هنا ...أخيرا!

ترجمة لمقال نشر على صفحة جائزة نوبل للفيزياء عام

2013م

ترجمة المهندس/ عبدالحفيظ العمري

هنا ...أخيرا!

ترجمة المهندس/ عبدالحفيظ العمري

..منح كل من فرانسوا أنجليرت وبيتر هيجز جائزة نوبل في الفيزياء 2013 م مناصفة عن النظرية التي اقترحاها كلا على حدة (أنجليرت جنبا إلى جنب مع زميله روبرت Brout المتوفى الآن) في عام 1964م حول كيف تكتسب الجسيمات الكتلة .

في عام 2012م ، تم تأكيد أفكارهما من خلال اكتشاف ما يسمى جسيم هيجز Higgs particle في مختبر سيرن خارج جنيف في سويسرا.

آلية المنح هو الجزء المركزي في النموذج القياسي the Standard Model لفيزياء الجسيمات الذي يصف كيفية بناء العالم . فوفقا للنموذج القياسي، كل شيء، من الزهور و الناس إلى النجوم و الكواكب ،يتألف من عدد قليل من اللبنات : جسيمات المادة ،وتخضع هذه الجسيمات من قبل قوى بوساطة جسيمات القوة التي تجعل كل شيء يعمل على يقين كما يجب .

النموذج القياسي بأكمله أيضا يستند إلى وجود نوع خاص من الجسيمات : جسيم هيجز ،مرتبطة إلى حقل مخفي الذي يملأ كل الفضاء، حتى عندما يبدو كوننا فارغاً، هذا المجال هناك ، لو لم يكن هناك ، فإن الإلكترونات و الكواركات تكون عديمة الكتلة تماما مثل الفوتونات ـ جزيئات الضوء ، و مثل الفوتونات التي تنطلق عبر الفضاء بسرعة الضوء ـ كما تتوقع نظرية اينشتاين تماما ـ فلن تكون أي إمكانية للحصول على الذرات أو الجزيئات .ولا أي شيء نعرفه سيوجد ، ولا حتى نحن .

كان كل من فرانسوا أنجليرت وبيتر هيجز علماء شبان عندما قدما في عام 1964م - و بشكل مستقل عن بعضها البعض - النظرية التي أنقذت النموذج القياسي من الانهيار . في وقت لاحق بعد ما يقرب من نصف قرن، يوم الأربعاء 4 يوليو 2012م، كانا على سوية مع الجمهور في المختبر الأوروبي لفيزياء الجسيمات، CERN، خارج جنيف، عندما أعلن عن اكتشاف جسيم هيجز الذي أكد أخيرا النظرية المعلنة للعالم.

النموذج الذي خلق النظام

فكرة أن العالم يمكن تفسيره بواسطة عدد قليل من الكتل فكرة قديمة، بالفعل في 400 قبل الميلاد، افترض الفيلسوف ديموقريطس أن كل شيء يتكون من ذرات- ATOMOS هي كلمة يونانية تعني الغير قبل للتجزئة .

اليوم نحن نعرف أن الذرات ليست قابلة للتجزئة إنها تتكون من الإلكترونات التي تدور حول نواة الذرة المكونة من النيوترونات والبروتونات، والنيوترونات والبروتونات، بدورها، تتكون من جسيمات أصغر تسمى الكواركات quarks .

في الواقع، فقط الإلكترونات والكواركات غير قابلة للتجزئة وفقا للنموذج القياسي.

تتكون نواة الذرة من نوعين من الكواركات، الكواركات أعلى والكواركات أسفل ، لذا في الواقع هناك حاجة إلى ثلاثة جسيمات أولية لكي توجد جميع المواد : وهي الإلكترونات، الكواركات أعلى والكواركات أسفل . ولكن خلال الخمسينات و الستينات، لوحظ جسيمات جديدة بشكل غير متوقع في كل من الإشعاع الكوني وعلى

مسرعات شيدت حديثا، لذا كان على النموذج القياسي أن يشمل هذه الأشقاء الجديدة من الإلكترونات والكواركات.

إلى جانب جزيئات المادة، هناك أيضا جزيئات القوة لكل من قوى الطبيعة الأربع -الجاذبية، والكهرومغناطيسية، والقوة النووية الضعيفة والقوة النووية القوية .الجاذبية والكهرومغناطيسية هي الأكثر شهرة، أنها تجذب أو تصد، ويمكننا أن نرى آثارها بأم أعيننا .

القوة النووية القوية تعمل على الكواركات وتجعل البروتونات والنيوترونات معا في النواة، في حين أن القوة النووية الضعيفة هي المسؤولة عن الاضمحلال الإشعاعي، وهو أمر ضروري، على سبيل المثال، للعمليات النووية داخل الشمس.

النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات يوحد اللبنات الأساسية للطبيعة وثلاثة من القوى الأربع المعروفة لدينا (الرابع، الجاذبية، لا تزال خارج النموذج) .

لفترة طويلة، كان لغزاً كيف أن هذه القوى تعمل في الواقع، على سبيل المثال، كيف أن قطعة من المعدن التي تنجذب إلى المغناطيس تعلم أن المغناطيس هو موجود هناك، على بعد قريب ؟ وكيف القمر يشعر بجاذبية الأرض؟

حقول غير مرئية تملأ الفضاء

التفسير التي تقدمه الفيزياء هو أن الفضاء مملوء بالعديد من المجالات غير المرئية، مجال الجاذبية، والمجال الكهرومغناطيسي، مجال كوارك وجميع المجالات الأخرى تملئ الفضاء، أو بالأحرى، الأربعة الأبعاد الزمكانية، المساحة المجردة حيث تعمل النظرية .

النموذج القياسي هو نظرية الحقل الكمومي الذي فيه المجالات والجزيئات هي اللبنات الأساسية في الكون.

في فيزياء الكم، يُنظر إلى كل شيء كمجموعة من الاهتزازات في حقول الكم، وتنفذ هذه الاهتزازات من خلال مجال في مجموعات صغيرة، الكمات quanta، والتي تظهر لنا كجسيمات .

توجد نوعين من المجالات: مجالات مادة مع جزيئات المادة، ومجالات القوة مع جزيئات القوة - وسطاء القوى . جسيم هيجز، أيضا، هي اهتزاز مجالها -غالبا ما يشار إليه بمجال هيجز.

بدون هذا المجال النموذج القياسي سينهار مثل بيت من ورق، وذلك لأن نظرية الحقل الكمومي تجلب اللامتناهي التي يجب كبح جماحها والتناظرات التي لا يمكن رؤيتها .لم يكن حتى فرانسوا أنجليرت مع روبرت

Brout، وبيتر هيجز، وفيما بعد على عدة أشخاص آخرين، قد بينوا أن مجال هيجز يمكن أن يكسر التناظر في النموذج القياسي دون تدمير النظرية التي قبلها النموذج.

وذلك لأن النموذج القياسي لن ينجح إلا إذا لم يكن لدى الجزيئات كتلة .أما بالنسبة للقوة الكهرومغناطيسية- مع فوتوناتها عديمة الكتلة تكون وسطاء- لم يكن هناك مشكلة .القوة ضعيفة، مع ذلك، تتم بوساطة ثلاثة جسيمات ضخمة، اثنتان من الجسيمات المشحونة كهربائيا W وواحدة Z الجسيمات. هذه الجسيمات لم تتوافق جيدا مع الفوتون خفيف الحركة .

كيف يمكن للقوى الكهروضعيفة ، التي توحد بين القوى الكهرومغناطيسية والضعيفة، أن تحدث؟

النموذج القياسي كان مهدد، هنا حيث أدخل أنجليرت ، و Brout و هيجز آلية بارعة للجسيمات لاكتساب الكتلة التي تمكنت من إنقاذ النموذج القياسي.

مجال هيجز مثل الأشباح

مجال هيجز ليس مثل غيره من المجالات في الفيزياء، جميع المجالات الأخرى تتباين في قوتها وتصبح صفرا في أدنى مستوى للطاقة إلا مجال هيجز، حتى لو كان الفضاء مفرغاً تماماً لا يزال يتعين ملؤه من قبل حقل مثل الشبح الذي يرفض الإغلاق :إنه مجال هيجز .

نحن لا نلاحظ ذلك؛ لأن مجال هيجز هو مثل الهواء لنا، و مثل الماء للأسماك، ولكن بدونه نحن لا وجود لنا، ذلك لأن الجسيمات تكتسب الكتلة فقط باحتكاكها مع مجال هيجز، الجزيئات التي لا تولي اهتماما لمجال هيجز لا تكتسب الكتلة، تلك التي تتفاعل بضعف تصبح خفيفة، وتلك التي تتفاعل بشكل مكثف تصبح ثقيلة، على سبيل المثال، الإلكترونات، التي تحصل على كتلة من المجال، تلعب دورا حاسما في إنشاء والربط بين الذرات والجزيئات معا، إذا حقل هيجز اختفى فجأة، فإن كل المادة تنهار بينما الالكترونات عديمة الكتلة تتفرق فجأة في سرعة الضوء.

ما الذي يجعل مجال هيجز خاصاً هكذا؟ فإنه يكسر التناظر الجوهري للعالم .

الطبيعة تزخر بالتناظر symmetry ؛ تشكل الوجوه بانتظام، والزهور والثلج يحمل أنواع مختلفة من التناظرات الهندسية .الفيزياء تكشف النقاب عن أنواع أخرى من التناظرات التي تصف عالمنا، وإن كان ذلك على مستوى أعمق .واحد من هذا القبيل، بسيط نسبيا، التناظر ينص على أنه لا يهم النتائج إذا كانت تجربة مختبرية تتم في ستوكهولم أو في باريس ، كما أنه لا يهم في أي وقت يتم تنفيذ التجربة .

نظرية آينشتاين النسبية الخاصة تعاملت مع التناظرات في المكان والزمان، وأصبحت نموذجا للعديد من النظريات الأخرى، مثل النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات .

معادلات النموذج القياسي هي متماثل؛ بنفس الطريقة التي تبدو فيها الكرة هي نفسها مهما كانت الزاوية التي نظرت إليها، معادلات النموذج القياسي تبقى بدون تغيير حتى إذا تم تغيير المنظور الذي يحددها.

مبادئ التناظر أيضا تسفر عن نتائج أخرى، غير متوقعة إلى حد ما، .ففي عام 1918م، تمكن عالم الرياضيات الألماني إيمي نويثر Emmy Noether أن يبين أن قوانين الحفظ في الفيزياء- مثل قوانين حفظ الطاقة وحفظ الشحنة كهربائية- تنشأ أيضا في التناظر.

التناظر، مع ذلك، يملي بعض المتطلبات لكي ينجز، فالكرة يجب أن تكون مستديرة تماما، الحدبة الأشد صغراً ستكسر التناظر .للمعادلات تطبيق معايير أخرى .واحدة من التناظرات في النموذج القياسي يحظر على الجزيئات امتلاك كتلة .الآن، هذا على ما يبدو ليس هو الحال في عالمنا، وبالتالي فإن الجزيئات لا بد اكتسبت كتلتها من مكان ما . هذه حيث الآلية الممنوحة الآن، قدمت وسيلة للتناظر لكي يوجد وفي نفس الوقت يكون مخفي عن الأنظار.

التناظر مخفي ولكن لا يزال هناك

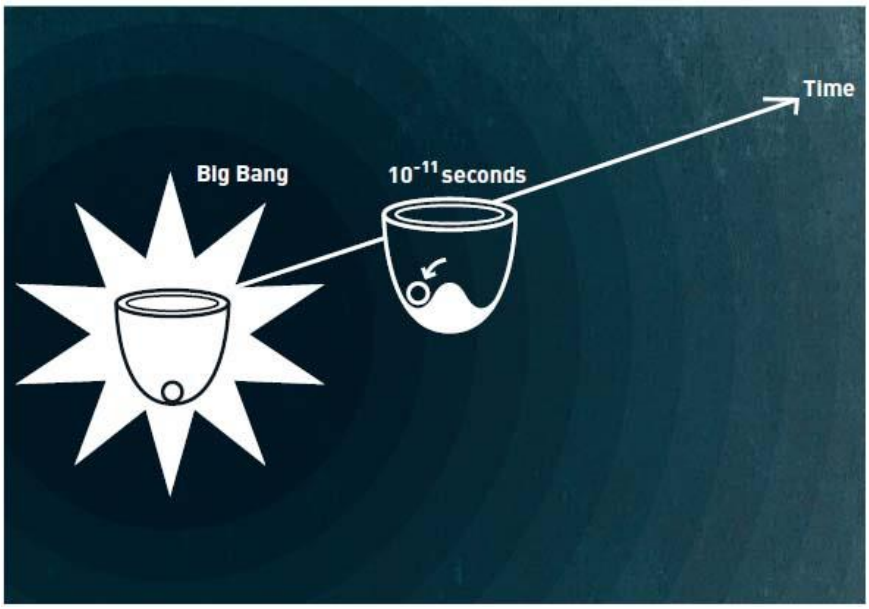
كوننا ربما ولد متناظراً، في وقت الانفجار العظيم، كانت جميع الجسيمات عديمة الكتلة جميع القوى توحدت في قوة أصلية واحدة .هذا الترتيب الأصلي لم يعد له وجود بعد الآن -تم إخفاء تناظره منا ، حدث شيء فقط 10^{-11} ثانية بعد الانفجار العظيم ، حيث فقد مجال هيجز توازنه الأصلي ..كيف حدث ذلك؟

بدأ كل شيء بشكل متناظر، يمكن وصف هذه الحالة كموضع كرة في منتصف وعاء مستدير، في أدنى وضع لطاقتها، مع دفعة تبدأ الكرة بالدوران ، ولكن بعد فترة من الوقت فإنها ترجع إلى أدنى نقطة.

ومع ذلك، إذا حدبة تنهض في وسط وعاء، والتي تبدو الآن أشبه بقبعة مكسيكي، فإن الموضع في المنتصف يبقى متناظراً ولكن لا يزال غير مستقر، الكرة تتحرك إلى أسفل في أي اتجاه، القبعة لا تزال متناظرة، ولكن حالما تتدحرج الكرة إلى أسفل، فإن موضعها يكون بعيدا عن المركز الذي يخفي التناظر ...بطريقة مماثلة مجال هيجز كسر تناظره ووجد مستوى طاقة مستقرة في فراغ بعيدا عن الموضع صفري التناظر . يشار إلى كسر التناظر العفوي هذا أيضا باسم المرحلة الانتقالية لمجال هيجز، انها نشبة عندما يتجمد الماء إلى جليد.

من أجل حدوث المرحلة الانتقالية ، أربعة جزيئات مطلوبة ولكن واحدة فقط، وهي جسيمات هيجز، باقية، والثلاثة الأخرى أستهلكت من قبل وسطاء القوة الضعيفة، وهي اثنتان من الجسيمات المشحونة كهربائيا W و واحدة من جسيمات Z ، التي حصلت وبالتالي على كتلها. بهذه الطريقة تم حفظ التناظر في القوة

الكهروضعيفة في النموذج القياسي - التناظر بين الجسيمات الثقيلة الثلاثة من القوة الضعيفة والفوتون عديمة الكتلة من القوة الكهرومغناطيسية يبقى، فقط مخفي عن الانظار.



المكائن المتطرفة للفيزياء المتطرفة

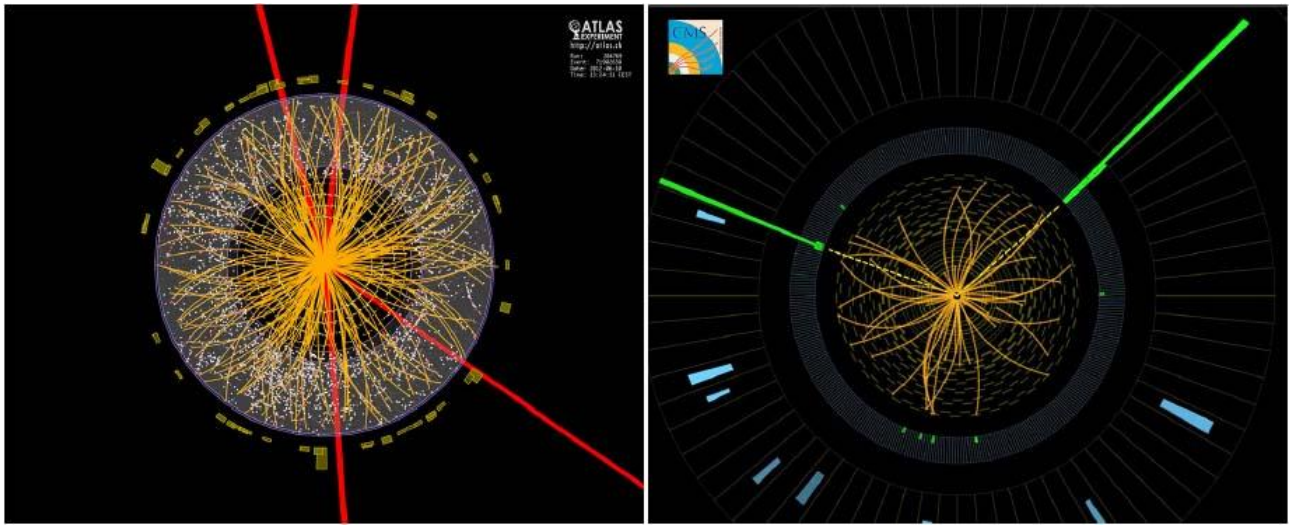
الحائزون على جائزة نوبل ربما لم يتخيلوا أنهم سيرون تأكيد النظرية في حياتهم، استغرق الأمر جهدا ضخما من قبل علماء الفيزياء من جميع أنحاء العالم .
لفترة طويلة مختبران، هما فيرميلاب Fermilab خارج شيكاغو، الولايات المتحدة الأمريكية، و سيرن CERN على الحدود الفرنسية السويسرية، تنافسا في محاولة لاكتشاف جسيمات هيجز، وعندما تم إغلاق مسرع فيرميلاب Tevatron قبل سنتين مضت ،أصبح CERN المكان الوحيد في العالم حيث البحث عن جسيم هيجز سوف يستمر.

أنشئ سيرن عام 1954م، في محاولة لإعادة بناء البحوث الأوروبية، فضلا عن العلاقات بين الدول الأوروبية، بعد الحرب العالمية الثانية، يضم في عضويته حاليا عشرين دولة، وحوالي مائة دولة من جميع أنحاء العالم تتعاون في المشاريع.

أروع إنجاز CERN، هو مصادم الجسيمات (مصادم هادرون الكبير) LHC الذي هو على الارجح أكبر وأعقد آلة شيدها البشر من أي وقت مضى .
مجموعتا بحث تتكون من 3000 عالم تبحثان عن الجزيئات بكاشفات ضخمة - ATLAS و .CMS ،هذه الكاشفات تقع على بعد 100 متر تحت سطح الأرض ويمكن أن نلاحظ 40 مليون اصطدام الجسيمات في

الثانية الواحدة، هكذا في الأغلب الجزيئات يمكن أن تصطدم متى تم حقنها في اتجاهين متعاكسين داخل نفق مصادم LHC الدائري، الذي بطول 27 كيلومترا.

يتم حقن البروتونات في المصادم كل عشر ساعات، شعاع واحد في كل اتجاه ، حيث يتم جمع مئة ألف مليار بروتون معا وضغطها إلى أشعة رقيقة جدا - ليس الأمر سهل تماما لأن البروتونات بشحنتها الكهربائية الموجبة تهدف إلى صد بعضها البعض، أنها تتحرك في 99.99999 في المائة من سرعة الضوء، وتتصادم بطاقة من حوالي 4 TEV لكل واحد و 8 TEV مجتمعة (tera electron volt واحد = ألف مليار إلكترون فولت) .
واحد TEV قد لا تكون الكثير من الطاقة، فإنها تساوي تقريباً بعوضة طائرة، ولكن عندما الطاقة تُحشر في بروتون واحد، وتحصل على 500 تريليون مثل هذه البروتونات تسرع حول المسرع، فإن طاقة هذا الشعاع تعادل قطار بأقصى سرعة، في عام 2015م الطاقة سيكون تقريبا الضعف في LHC .



لغز داخل لغز

تجارب الجسيمات في بعض الأحيان تقارن بفعل تحطيم ساعتين سويسريتين معا من أجل دراسة كيفية بنائهما، ولكنه في الواقع أكثر صعوبة بكثير من ذلك، لأن علماء الجسيمات يبحثون عن جسيمات جديدة تماما- التي يتم إنشاؤها من الطاقة المنطلقة في الاصطدام.

وفقا لمعادلة آينشتاين المعروفة $E = MC^2$ فالكتلة هو نوع من الطاقة، وهذا هو سحر هذه المعادلة التي تجعل من الممكن، حتى بالنسبة للجسيمات عديمة الكتلة، أن تخلق شيء جديد عندما تصطدم؛ مثلاً عندما تصطدم اثنين من الفوتونات لتخلقان الإلكترون وجسيم مضاد له - البوزيترون positron، أو عندما يتم إنشاء جسيم هيجز في تصادم اثنين من الجلونات gluons، إذا كان الطاقة عالية بما فيه الكفاية.

البروتونات مثل أكياس صغيرة مليئة الجسيمات -الكواركات، و مضادات الكوارك والجلونات، الغالبية منهم تعبر بعضها البعض بدون الكثير من المبالغة؛ في المتوسط، في كل مرة تصطدم اثنتين من حشود الجسيمات تحدث عشرين اصطدامات أمامية كاملة فقط .
أقل من اصطدام واحد في المليار قد يكون من المفيد متابعته، هذا قد لا يبدو كثيرا، ولكن كل هذا التصادم يؤدي لانفجار متألق من نحو ألف جسيمة .

في GeV 125 ، جسيم هيجز ظهر أثقل مئة مرة من بروتون وهذا هو واحد من الأسباب التي تجعل من الصعب انتاجه، ومع ذلك، فإن التجربة لم تنتهِ بعد .العلماء في سيرن يأملون في تحقيق المزيد من الاكتشافات الرائدة في السنوات القادمة .

على الرغم من أنه يعد إنجازا كبيرا إذ وجد جسيم هيجز - القطعة مفقودة في لغز النموذج القياسي - إلا أن النموذج القياسي ليس هو الجزء الأخير في اللغز الكوني.
أحد الأسباب في ذلك هو أن النموذج القياسي يعامل جزيئات معينة، النيوترونات، بأنها عديمة الكتلة تقريبا، في حين تشير الدراسات الأخيرة أنها في الواقع لديها كتلة، سبب آخر هو أن النموذج يصف فقط المادة المرئية، وهو ما يمثل فقط خُمس جميع المادة في الكون، والباقي هو المادة المظلمة من نوع غير معروف، التي غير ظاهرة مباشرة لنا، ولكن يمكن ملاحظتها بواسطة الجاذبية التي تحافظ على المجرات معا، وتمنعها من أن تتمزق.
في كل النواحي الأخرى، المادة المظلمة تتجنب التداخل مع المادة المرئية . تدبرك، جسيم هيجز خاص، ربما يمكن أن ينجح في إقامة اتصالات مع الظلام الغامض .
يأمل العلماء أن يكونوا قادرين على معرفة - ولو لمحة - من المادة المظلمة، بينما يواصلون البحث عن الجزيئات غير المعروفة في مصادم LHC خلال العقود المقبلة.

***

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2013/popular-physicsprize2013.pdf