، بارتفاع ٤٠ مترا وبنفس العرض، مليء بـ ٥٠٠٠٠ طن من المياه. الماء نقي بحيث أن أشعة الضوء يمكنها الانتقال فيه ٧٠ مترا قبل تنقسم شدتها إلى نصفين، بالمقارنة مع مجرد بضعة أمتار في بركة سباحة عادية. وتم وضع أكثر من ١١،٠٠٠ كاشف ضوئي في أعلى الخزان وجوانبه وأسفله، في مهمة لاكتشاف وتضخيم وقياس ومضات ضوء ضعيفة جدا في الماء النقي للغاية.

تمر الغالبية العظمى من النيوترينوات من خلال الخزان، ولكن بين الحين والآخر، النيوترينوات تصطدم مع نواة الذرة أو إلكترون في الماء. في هذه الاصطدامات تنشأ

الجسيمات المشحونة وهذه الجسيمات هي الميونات من نيوترينوات الميون والإلكترونات من نيوترينوات الإلكترون. حول الجسيمات المشحونة، يتم إنشاء ومضات خافتة من الضوء الأزرق، هذا هو ضوء شيرنيكوف Cherenkov، والذي ينشأ عندما يتحرك جسيم أسرع من سرعة الضوء. هذا لا يناقض نظرية النسبية لأينشتاين، التي تنص على أن لا شيء يمكن أن يتحرك أكثر من سرعة الضوء في الفراغ. في الماء، يتباطىء الضوء إلى ٧٥ في المائة من سرعته القصوى، ويمكن أن "يتجاوز" بواسطة الجسيمات المشحونة. يكشف شكل وشدة ضوء شيرنيكوف نوع النيوترينو المسبب له، ومن أين تأتي.



حل للغز

خلال أول سنتين من العملية، فحصت تجربة سوبر كاميوكاندي حوالي ٥٠٠٠ إشارات نيوترينو. هذا كان أكثر بكثير مما كانت عليه في التجارب السابقة، ولكن لا يزال أقل مما كان متوقعا ما قدره العلماء لكمية النيوترينوات التي أنشأها الإشعاع الكوني. تأتي جسيمات الأشعة الكونية من جميع الاتجاهات في الفضاء، وعندما تصطدم بأقصى سرعة مع الجزيئات في الغلاف الجوي للأرض، يتم إنتاج زخات من النيوترينو.

أمسكت تجربة سوبر كاميوكاندي نيوترينوات الميون القادمة مباشرة من الغلاف الجوي من الأعلى، وكذلك التي تضرب الكاشف من الأسفل بعد أن اجتازت كامل الكرة الأرضية. يجب أن يكون هناك أعداد متساوية من النيوترينوات القادمة من الاتجاهين. فالأرض لا تشكل أي عقبة كبيرة لهم. ولكن نيوترينوات الميون التي جاءت مباشرة وصولا الى تجربة سوبر كاميوكاندي كانت أكثر عددا من تلك التي تمر أولا عبر الكرة الأرضية.

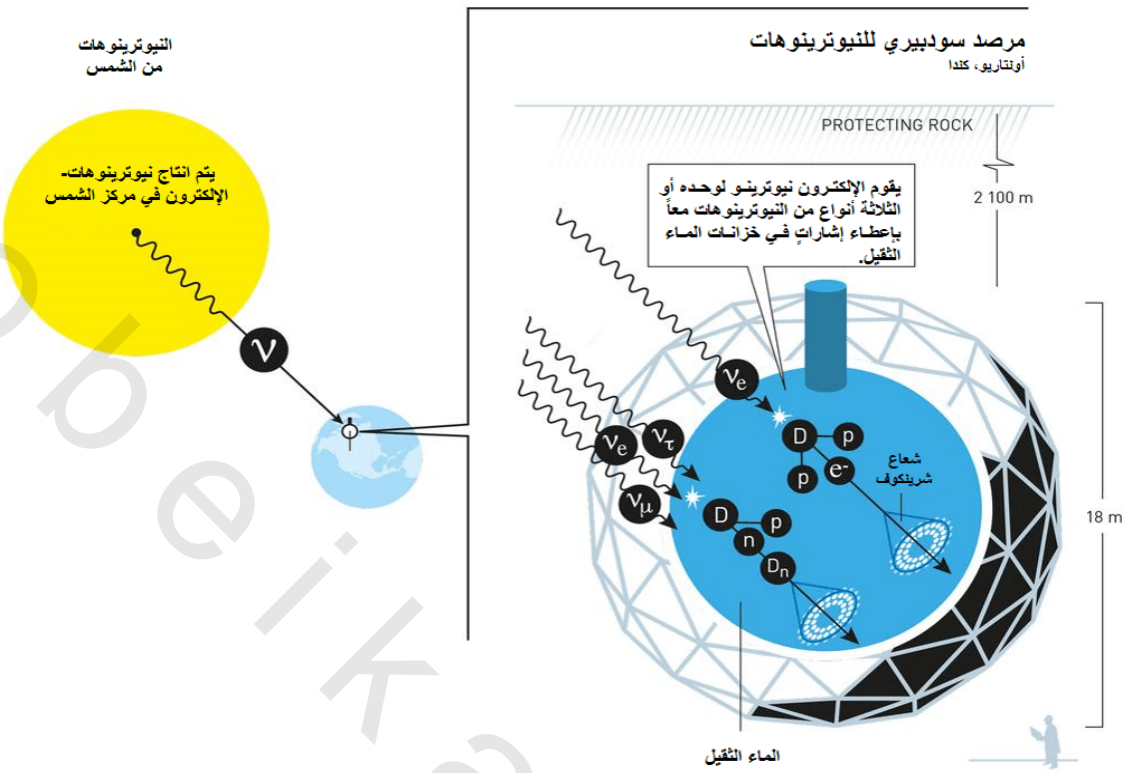
هذا يشير إلى أن نيوترينوات الميون التي سافرت أطول لديها من الوقت لإجراء عملية تغيير الهوية، التي لم يكن تتسنى بالنسبة لنيوترينوات الميون التي جاءت مباشرة من فوق وما سافرت إلا بضع عشرات من الكيلومترات. لأن عدد نيوترينوات الإلكترونات القادمة من اتجاهات مختلفة جاء موافقا للتوقعات، فهذا يعني أن نيوترينوات الميون قد تحولت إلى النوع الثالث – وهو نيوترينوات تاو. ومع ذلك، لا يمكن ملاحظة مرورها في الكاشف.

احد الحلول الحاسمة للغز ظهرت عندما أنجز مرصد سودبيري للنيوترينوات ، SNO ، في قياساته للنيوترينوات القادمة من الشمس ، حيث وجد أن العمليات النووية تثير نيوترينوات الإلكترون فقط. عند كيلومترين تحت سطح الأرض تم رصد نيوترينوات الإلكترون الأسرع بـ٩٥٠٠ كاشف ضوئي في خزان مملوء بـ ١٠٠٠ طن من الماء الثقيل. الذي يختلف عن الماء العادي في أن كل ذرة الهيدروجين في جزيئات الماء لها نيوترون إضافي في نواته، فينشأ الديوتيريوم deuterium نظير الهيدروجين.

تقدم نواة الديوتيريوم إمكانيات إضافية للنيوترينوات لتصطدم في الكاشف. في بعض التفاعلات يمكن تحديد فقط نيوترينوات الإلكترون ، في حين سمحت التفاعلات الأخرى للعلماء بقياس كمية من جميع الأنواع الثلاثة من النيوترينوات معا، دون تمييزها عن بعضها البعض.

نظرا لأنه كان من المفترض أن النيوترينوات القادمة من الشمس هي نيوترينوات الإلكترون فقط، يجب أن تؤدي طرق قياس عدد النيوترينوات إلى نفس النتيجة. وبالتالي، إذا كانت الكشف عن تنتج الإلكترون جاء بعدد أقل من جميع أنواع النيوترينوات الثلاث معا، فهذا يشير إلى أن شيئا ما قد حدث لنيوترينوات الإلكترون خلال رحلتها ١٥٠ مليون كيلومتر الطويلة من الشمس.

obeikandl.com



يصل إلى الأرض من الشمس كل ثانية ٦٠ مليار نيوترينو لكل سنتيمتر مربع، من هذه كلها يأسر مرصد سودبيري للنيوترينوات ثلاثة فقط يوميا خلال السنتين الأوليتين من تشغيله. ويمثل هذا ثلث العدد المتوقع من نيوترينوات الإلكترون التي كان ينبغي أن تؤسر في الكاشف، فقد اختفى الثلثان. فإذا حسبنا جميع الأنواع الثلاثة معا، فالكمية تتفق مع العدد المتوقع من النيوترينوات. وكانت النتيجة أن نيوترينوات الإلكترون يجب أن تكون غيرت هويتها اثناء الطريق.

التحول في العالم الكوانتي

أكدت التجربتان الشك أن النيوترينوات يمكن أن تغير من هوية إلى أخرى. حفز الاكتشاف العديد من التجارب الجديدة التي أجبرت علماء فيزياء الجسيمات على التفكير بأساليب جديدة.

وقد أعطت هاتان التجربتان معا استنتاج رائد: تحول النيوترينو يتطلب أن النيوترينوات لها كتلة. وإلا فإنها لا يمكن أن تتحول.

كيف، إذاً، يحدث هذا التحول ؟

مطلوب من فيزياء الكم تفسير هذا السحر. في العالم الكوانتي، الجسيمات والموجات هما جوانب مختلفة من نفس الحالة المادية. الجسيمات ذات طاقة معينة تم وصفها بموجة مقابلة لها تردد معين. في فيزياء الكم نيوترينوات الإلكترون والميون والتاو يتم تمثيلها بموجات متراكبة superposed waves التي تقابل حالات النيوترينو مع كتل مختلفة.

عندما تكون الموجات متوافقة فلا يمكن التمييز بين حالات النيوترينو المختلفة عن بعضها البعض.

openkandil.com

ولكن عندما تسافر النيوترينوات عبر الفضاء فالموجات تخرج من هذا التوافق. على طول المسار تتراكب الموجات بطرق مختلفة، يمثل هذا التراكب في أي موقع معين الاحتمال لنوع نيوترينو الذي يمكن العثور عليه هناك. الاحتمالات تختلف من موقع إلى آخر، أنها تتذبذب، فتبدو النيوترينوات في هوياتها المختلفة.

وبالتالي سبب هذا السلوك الغريب يعود إلى الاختلافات في كتل النيوترينو. تشير التجارب إلى أن هذه الاختلافات صغيرة للغاية. وتقدر كتلة النيوترينو أيضا إلى أن تكون صغيرة جدا، على الرغم من أنه لم يتم قياسها بشكل مباشر. ومع ذلك، نظرا لأن وجود النيوترينوات بكميات كبيرة جدا في الكون، فمجموع كتلها الصغيرة جدا يصبح ذا أهمية. ويقدر وزن كل النيوترينوات بحيث يكون مساويا تقريبا لوزن كل النجوم التي يمكن رؤيتها في الكون مجتمعة.

بوابة إلى فيزياء جديدة

إن اكتشاف كتلة النيوترينو يكون رائدا هاما لفيزياء الجسيمات. وكان نموذجها المعياري للأجزاء العميقة في

المادة ناجحا للغاية وقد قاوم كل التحديات التجريبية لأكثر من عشرين عاما. ولكن يتطلب هذا النموذج أن النيوترينوات عديمة الكتلة. وهكذا كشفت التجارب أول شرخ واضح في النموذج المعياري، فأصبح من الواضح أن النموذج المعياري لا يمكن أن يكون نظرية كاملة عن كيفية عمل الاجزاء الأساسية في الكون.

تحتاج العديد من الأسئلة الأساسية حول طبيعة النيوترينو إلى إجابات من قبل نظريات جديدة تكون ما بعد النموذج المعياري يمكن تطويرها بشكل كامل.

ما هي كتل النيوترينوات؟ لماذا هي خفيفة الوزن جدا؟

هل هناك أنواع أكثر من الثلاثة المعروفة حاليا؟

وهل للنيوترينوات جسيمات مضادة خاصة بها؟

لماذا هي هكذا مختلفة عن بقية الجسيمات الأولية الأخرى؟

قد أسفر الاكتشاف الذي من أجله تم منح جائزة نوبل لهذا العام في الفيزياء عن الرؤى الحاسمة في معظم العالم المخفي تماما للنيوترينو. والتجارب مستمرة ونشطة بشكل

مكثف في جميع أنحاء العالم لالتقاط النيوترينوات ودراسة خصائصها. من المتوقع أن تغير هذه الاكتشافات الجديدة لأسرار النيوترينو المصونة فهمنا لتاريخ، وبنية ومصير مستقبل الكون.

***

مصدر المقال :

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2015/index.html

***

obeikandl.com