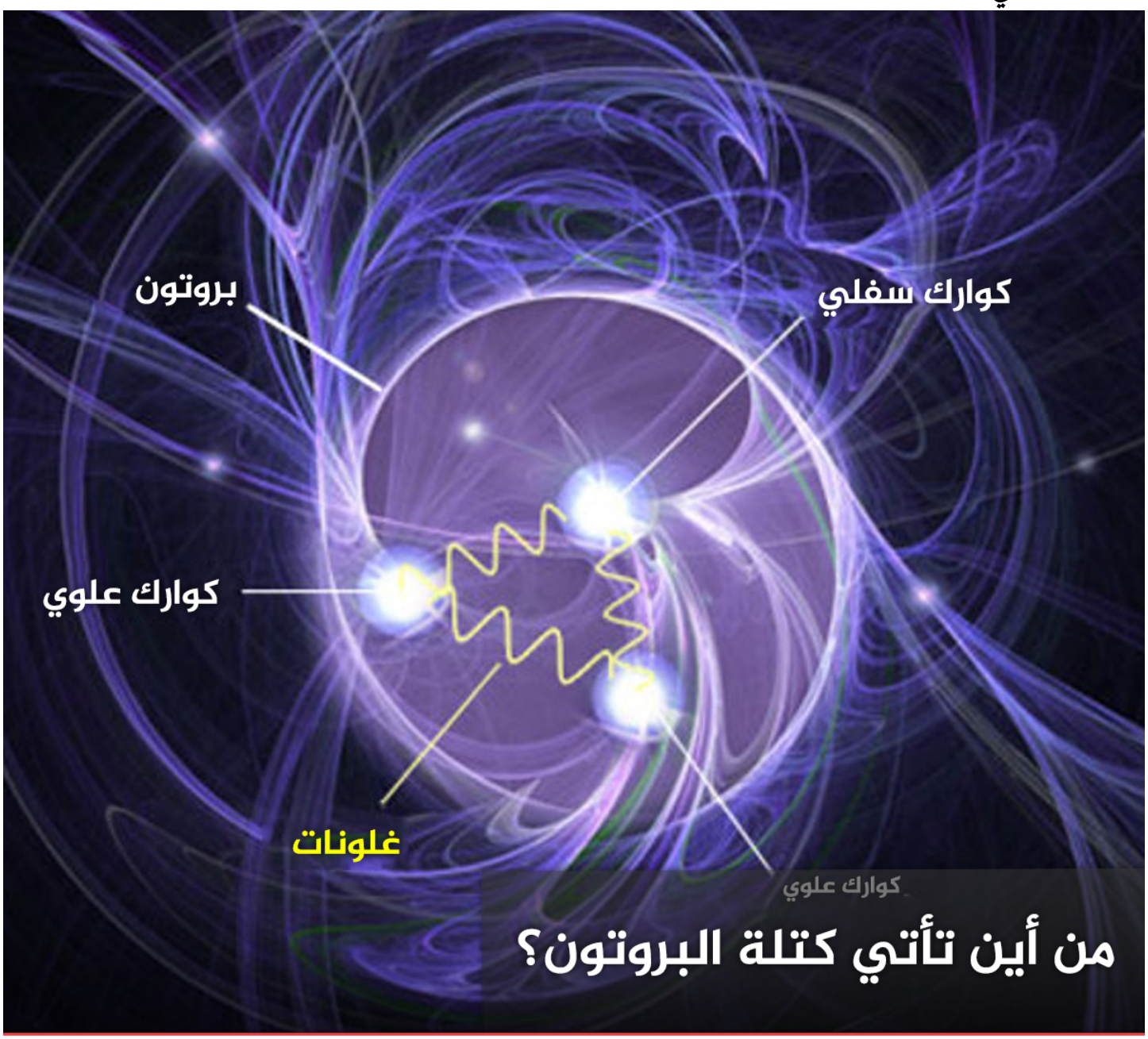
من أين تأتي كتلة البروتون؟

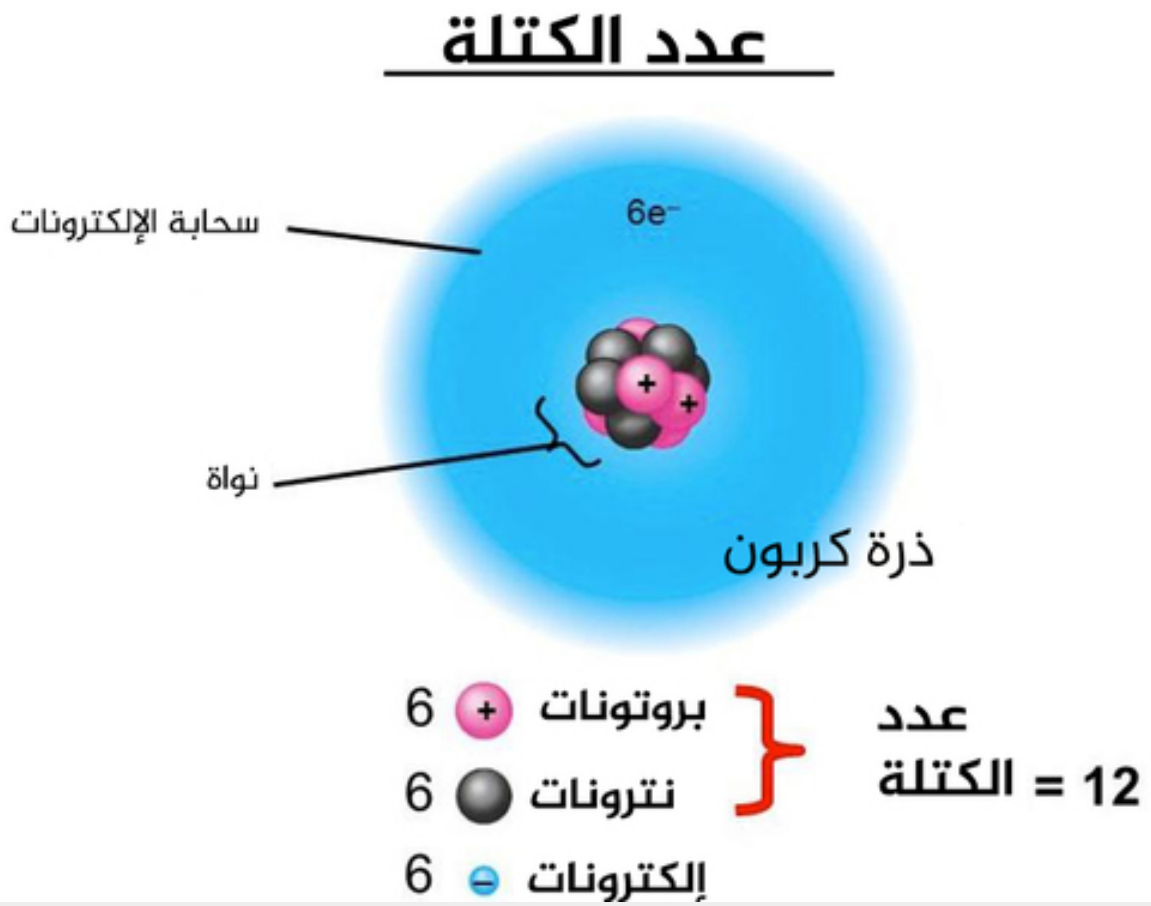


نموذج البنية الداخلية للبروتون والمجالات المرافقة.

مصدر الصورة: Brookhaven National Laboratory.

إذا أردت تقسيم الجسيمات التي تكوِّن جسمك إلى أجزاء أصغر فأصغر، ستجد في كل خطوةٍ من هذه العملية ـ على الأقل من ناحية الكتلة ـ أنّ الجسم بأكمله يساوي مجموع أجزائه. إذا فصلت جسمك إلى عظامٍ مفردةٍ ودهونٍ وأعضاء، سيكون مجموعهم جسماً بشرياً بالكامل، وإذا فصلتهم أكثر من ذلك مرةً أخرى، إلى خلايا، ستبقى الخلايا بمجموعها تشكل كتلتك نفسها.

يمكن تقسيم الخلايا إلى عضيات، والعضيات إلى جزيئات، والجزيئات إلى ذرات، والذرات بدورها إلى بروتونات ونترونات وإلكترونات. وعند ذلك المستوى، يوجد فرقٌ صغيرٌ إلا أنه ملاحَظ، حيث أن الإلكترونات والبروتونات والنترونات منفردةً تمتلك مجموع كتلةٍ يزيد بما مقداره 1% تقريباً عن كتلة الجسم البشري، والسبب في ذلك يعود إلى طاقة الارتباط النووية.

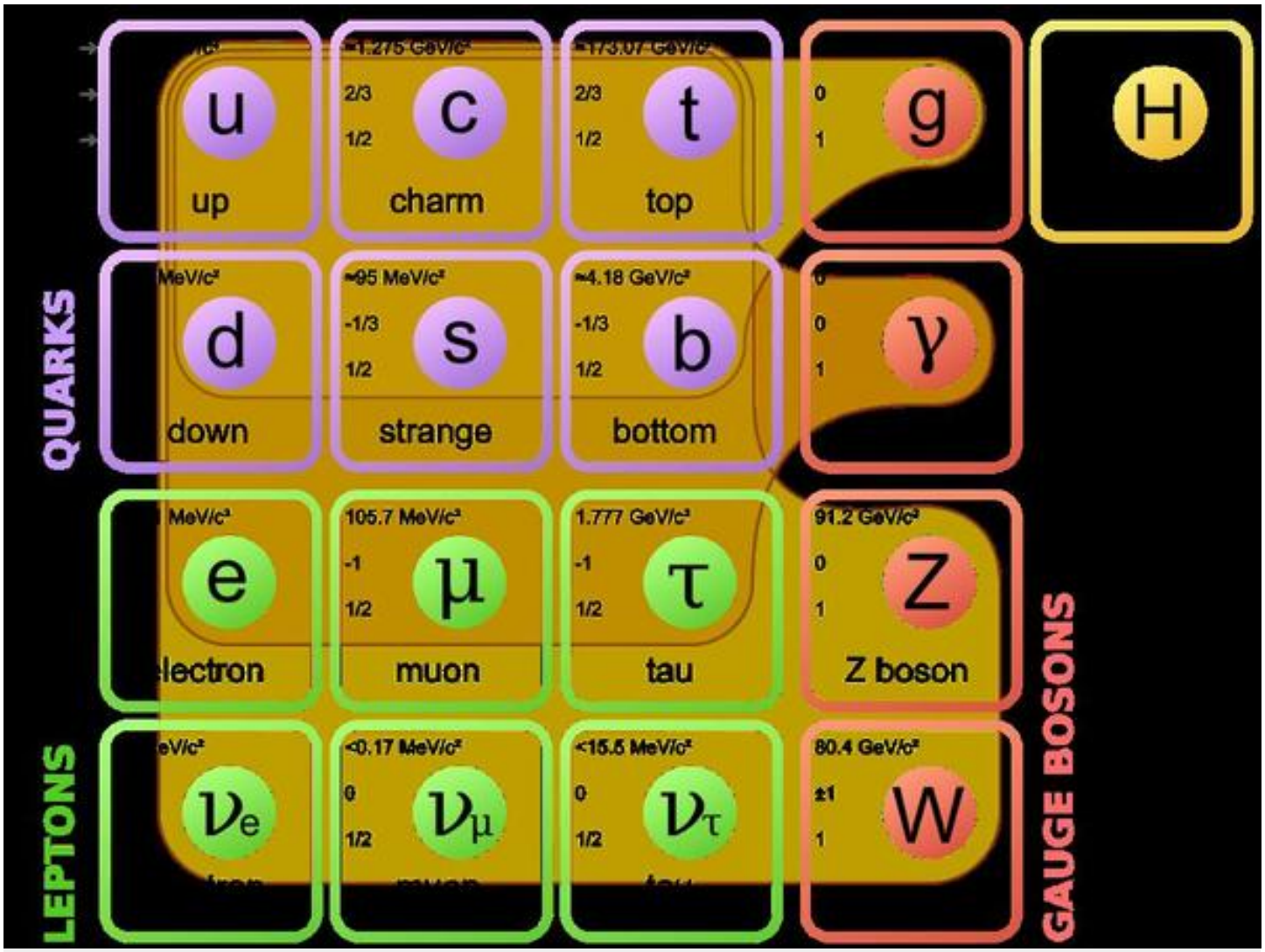


تملك نواة ذرة الكربون كتلةً أقل بـ 0.8% تقريباً من كتلة البروتونات والنترونات التي تشكلها، وذلك بفضل طاقة الترابط النووية. حقوق الصورة: Delia Walsh of http://slideplayer.com/ slide/6002405 / .

تتألف ذرة الكربون من 6 نترونات و 6 بروتونات، وهي أخف كتلةً بحوالي 0.8% تقريباً من الجسيمات الفردية التي تكونها. يتشكل الكربون بطريقة "الاندماج النووي" **nuclear fusion** للهدروجين ليشكل الهيليوم، ومن الهيليوم ينتج الكربون.

الطاقة المتحررة هي ما يزود معظم أنواع النجوم بالطاقة في كل من الطور الطبيعي وطور العملاق الأحمر، وإن تلك الكتلة المفقودة هي ما يُنتج تلك الطاقة، بفضل معادلة أينشتاين \(E=mc^2\).

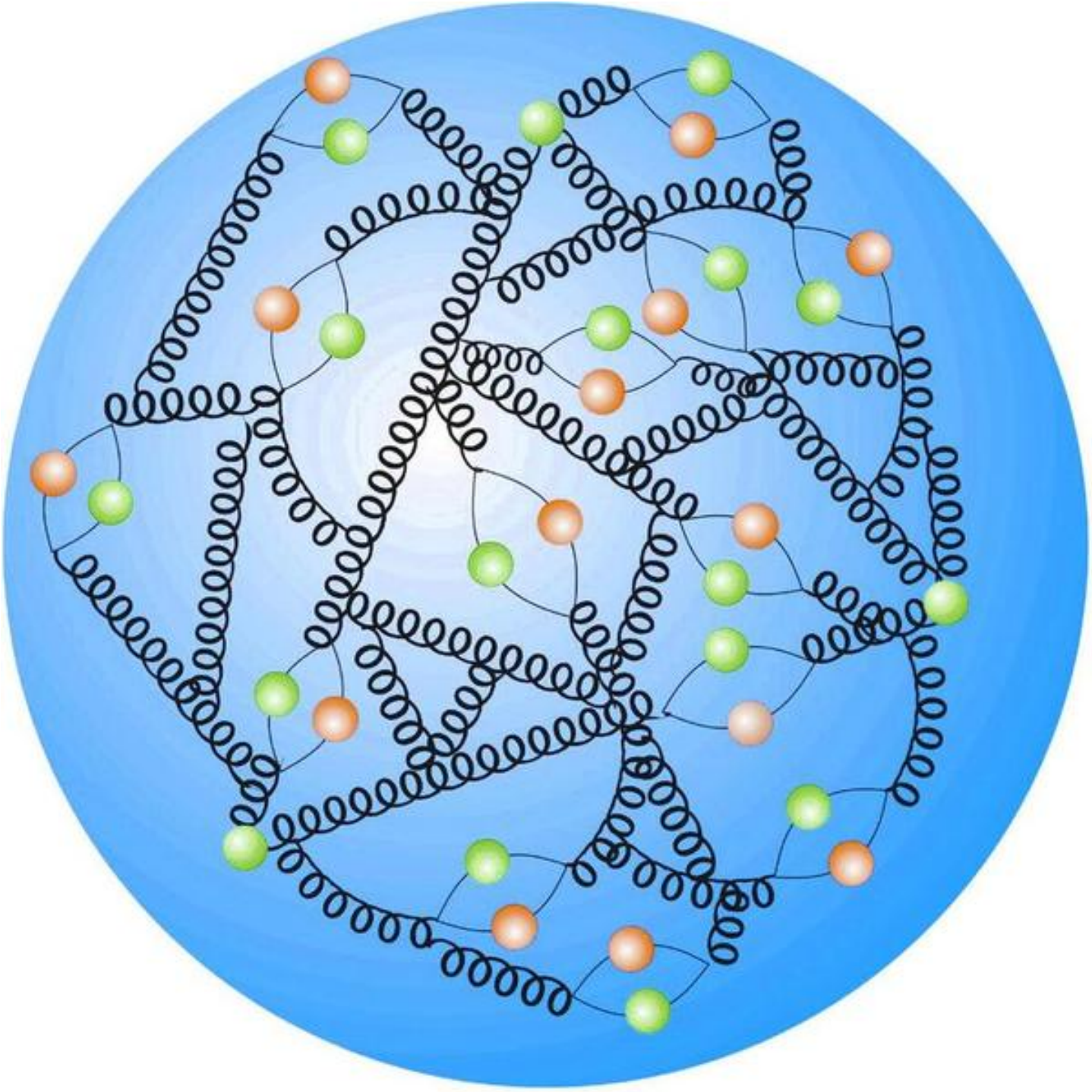
هذه هي الطريقة التي تعمل بها أغلب أنواع طاقات الارتباط، فسبب صعوبة تفكيك أشياء متعددة ترتبط مع بعضها، هو أنها تنشر الطاقة عندما تتحد وعليك أن تقدم طاقةً لفصلها من جديد. لهذا السبب، تبدو تلك حقيقةً محيرة، فعندما تلقي نظرة على الجسيمات التي تشكل البروتون ـ ثلاثة كواركات مختلفة لكل بروتون ـ فإن كتلتها مجتمعةً تساوي فقط 0.2% من كتلة البروتون ككل.



جسيمات النموذج القياسي، مع الكتل بواحدة mev "ميغا إلكترون فولط" في أعلى اليمين. يتكون البروتون من كواركين علويين وكوارك سفلي، كتلته تقريباً 938 mev/c2 مصدر الصورة: Wikimedia Commons user MissMJ, PBS NOVA, Fermilab, Office of Science, United States Department of Energy, Particle Data Group, under a c.c.a.–3.0 unported license.

تختلف الطريقة التي تتحد بها الكواركات مشكلةً البروتونات جوهرياً عن كل القوى الأخرى والتفاعلات التي نعرفها، فبدلاً من أن تزداد شدة القوى عندما تصبح الأجسام أقرب ـ مثل القوى الثقالية، والقوى الكهربائية أو المغناطيسية ـ تنخفض القوى الجاذبة إلى الصفر عندما تصبح الكواركات قريبةً من بعضها بشكلٍ عشوائي، وبدلاً من أن تصبح القوة أضعف عندما تبتعد الأجسام عن بعضها، تصبح القوى التي تجذب الكواركات إلى بعضها أقوى عندما تبتعد عن بعضها.

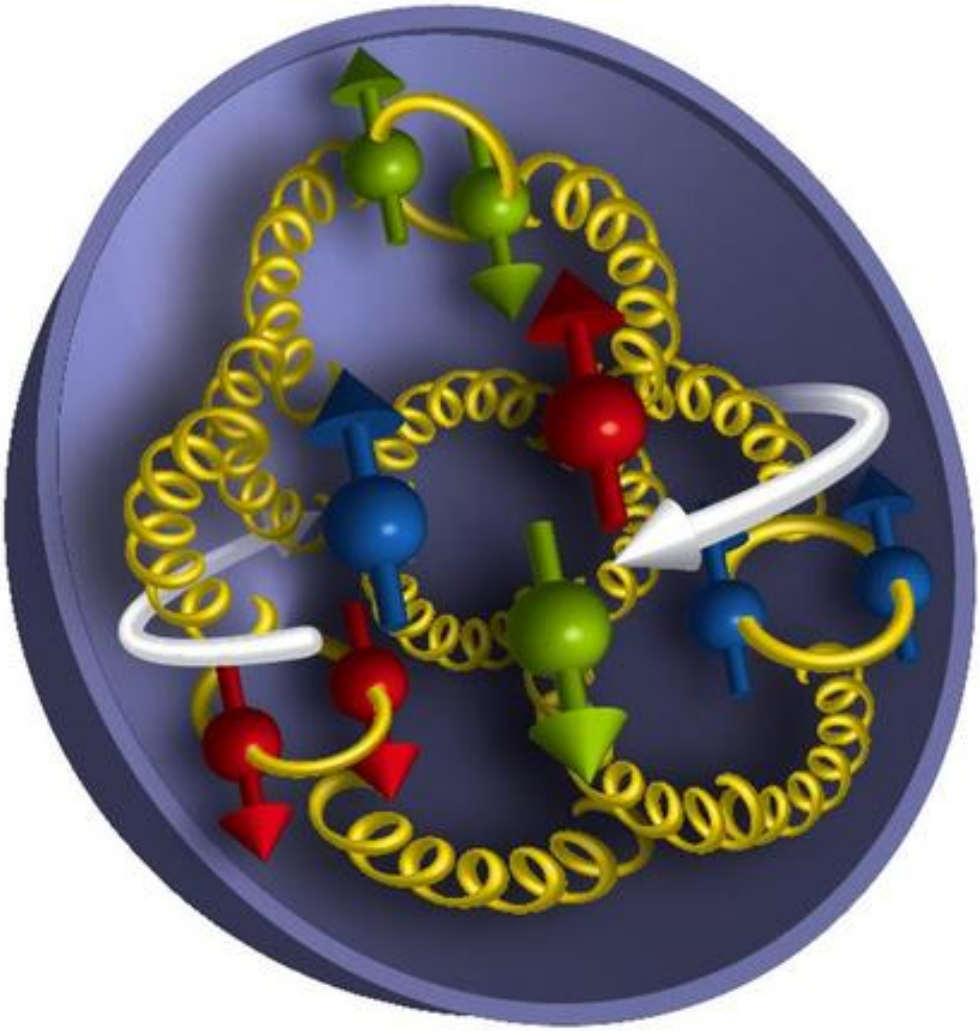
تعرف هذه الخاصية من القوة النووية الشديدة بـ "حرية التقارب" **asymptotic freedom**، وتعرف الجسيمات التي تتوسط هذه القوى بـ "الغلونات" **gluons**. وبطريقةٍ أخرى، فإن القوى التي تربط البروتونات معاً، والتي تشكل كتلة 99.8% المتبقية من البروتون، تأتي من هذه الغلونات.



بدلاً من ثلاث كواركات رئيسية (باللون الأخضر) ترتبط مع بعضها بواسطة الغلونات (التي تشبه النابض)، فإن بنية البروتون أكثر تعقيداً بكثير، مع "بحر" الكواركات والغلونات الإضافية التي تسكن داخل البروتون. مصدر الصورة: the German Electron Synchrotron (DES), and the HERA and ZEUS collaborations.

بسبب الطريقة التي تعمل بها القوة النووية الشديدة، هناك شكوك كبيرة في المكان الذي تتوضع فيه هذه الغلونات في أي نقطة من الزمن. لدينا نموذج متين في الوقت الحاضر لمتوسط كثافة الغلونات ضمن البروتون، لكن إذا أردنا معرفة أكبر احتمالية لمكان توضع الغلونات في الواقع، فهذا يتطلب المزيد من البيانات التجريبية، وكذلك نماذج أفضل لمقارنة البيانات.

ربما يكون التقدم الأخير للعلماء النظريين بيورن شينكة **Björn Schenke** وهايكي مينتساري **Heikki Mäntysaari**، قادراً على توفير تلك النماذج التي نحن بأشد الحاجة إليها، حيث فصّل مينتساري: "من المعروف بدقةٍ كم هو كبير متوسط كثافة الغلونات داخل البروتون، أما ما ليس معروفاً، فهو الموقع الذي تتوضع فيه الغلونات بالضبط داخل البروتون. نمذجنا الغلونات بحيث تقع حول الكواركات الثلاثة، ثم تحكمنا بكمية التقلبات المتمثلة في النموذج عن طريق تحديد ضخامة سحابات الغلونات، وتباعدها عن بعضها".

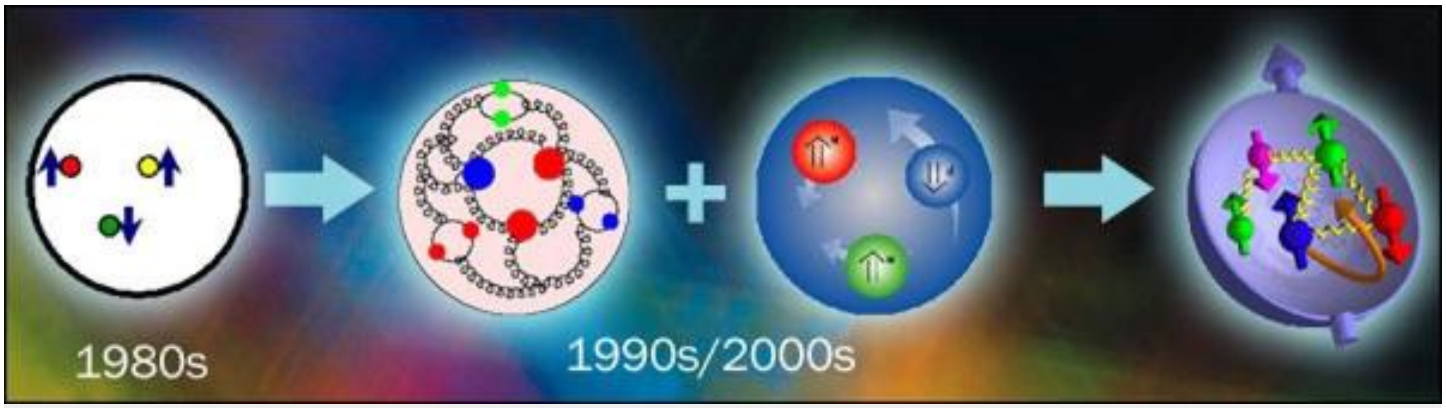


البنية الداخلية للبروتون، مع الكواركات والغلونات، بحيث يظهر عزم دوران الكواركات. مصدر الصورة Brookhaven National. Laboratory.

عندما تصدم جسيمين، كالبروتونات أو بروتون وأيون ثقيل أو أيونين ثقيلين، لا يمكنك نمذجتهم ببساطةٍ كاصطدامات بروتون–بروتون، وبدلاً من هذا، تستطيع أن ترى 3 توزيعات لأنواع الاصطدامات: اصطدامات كوارك–كوارك، اصطدامات غلون–كوارك، اصطدامات غلون–غلون.

إن المكونات داخل هذه الجسيمات دون الذرية هي التي تتصادم بالفعل، بدلاً من التراكيب بأكملها (وهي هنا البروتونات)، بينما في الطاقات الأقل غالباً تتصادم الكواركات، وأعلى الطاقات التي وصل إليها **RHIC** مصادم الأيونات الثقيلة النسبي **Relativistic Heavy Ion Collider** في بروكهيفن ومصادم الهادرونات الكبير **LHC** في سيرن لديها احتمالية كبيرة لتفاعل غلون–غلون، مع إمكانية الكشف عن موقع الغلونات داخل البروتون، وواصل مينتساري: "لا تحدث العملية على الإطلاق إذا بدا البروتون كما هو دائماً، وكلما زادت

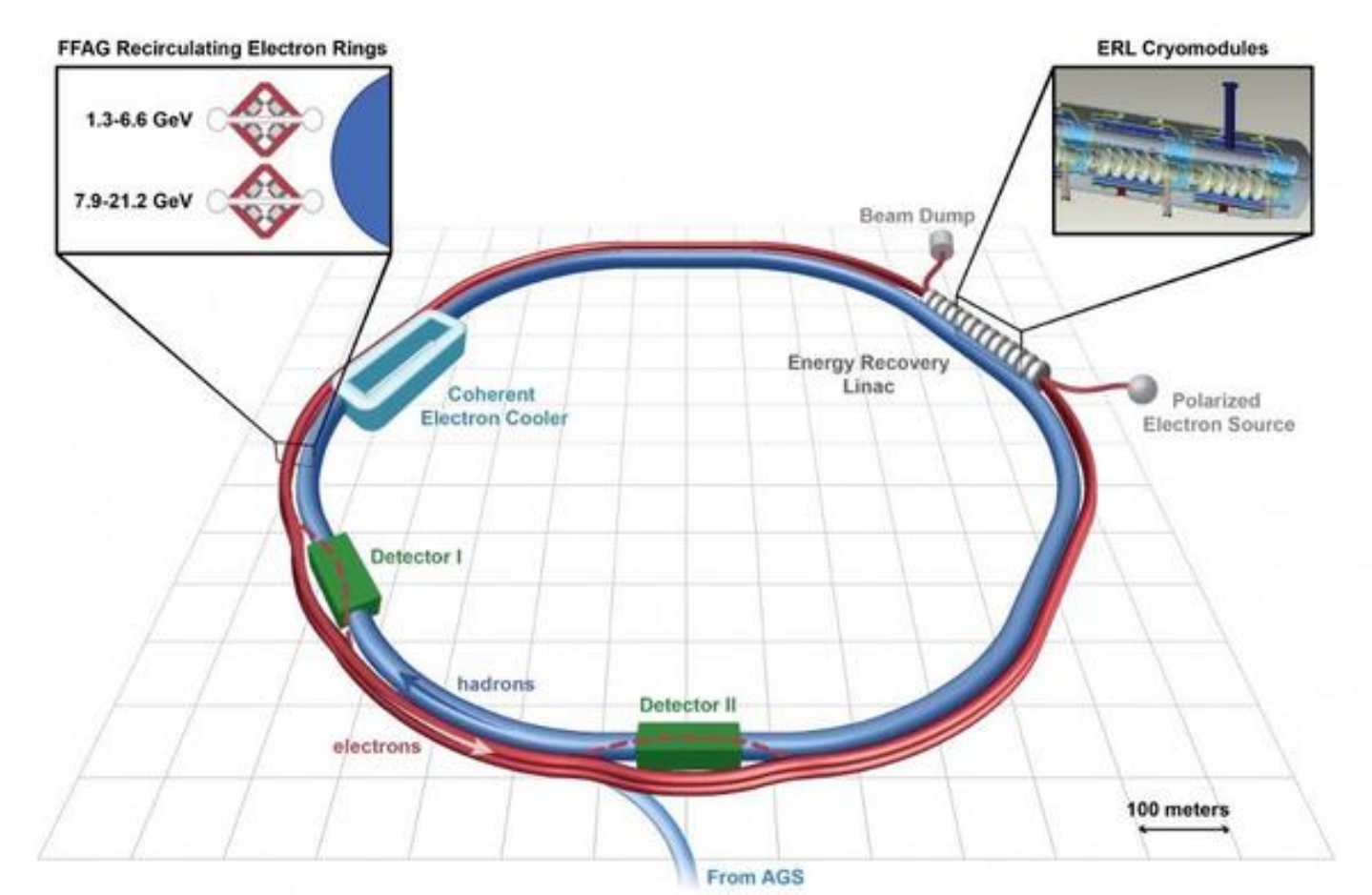
تقلبات البروتون، أصبحت العملية أكثر عرضةً للحدوث".



فهم أفضل للبنية الداخلية للبروتون، متضمنةً كيفية توزع "بحر" الكواركات والغلونات، المنجزة من التحسينات التجريبية والتطورات النظرية الجديدة في آنٍ واحد. مصدر الصورة: .Brookhaven National Laboratory

بجمع هذا النموذج النظري الجديد وتحسين بيانات **LHC** باستمرار، سيصل العلماء إلى فهمٍ أفضل للبنى الداخلية والأساسية للبروتونات والنترونات والنوى بشكلٍ عام، وبالتالي فهم من أين تأتي كتلة الأجسام المعروفة في الكون. إلا أن الهبة الأكبر لهذا النوع من البحوث، سيكون تطوير مصادم إلكترون-أيون **EIC**، المصادم المقترح من قبل العديد من التعاونات عبر العالم.

على عكس **RHIC** أو **LHC** التي تصادم البروتونات مع الأيونات ـ منتجاً إشارة نهائية مشوشة جداً ـ سيكون **EIC** أكثر تحكماً، بحيث لا توجد انفعالات داخلية وغير متحكم بها داخل لإلكترون لتحير النتائج التجريبية.



الرسم التخطيطي لأول مصادم أيون–إلكترون في العالم. بإضافة حلقة الإلكترون (حمراء) إلى مصادم الأيونات الثقيلة النسبي RHIC في بروكهيفن ينتج eRHIC مصدر الصورة: Brookhaven National Laboratory–CAD eRHIC group.

إذا أردت دراسة البنى الداخلية للبروتون أو مجموعة من الأنوية، فإن البعثرة العميقة غير المرنة هي الحل الوحيد للمضي قدماً. باعتبار أنّ المصادمات بدأت هذه الرحلة منذ أقل من قرن، وبما أننا الآن نحصل على طاقاتٍ أكبر بحوالي 10000 ضعف تقريباً أكبر من الذي بدأنا فيه، فإن السبر والفهم الدقيق لكيفية حصول المادة على كتلتها ربما يصبح في متناول أيدينا في النهاية، وربما تصبح عندها بلازما كوارك–غلون داخل النواة والتقلبات المصاحبة، جاهزةً في النهاية لتكشف أسرارها لنا.

وعندما يحصل ذلك، فإن واحداً من أقدم ألغاز الفيزياء، من أين تأتي كتلة المادة المعروفة (ما تزال لغزاً حتى بعد اكتشاف هيغز) ربما يصب في النهاية في صالح البشرية.

- التاريخ: 2016-11-04
- التصنيف: أسئلة كُبرى

#البروتونات #الذرات #الكواركات #الجسيمات دون الذرية #البنية الداخلية للبروتونات

المصطلحات

- **الالكترون (Electron)**: جسيم مشحون سلبياً، ويُوجد بشكلٍ عام ضمن الطبقات الخارجية للذرات. تبلغ كتلة الالكترون نسبة

تصل إلى حوالي 0.0005 من كتلة البروتون.

- **الأيونات أو الشوارد (Ions)**: الأيون أو الشاردة هو عبارة عن ذرة تم تجريدها من الكترون أو أكثر، مما يُعطيها شحنة موجبة.وتسمى أيوناً موجباً، وقد تكون ذرة اكتسبت الكتروناً أو أكثر فتصبح ذات شحنة سالبة وتسمى أيوناً سالباً
- **معهد أبحاث الفضاء في روسيا، و هو تابع لأكاديمية العلوم الروسية. (IKI)**: معهد أبحاث الفضاء في روسيا، و هو تابع لأكاديمية العلوم الروسية.

المصادر

- forbes

المساهمون

- ترجمة
  - فارس دعبول
- مُراجعة
  - مريانا حيدر
- تحرير
  - روان زيدان
- تصميم
  - علي كاظم
- نشر
  - مي الشاهد