أشباه الجسيمات
آخر اكتشافات مسرع ومصادم الجسيمات العملاق LHC

إعداد وترجمة : د. جواد بشارة

اكتشف علماء الفيزياء مؤخراً جسيمًا غريبًا جدًا، وهو في الواقع ليس جسيماً بمعنى الكلمة.

توجد أشباه الجسيمات quasi-particules ضمن أفضل ما في فيزياء الجسيمات، بعد الجسيمات العادية والجسيمات الافتراضية. تُستخدم شبه الجسيمات لوصف ديناميكيات الأنظمة الفيزيائية المعقدة التي تحتوي على العديد من التفاعلات بين الجسيمات. إذا وجدت معظم أشباه الجسيمات مكانها في فيزياء المادة المكثفة، فقد يظهر بعضها أيضًا أثناء تصادم الجسيمات. وكان المصادم LHC يسلط الضوء فقط على وجود واحد منهم، تم توقعه منذ السبعينيات:l'odderon .

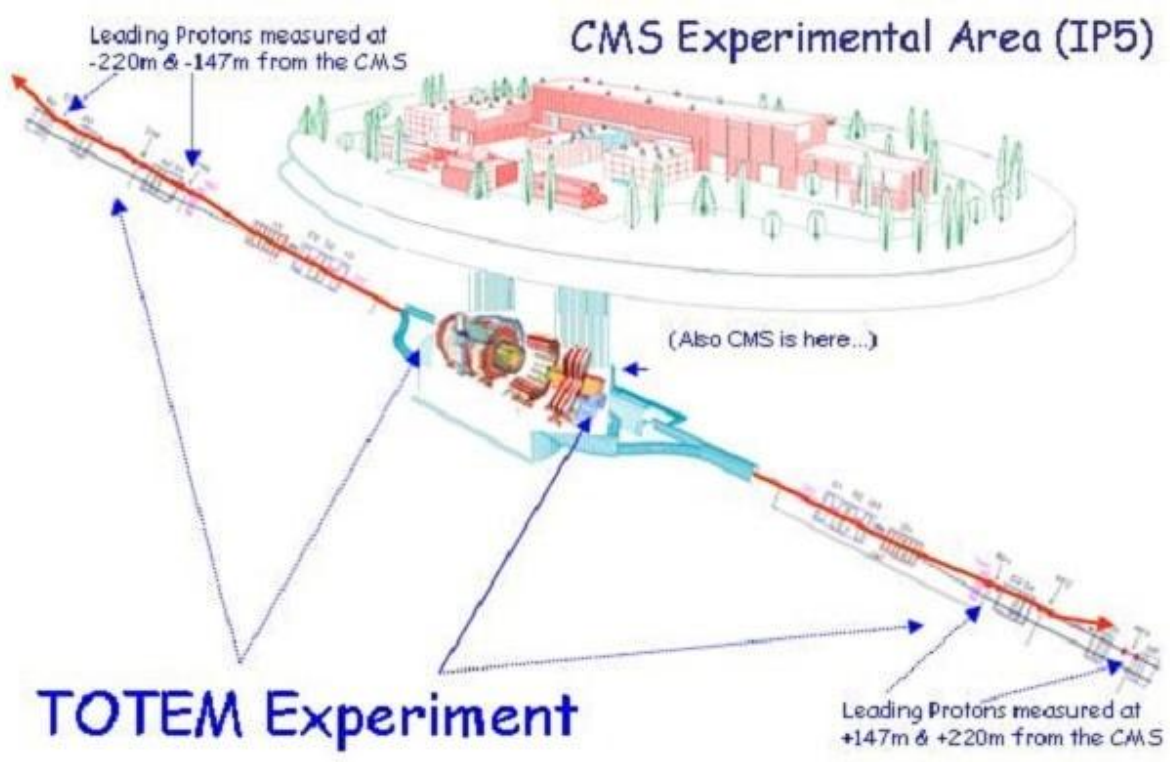
l'odderon **الأوديرون** يعتبر شبه الجسيم هذا بالتأكيد أحد أكثر الأشياء المادية تعقيدًا التي يجب فهمها. بادئ ذي بدء، إنه ليس جسيمًا مثل الإلكترون أو الفوتون أو النيوترون. يجعل شبه الجسيم من الممكن كتابة نظام معقد من التفاعلات مثل أزواج ثقب الإلكترون الحرة (الإكسيتونات excitons)، وحزم الاهتزاز في مادة صلبة بلورية (الفونونات phonons) أو حتى الإثارة داخل البلازما (البلازمونات plasmons).

لذلك غالبًا ما يكون الأوديرون ناتجًا عن اهتزاز أو تذبذب للطاقة أثناء تفاعل عدة جسيمات. تظهر هذه التفاعلات المعقدة خاصة أثناء تصادم الجسيمات. على سبيل المثال، في اصطدام البروتون-البروتون النسبي كما هو الحال في LHC، يتبادل الجسيمان الطاقة ويخضعان لإعادة ترتيب بنيتهما الهادرونية. من الواضح أن الكواركات والغلونات التي تتكون منها تغير تكوينها. في الواقع، في 25٪ من الحالات، لا يتم تدمير البروتونات.

إن هذا التفاعل الهادرونيكي معقد للغاية عند وصفه رياضياتياً. للقيام بذلك، يجب أن يكون الفيزيائيون قادرين على معرفة طاقة وموقع كل غلوون ووصف حركتهم في الفضاء بشكل فردي. لتبسيط العمليات الحسابية، اختار الفيزيائيون وصف تبادل الجسيمات هذه على أنها مجموعات من الجسيمات المرتبطة، وبالتالي على أنها شبه جسيمات.

يقترح نموذج الاصطدام المادي الأولي الهادروني أن الغلوونات يتم تبادلها دائمًا بأرقام زوجية. لذلك توصف مجموعة مكونة من اثنين من الغلوونات بواسطة شبه جسيم يسمى "بوميرونpomeron ". ومع ذلك، في عام 1973، اقترح الفيزيائيون أنه من الممكن أيضًا تبادل مجموعات غريبة من الغلوونات. يسمى شبه الجسيم هذا الذي يصف التبادل الفردي للغلوونات "odderon" (فـ *odd* يعني غريب في اللغة الإنجليزية).

تسمح لنا تجربة TOTEM في مصادم الجسيمات LHC التابع لـ سيرن بدراسة البروتونات التي تظل سليمة بعد الاصطدام. حول نفس الموضوع: يؤكد العلماء في LHC في CERN اكتشاف جسيمين جديدين.



ومع ذلك، في عام 1973 وحتى عام 2010، لم يكن لدى الفيزيائيين التكنولوجيا اللازمة لفحص المادة بدقة كافية لتأكيد وجود الأوديرونات Odderons. مع إدخال 13 اصطدام TeV في LHC، أصبح لديهم أخيرًا الأداة التي طال انتظارها لاختبار نظريتهم. للقيام بذلك، بحث العلماء عن الاختلافات في المقطع العرضي الفعال للبروتون - البروتونproton-proton والبروتون- البروتون المضاد proton-antiproton باستخدام المقطع العرضي الكليTOTal cross-section لمصادم الهادرونات الكبير، وتجربة قياس التشتت المرن والانحراف Elastic scattering and diffraction- dissociation Measurement(TOTEM).

وأظهرت البيانات التي تم جمعها بوضوح اختلافًا كميًا quantitative بين المقاطع العرضية للبروتون - البروتون والبروتون - البروتون المضاد. يتوافق هذا الاختلاف مع وجود أوديرونات odderons، لأن التبادل الفردي للغلوونات يفسر هذه القيم بشكل صحيح. على الرغم من أن الأوديرونات Odderons ليست التفسير الوحيد المحتمل لهذه النتائج، إلا أن علماء الفيزياء يعتبرونها الأكثر منطقية هنا. تم نشر النتائج في مقال نُشر على موقع أو خادم arXiv قبل النشر في مجلة علمية متخصصة.

حتى إذا كانت الأوديرونات odderons تختلف مع النموذج الهادرونيكي الكلاسيكي modèle hadronique classique الذي يتطلب تبادل أزواج غلوونات gluons أثناء تصادمات هيدرونيكية collisions hadroniques، فإن هذه النتائج ليست ثورية ولا تنتهك تنبؤات النموذج القياسي أو المعياري. في الواقع، على الرغم من أنه دائمًا ما يكون من المثير للاهتمام للغاية أن تكون قادرًا على التحقق من صحة وجود كائن مادي مقترح منذ فترة طويلة، إلا أن الأوديرونات Odderons كانت بالفعل تنبؤات متوقعة من علماء الفيزياء في سياق الديناميكا اللونية الكمومية la chromodynamique quantique (QCD).

أول تأكيد تجريبي لوجود أنيونات anyons ، وهي أشباه جسيمات ذات خصائص غريبة

تم التنبؤ بالأنيونات لأكثر من 40 عامًا مضت، كانت في البداية عبارة عن بناء رياضياتي يهدف إلى فهم التفاعلات والتذبذبات les interactions et les oscillations داخل الأنظمة ثنائية الأبعاد بشكل أفضل. ومن مجرد حل رياضياتي خالص، انتقلت الأنيونات إلى مرحلة شبه الجسيمات، وبشكل أكثر دقة الإثارات الجماعية للإلكترونات التيي تمتلك شحنة كسرية des excitations collectives d'électrons possédant une charge fractionnaire، وعلى سبيل المثال تلعب دورًا رئيسيًا في تأثير الهالة الكمومي الكسريةl'effet Hall quantique fractionnaire ومع ذلك ظل لحد الآن نظرياً. إلا أن فريق علمي من علماء الفيزياء تمكن من تحقيق أول تأكيد تجريبي لوجود أشباه الجسيمات هذه مختبرياً. ومع ذلك فإن أجزائه المكونة: في الكواركات والغلوونات. يتيح لنا ذلك معرفة المزيد عن المكونات الأساسية للمادة، والجسيمات الأساسية للنموذج المعياري أو القياسي.

تم الإبلاغ عن أدلة تجريبية جديدة للسلوك الجماعي للإلكترونات التي تشكل أشباه جسيمات تسمى « آنيون " وجمعها "أنيونات anyons " من قبل فريق من علماء الفيزياء في جامعة بيوردوي Purdue. تمتلك أشباه الجسيمات الأنيونات خصائص لم تُرى في الجسيمات دون الذرية الأخرى، بما في ذلك الشحنة الجزئية والإحصاءات التي تحافظ على "ذاكرة" تفاعلاتها مع أشباه الجسيمات الأخرى عن طريق إحداث تغييرات في الطور الكموميphase quantiques .

في حين أن هذا العمل قد يكون في نهاية المطاف وثيق الصلة بتطوير الكمبيوتر الكمومي ordinateur quantique ، في الوقت الحالي ، كما يقول ميكائيل مانفرا Michael Manfra ، يجب اعتباره

خطوة مهمة في فهم فيزياء شبه الجسيمات. نُشر مقال البحث عن الاكتشاف في مجلة Nature Physics.

أعطى عالم الفيزياء النظرية الحائز على جائزة نوبل فرانك ويلشيك Frank Wilczek ، أستاذ الفيزياء في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا MIT ، هذه الجسيمات أشباه الجسيمات اسمًا ساخرًا أنيون anyon ، نظرًا لسلوكها الغريب لأنها على عكس الأنواع الأخرى من الجسيمات ، يمكنها تبني أي نوع من الجسيمات. وتبني أي مرحلة كمومية عند تبادل مواقعهم.

خصائص غير عادية تمنح ذاكرة للتفاعلات:

تتفاعل الأنيونات كما لو كانت لديها شحنة كسرية، والأكثر إثارة للاهتمام، أنها تخلق تحولًا وتغييراً في الطورnon trivial غير القابل للإهمال او غير تافه، وذلك عن طريق التكتل حول بعضهم البعض. هذا يمكن أن يعطي للأنيونات نوعًا من الذاكرة عن تفاعلاتها.

"كل الأيونات ليست موجودة فقط إلا من أجل الإثارة الجماعية للإلكترونات في ظل ظروف خاصة. لكن من الواضح أن لديهم هذه الخصائص الغريبة، بما في ذلك الشحنة الكسرية *charge fractionnaire* والإحصاءات الكسرية*les statistiques fractionnaires* . إنه أمر مثير للفضول لأننا سوف نتساءل، "كيف يمكن أن يكون لديها شحنة أقل من الشحنة الأولية للإلكترون؟»، كما يقول ميكائيل مانفرا.

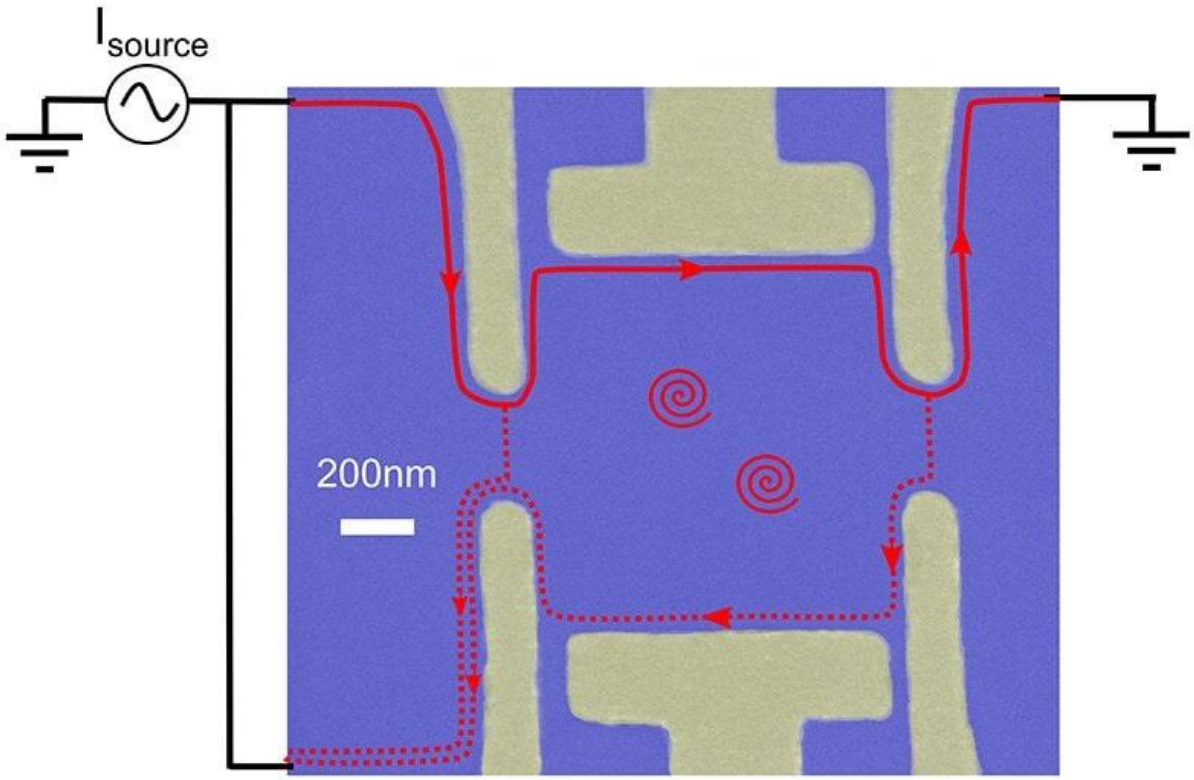
ويضيف موضحاً: أنه عندما يتم تبادل البوزونات أو الفرميونات، فإنها تولد عامل طور زائد واحد أو ناقص واحد، على التوالي. "في حالة أنيوناتنا، كانت المرحلة الناتجة عن التفاعلات*2π/3*. وهذا أمر مختلف عما شوهد في الطبيعة من قبل ". تعرض الأنيونات هذا السلوك فقط كإثارة جماعية للإلكترونات، حيث تتصرف العديد من الإلكترونات كإثارة واحدة في ظل ظروف قاسية ومحددة للغاية، لذلك لا تعتبر معزولة في الطبيعة.

نظرًا لأن هذا السلوك يعتمد على عدد المرات التي تلتصق فيها الجسيمات ببعضها البعض، فهي أكثر قوة في خصائصها من الجسيمات الكمومية الأخرى. يقال إن هذه الخاصية طوبولوجية لأنها تعتمد على هندسة النظام ويمكن أن تؤدي إلى هياكل أنيونية أكثر تطوراً، والتي يمكن استخدامها لبناء أجهزة كمبيوتر كمومية مستقرة طوبولوجياً.

مقياس التداخل interféromètre لاكتشاف الأنيونات تجريبياً:

كان الفريق قادرًا على إثبات هذا السلوك من خلال توجيه الإلكترونات عبر بنية نانوية nanostructure محفورة في شكل متاهة محددة مصنوعة من آرسينيور الغاليوم d’arséniure de gallium أو زرنيخ الغاليوم وآرسينيور الألمنيوم arséniure d’aluminium أو زرنيخ الألومنيوم والغاليوم. هذا الجهاز، المسمى مقياس التداخل، يحصر الإلكترونات في الالانتقال في مسار ثنائي الأبعاد. تم تبريد الجهاز إلى جزء من مائة درجة بالقرب من الصفر المطلق (10 مللي كلفن millikelvin) وتعرض لمجال مغناطيسي قوة 9 تسلا. ولّدت المقاومة الكهربائية لمقياس التداخل نمط تداخل أطلق عليه الباحثون "نمط البيجامةtracé de pyjama" . كانت الفواصل في نمط التداخل بمثابة توقيع لوجود الأنيونات. يقول شيتان نياك Chetan Nayak ، عالم الفيزياء النظرية بجامعة

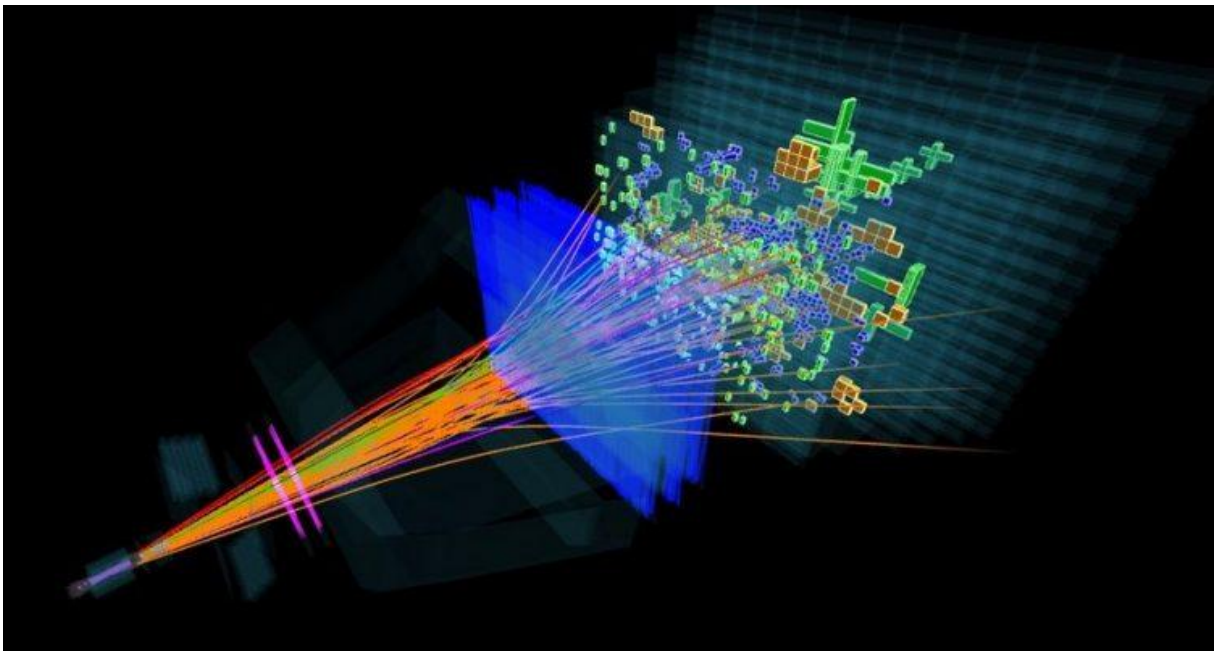
كاليفورنيا: "إنها بالتأكيد واحدة من أكثر الأشياء المعقدة تعقيدًا وصعوبة التي يجب القيام بها في الفيزياء التجريبية".



رسم تخطيطي للإعداد التجريبي المستخدم لاكتشاف أي حشرات. الائتمان: جيمس ناكامورا

حدد واكتشف مصادم الهادرونات الكبير 5 جسيمات دون ذرية جديدة:

من المعلوم إن مصادم الهادرونات الكبير (LHC) من CERN هو أقوى مسرع للجسيمات تم بناؤه على الإطلاق في العالم وقد حدد للتو 5 جسيمات دون ذرية جديدة.



تم بناء مصادم الهدرونات الكبير في نفق دائري محيطه حوالي 27 كيلومترًا ويسرع البروتونات (من عائلة الهادرون) لإنتاج الاصطدامات.

في هذا المُسرّع، يتم إجبار حزمتين من الجسيمات عالية الطاقة على الاصطدام أو التصادم، قادمة من اتجاهين متعاكسين وبسرعات قريبة من سرعة الضوء. تتسبب كثافات الطاقة المتولدة في الاصطدامات في اندماج المادة العادية في الأجزاء المكونة لها: الكواركات والغلوونات. يتيح لنا ذلك معرفة المزيد عن المكونات الأساسية للمادة، الجسيمات الأساسية للنموذج القياسي أو المعياري.

وتجدر الإشارة إلى أنه في الوقت الحالي، يعمل أكثر من 10000 عالم ومهندس معًا في LHC لمساعدتنا على فهم الخصائص الأساسية للفيزياء بشكل أفضل. وحتى الآن، توصل كل هؤلاء العلماء إلى اكتشافات مثيرة للإعجاب: كان فريق LHC وراء اكتشاف (وبالتالي تأكيد وجود) بوزونات هيغز ، واكتشاف العديد من الجسيمات الجديدة.

واليوم ، أثبتت دراسة جديدة أن مسرع ومصادم الجسيمات العملاق لن يتوقف عند هذا الحد. أعلن فريق تجربة جمال مصادم الهادرون الكبير Large Hadron Collider beauty (LHCb) experiment، الذي يهدف إلى استكشاف ما حدث بعد الانفجار العظيم للسماح للمادة بالبقاء وبناء الكون الذي نعرفه اليوم ، عن اكتشاف نظام جديد من 5 جسيمات دون ذرية في تحليل واحد.

اتضح أن كل من هذه الجسيمات الخمسة عبارة عن حالة مثارة من أوميغا سي صفر des états excités d'Oméga-c-zéro ، وهو جسيم بثلاثة كواركات. تم تسمية حالات الجسيمات هذه وفقًا للاتفاقية القياسية $\Omega c(3000)^0$, $\Omega c(3050)^0$, $\Omega c(3066)^0$, $\Omega c(3090)^0$ et $\Omega c(3119)^0$

والآن، يجب على الباحثين تحديد العدد الكمي لهذه الجسيمات الجديدة، بالإضافة إلى أهميتها النظرية. سيسمح لنا هذا الاكتشاف بتحسين فهمنا للعلاقة بين الكواركات وحالات الكواركات المتعددة، مما سيعزز معرفتنا بالكون ونظرية الكم بشكل عام.

وصفت المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية Le CERNهذا الاكتشاف بأنه "مرتع لنتائج فيزيائية جديدة واستثنائية". وهذه فقط البداية! يتم بالفعل إنتاج المزيد من التجارب والنتائج في هذا الوقت. لهذا السبب لا ينبغي التقليل من أهمية التعاون الدولي. LHC هو أكبر تعاون علمي دولي في التاريخ: يشارك علماء من أكثر من 85 دولة في التجارب فيLHC مسرع ومصادم الجسيمات التابع لـ CERN .

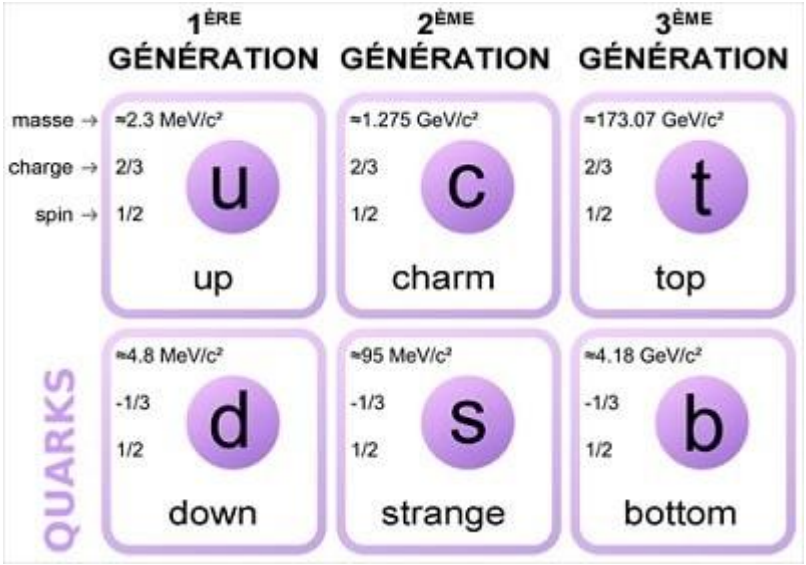
على مدى الأشهر والسنوات المقبلة، يخطط LHC لاستخدام الكمية التي لا تصدق من الطاقة للمغامرة في `` عالم الفيزياء المظلم " للكشف عن الجسيمات غير المعروفة حاليًا والمساعدة في حل وكشف بعض من أكثرها غموضاً ولغزية كونية، خاصة فيما يتعلق بالمادة السوداء أو المظلمة ، والأبعاد الموازية المحتملة وما يمكن أن يحدث في اللحظات الأولى بعد الانفجار العظيم.

يلقي LHCb الضوء على الجسيمات الجديدة:

منذ صياغته في عام 1970 وحتى اليوم ، يستمر النموذج القياسي أو المعياري في فيزياء الجسيمات الأولية في التحقق من صحة تنبؤاته. حتى في الآونة الأخيرة، أعلنتCERN المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية عن اكتشاف باريون baryon جديد بخصائص مدهشة في LHCb وهو: **le baryon Ξcc++,**، المكون من كواركين CHARM و كوارك.UP

الباريون المنصوص عليه في النموذج القياسي أو المعياريle Modèle Standard :

تم تقديم نموذج الكوارك في عام 1960 على أساس البيانات التجريبية من SLAC (مركز ستانفورد الخطي المعجلStanford Linear Accelerator Center) ثم اكتمل في عام 1970 مع إضافة ثلاثة كواركات أخرى، ويحتوي اليوم على ستة أنواع مختلفة (أو نكهات) من الكواركات: عالية (أعلى) haut (UP)، أسفل (أسفل) bas (DOWN)، غريب (غريب)étrange (STRANGE) ، سحر (ساحر) charme (CHARM)، أسفل (أسفل) dessous (BOTTOM) وما فوق (أعلى) dessus (TOP). ترتبط ستة كواركات مضادة بهذه الكواركات الستة.



جدول يمثل النكهات الست المختلفة للكواركات ، مقسمة إلى ثلاثة أجيال في النموذج القياسي.

يمكن للكواركات أن تتحد لتشكل الهادرونات ، أي جسيمات مركبة مكونة من كواركات. وبشكل أكثر تحديدًا، عندما يتكون الهادرون من ثلاثة كواركات، فإنه يكون باريون. أشهر الباريونات هي البروتونات والنيوترونات. وبالتالي فإن العديد من التركيبات مصرح بها بواسطة النموذج القياسي. أو المعياري.

هذا هو سبب اكتشاف الهادرونات الجديدة بشكل متكرر نسبيًا بواسطة .LHC لا يُعد الباريون ++Ξcc المكتشف مؤخرًا استثناءً ، ويشكل بالفعل تنبؤًا بالديناميكا اللونية الكمومية (النموذج الذي يصف التفاعل القوي ويتضمن نموذج الكوارك).

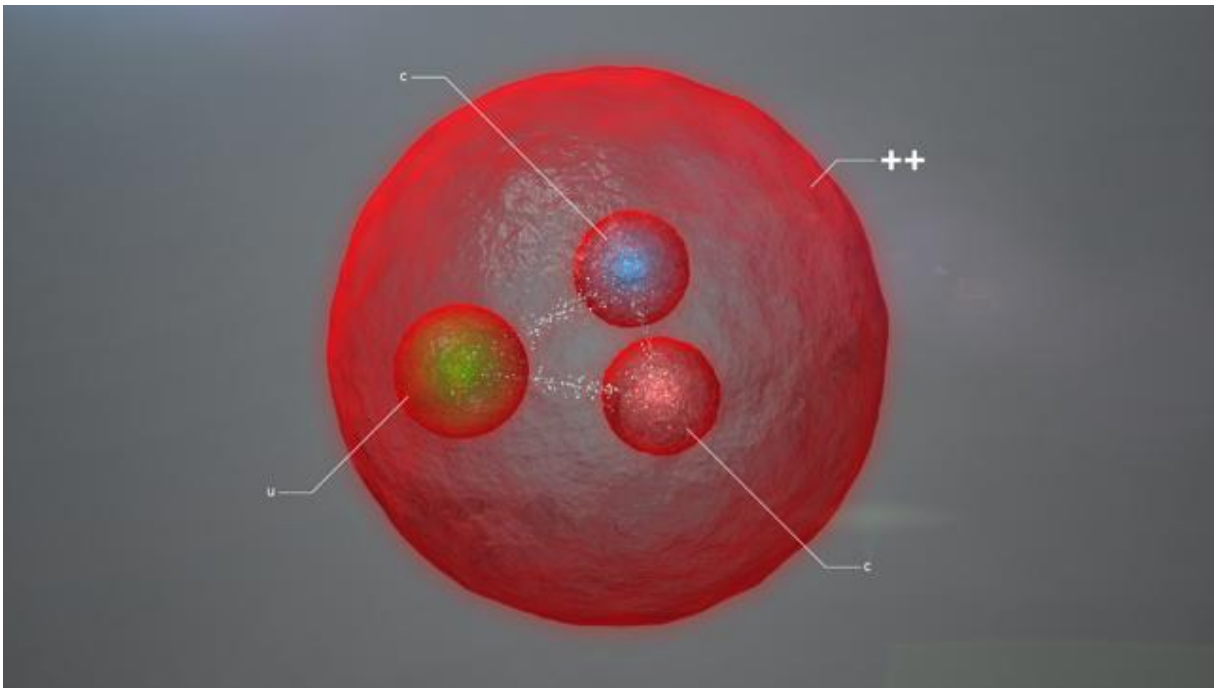
ولكونه قادرًا على نشر طاقة تبلغ 13 تيرا إلكترون فولت (téra-électron-volt TeV) أثناء تصادمات البروتون بالبروتون ، فإن المصادم LHC هو مختبر هائل لاختبار تنبؤات النموذج القياسي أو المعياري. على هذا النحو، يسمح لنا بدراسة ديناميكيات التفاعلات الأساسية بدقة أكبر مثل التفاعل الكهروضعيف (توحيد الكهرومغناطيسية والتفاعل الضعيف) والديناميكا الكرومية أو اللونية الكمومية la chromodynamique quantique.

فيما يتعلق بهذا الاكتشاف الجديد، يؤكد المتحدث باسم التعاون، جيوفاني باساليفا Giovanni Passaleva ، أن "اكتشاف الباريون المكون من كواركين ثقلين له أهمية كبيرة لأنه يوفر لنا أداة فريدة لمزيد من دراسة الديناميكا اللونية الكمومية ، النظرية التي تصف التفاعل القوي ، وهو أحد التفاعلات الأساسية الجوهرية الأربعة في الكون. مثل هذا الجسيم سيسمح لنا بذلك "تحسين التنبؤات التي قدمتها نظرياتنا".

Un baryon aux caractéristiques « hors normes» باريون بخصائص"غير عادية"

يتكون الباريون ++Ξcc من ثلاثة كواركات: كواركان "CHARM" وكوارك واحد "UP". الكوارك UP هو كوارك ضوئي حيث تتراوح كتلته بين 1.7 و 3.3 ميغا فولت / مربع سرعة الضوء MeV/c². من ناحية أخرى، فإن كوارك CHARM هو من جانبه كوارك أثقل، كتلته تساوي 1.3 GeV / c². هذا يعني أن الكوارك الساحر وحده له كتلة أكبر من كتلة البروتون (938 ميغا إلكترون فولت / س² MeV/c²).

فيما يتعلق بتكوينها ، فإن الباريون ++Ξcc أكبر بنحو 4 مرات من كتلة البروتون بكتلة 3.621 GeV / c². بالإضافة إلى ذلك، تحتوي هذه الكواركات الثلاثة على شحنة كهربائية تساوي2/3 e ، أو ثلثي الشحنة الأولية للإلكترون ؛ وبالتالي فإن هذا الباريون الجديد لديه ضعف شحنة البروتون (للبروتون شحنة معاكسة لشحنة الإلكترون ، e +).



رسم توضيحي للباريون ++Ξcc يتكون من كواركين مرتبطين من نوع CHARM وكوارك واحد UP مرتبطين بينهم عن طريق تدفقات الغلوونات.

هذه الخصائص الفيزيائية هي التي أعطته اسمه. في الواقع، تشير "cc" إلى كواركين CHARM ؛ يتم تعيين كوارك CHARM بواسطة "c" في التسمية القياسية المعيارية. و "++" تشير إلى هذه الشحنة التي تساوي ضعف شحنة الإلكترون.

يحتوي باريون ++Ξcc baryon أيضًا على ديناميكية داخلية أصلية. في الواقع، داخل معظم الباريونات، تتحرك الكواركات فيما يتعلق ببعضها البعض وتشكل نظامًا ديناميكيًا من ثلاثة كواركات متوازنة. من ناحية أخرى، في هذا الباريون الجديد، يشكل كواركا CHARM نظامًا ثنائيًا ويتفاعل كوارك UP مع هذا النظام.

حول هذا الموضوع ، يحدد غي ويلكينسون Guy Wilkinson ، المتحدث السابق باسم التعاون العلمي ، أنه "على عكس الباريونات الأخرى التي تؤدي فيها الكواركات الثلاثة رقصة متقنة حول بعضها البعض ، فإن الباريون ++Ξcc يتصرف مثل نظام كوكبي في حيث يعمل الكواركان الهائلان كنظام نجمي ثنائي يدور حوله الكوارك الأخف.

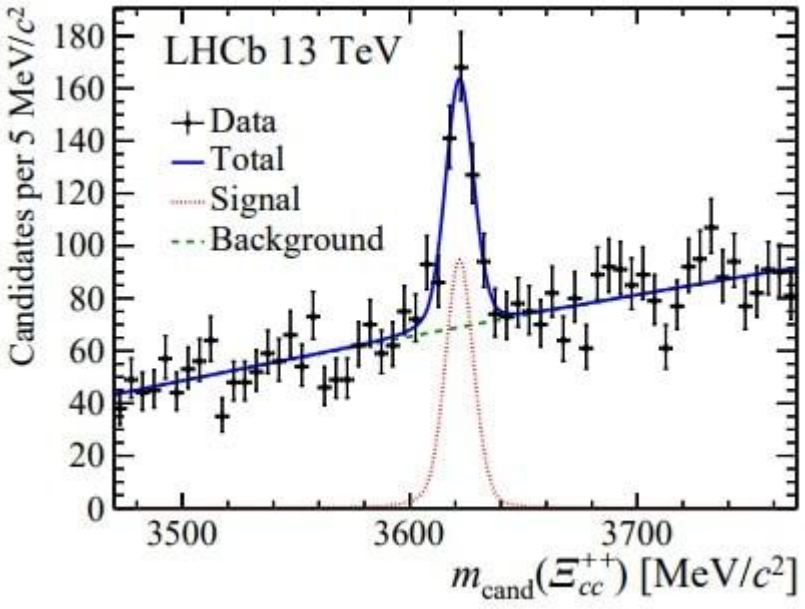
الكشف عن الباريون++Ξcc :

يوفر النموذج المعياري أو القياسي تحديدًا باريونين يحتوي كل منهما على كواركين CHARM: باريون+Ξcc + باريون ++ Ξcc . يُفترض أن تكون كتلتها تتراوح بين 3.5 GeV / c² و 3.7 GeV / c². بينما يبلغ عمر الباريون + Ξcc بين 50 و 250 fs (فيمتوثانيةfemtosecondes) ، فإن عمر باريون ++ Ξcc يتراوح بين 200 و 700 fs (فيمتوثانيةfemtosecondes)، مما

يجعل اكتشافه أسهل من نظيره. ومع ذلك ، كان باريون + Ξcc هو أول ما تم اكتشافه في عام 2002 من خلال تعاون SELEX (2) ، بكتلة 3.519 GeV / c².

لم يتم اكتشاف باريون baryon ++ Ξcc ، مثل باريون baryon + Ξcc ، مباشرةً بواسطة LHCb. مثل العديد من الجسيمات، يتحلل باريون baryon ++ Ξcc بعد انبعاثه. إذ يتحلل إلى جسيمات أخرى تسمى "نواتج الاضمحلال" produits de désintégration، وتسمى الطرق المختلفة التي تتحلل بها "قنوات الاضمحلال"canaux de désintégration . من خلال تحليل نواتج الاضمحلال هذه، حدد العلماء وشخصوا اكتشاف الباريون.++Ξcc .

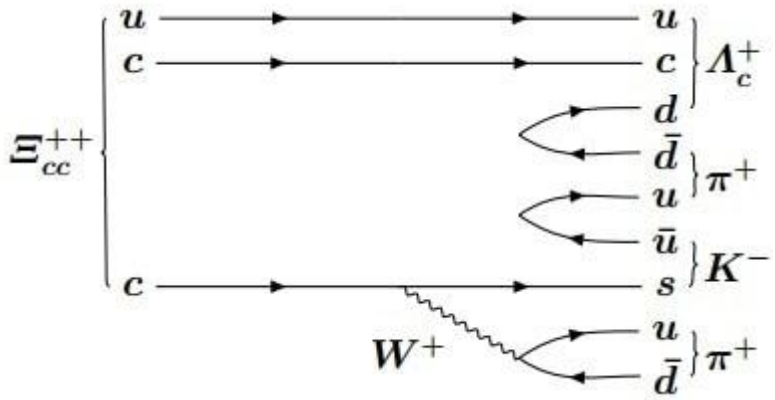
في الواقع، عندما يتحلل هذا الأخيرة، يتم توزيع طاقته في كل واحد من نواتج الاضمحلال؛ بعد ذلك جمع الفيزيائيون طاقة كل منهم ووجدوا إجماليًا إنها تساوي الطاقة المفترضة للباريون++Ξcc . ومع ذلك، فإن كتلة الباريون++Ξcc التي قدمها الفيزيائيون ليست سوى تقدير، لأن تحديدها يخضع للعديد من أوجه عدم اليقين في الترتيب الكمومي حسب (مبدأ هايزنبرغ) principe d'Heisenberg، لترتيب آلي (انحياز التصحيح، المعايرةbiais de correction, calibration) وذات طبيعة نظرية (عمر غير دقيق، مراسلات غير مؤكدة مع النموذج التنبئيle modèle prédictif).



توزيع كتلة baryon lambda Λc+ لامدا باريون+Λc و كايون kaon K+ وبيونين pions π ، نواتج الاضمحلال للباريون ++Ξcc . يمكن رؤية الذروة عند 3621 MeV/c² المقابلة للباريون++Ξcc .

من أجل هذه الملاحظة، درس العلماء قناة اضمحلال معينة لـ baryon ++ Ξcc. تفكك هذا إلى أربعة جسيمات محددة بوضوح: باريون لامبدا (2.28 GeV/c²) lambda Λc+ ، كايون (493.7 K+ MeV/c²) ، و بيونينdeux pions. (2 x 139.57 MeV/c²) π+

للقيام بذلك، جمع الباحثون البيانات من التصادمات التي حدثت في عام 2012 فيTeV 8 وفي عام 2016 عندTeV 13. يستفيد الاكتشاف من درجة دقة تبلغ 12 درجة مئوية، مما يجعله ملاحظة حقيقية لا تقبل الجدل؛ للتذكير ، في فيزياء الجسيمات ، درجة الدقة المطلوبة للحديث عن الاكتشاف هي 5.



يوضح مخطط فاينمان Feynmann تحلل الباريون Ξcc++ إلىΛc+, K+, π+ et π+ في الرسم التخطيطي ، يشير « W+ » إلى بوزون W للتفاعل الضعيف ، وبالتالي فإن اضمحلال باريون Ξcc ++ baryon ينطوي على تفاعل ضعيف. حسب بيانات CERN / LHCb

سيساعد قياس خصائص هذا الجسيم في تحديد كيفية تصرف نظام مكون من كواركين ثقلين وكوارك خفيف واحد. أرسل فريق البحث في CERN المقالة التي تبلغ عن هذه النتائج (أدناه) إلى مجلة Physical Review The.

المصادر: CERN، arXiv.org