حلم النظرية الموحدة العظمى ما زال بعيد المنال

www.nasainarabic.net
@NasaInArabic NasaInArabic NasaInArabic NasaInArabic NasaInArabic

لقد فشل الفيزيائيون في العثور على بروتونات متحللة، مما يضع في طي النسيان النظرية الحبيبة بأن قوى الطبيعة كانت متحدة في بداية الزمن.

لمدة عشرين عاماً، راقب فيزيائيون يابانيون خزاناً بطول مبنى مكون من 13 طابقاً ممتلئاً بماء نقي ومعزول في أعماق منجم مهجور للزنك؛ آملين في مشاهدة بروتونات تتفكك تلقائياً في الماء. وفي تلك الأثناء، يفوز أحدهم بجائزة نوبل لاكتشاف مختلف في خزان الماء هذا الذي يشبه الكاتدرائية، اكتشاف متعلق بجسيمات تسمى نيوترينوهات "**Neutrinos**". إلا أن الفريق المتطلع لحدث مشاهدة انحلال البروتونات والذي سيؤكد أن ثلاثة من قوى الطبيعة الأربعة قد انفصلت عن قوة واحدة أساسية في بداية الخليقة، هذا الفريق لا يزال يتنظر.

يقول ماكوتو ميورا **Makoto Miura** الأستاذ بجامعة طوكيو، والذي يقود الفريق الذي يبحث في انحلال البروتون في تجربة سوبر كاميوكاندي **Super-Kamiokande** :"حتى الآن، لم نشاهد دليلاً على هذا الانحلال للبروتون".

أشكال مختلفة من "النظرية الموحدة العظمى" **Grand Unified Theory** أو "**GUT**" والتي تجمع بين القوى القوية **strong forces**، والضعيفة **weak forces**، والكهرومغناطيسية **electromagnetic forces**، تعطي مجالاً من التوقعات حول المدة التي يستغرقها تحلل البروتون. وتفيد أحدث دراسات تجربة سوبر كاميوكاندي أن الجسيمات دون الذرية عليها أن تحيا، وسطياً، 16 بليون تريليون تريليون عام على الأقل ، وذلك بزيادة عن الحد الأدنى لعمر البروتون و الذي قام الفريق بحسابه عام 2012 وقدره ب 13 بليون تريليون تريليون عام.

وهذه النتائج التي أعلنت في شهر أكتوبر من هذا العام وقيد المراجعة للنشر في مجلة **Physical Review D**، تستبعد فكرة المجال الأكبر من أعمار البروتون المتوقعة وتترك فرضية عصر سبعينيات القرن الماضي الخاصة بالنظرية الموحدة العظمى الحبيبة كحلم غير مثبت. يقول ستيفن بار **Stephen Barr** عالم الفيزياء بجامعة ديلاوار **University of Delaware**: "حتى الآن، فإن الطريقة الأكثر ترجيحاً لإثبات هذه الفكرة هي انحلال البروتون".

بدون انحلال البروتون، فإن الدليل على أن القوى التي تحكم الجسيمات الأولية اليوم فعلياً هي ناتجة عن قوة موحدة عظمى، يبقى ظرفياً تماماً: يبدو أن القوى الثلاثة تتقارب إلى القوى ذاتها حين تقترب من الطاقات العالية، كما تشير بنية المعادلات الرياضية المعبرة عنها إلى احتوائها في مجموع أكبر، تماماً كما هو الحال مع شكل قارات كوكب الأرض والذي يوحي لنا بوجود قارة قديمة عملاقة تسمى بنجايا.

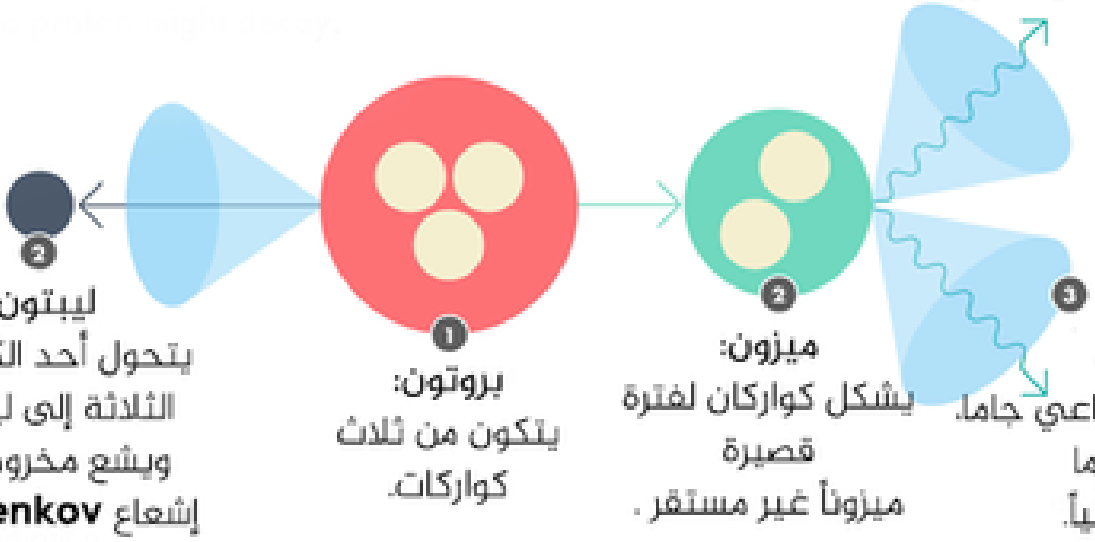
ويقول بار: "لديك هذه الأجزاء والتي تتلاءم مع بعضها البعض بشكل مثالي للغاية، و يعتقد معظم الناس أنه من غير الممكن أن يكون الأمر صدفة."

لو كانت القوى بالفعل متحدة خلال عصر القوة الموحدة العظمى، والذي كان بعد مرور جزء من التريليون تريليون تريليون جزء من الثانية الأولى من عمر الكون؛ فإن الجسيمات التي لديها الآن ردود فعل متميزة عن بعضها البعض تجاه القوى الثلاثة ستصبح إذن متماثلة وقابلة للتبادل فيما بينها كأوجه البلورة. فحين برد الكون، تحطمت هذه التماثلات، كتحطم البلورة، الأمر الذي قدم لنا جسيمات متميزة عن بعضها البعض إضافة إلى التعقيد الذي نراه في الكون اليوم.

مصير البروتون

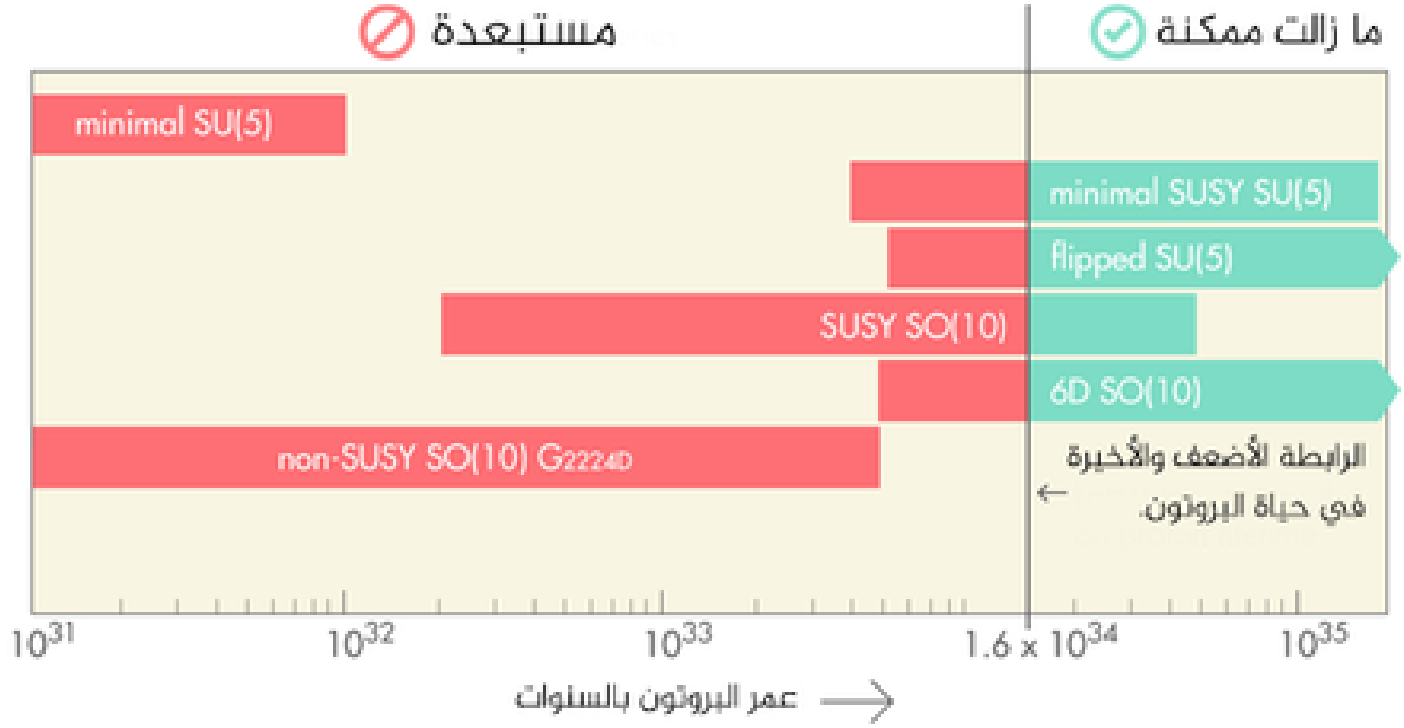
تنص نظريات القوى الموحدة العظمى بوجود قوة أساسية عظمى ابتدائية انقسمت إلى القوى القوية والضعيفة والكهرومغناطيسية وهي التقوى التي تحكم الجسيمات البدائية اليوم. وفي حال كان هذا صحيحاً، فعلى البروتونات أن تحلل حين تسيطر القوى الموحدة العظمى ، إلى كوارك(وهو الوحدة الأساسية في بناء البروتونات) حيث يتحول إلى ليبتون متوافق(وهو صنف الجسيمات التي تضم الإلكترونات). وستولد الجسيمات الناتجة ثلاث حلقات من الضوء الأزرق.

كيف قد ينحل البروتون:



توقعات GUT

نماذج مختارة من **GUT** وتوقعاتها لعمر البروتون عند انحلاله لبوزيترون "ليبتون" و بيون"ميزون".



على مدار العقود الأربعة الماضية، اقترح علماء الفيزياء نماذج متنوعة من النظرية الموحدة العظمى **GUT** والتي تصف ترتيبات مبدئية ممكنة لتماثل الجسيمات. واكتشاف أي النماذج هو الصحيح لن يكشف فقط عن البنية الضمنية الرياضية لقوانين الطبيعة، وكيفية اجتماعها مع القوة الرابعة "الجاذبية" فحسب، بل سيكشف أيضاً عن ماهية الجسيمات الأخرى التي قد تكون موجودة إضافة إلى الجسيمات المعروفة.

وهذا بدوره من الممكن أن يحل ألغاز عميقة أخرى في الفيزياء، مثل عدم توازن المادة والمادة المضادة في الكون والكتل غير المبررة للنيوترونات **Neutrinos**. يقول ديميتري نانوبولوس **Dimitri Nanopoulos**، عالم فيزياء في جامعة **Texas A&M TAMU** والذي استحدث مصطلح الـ **GUT**: "حلمنا، بالطبع، هو أن يكون لدينا نظرية موحدة لكل شيء."

تستلزم محاكاة اندماج القوى بشكل مباشر كمية غير ممكنة من الطاقة. ومع ذلك ينبغي أن يحدث هذا التوحيد العظيم للقوى أثراً طفيفاً في الكون اليوم. و تفترض كل نماذج الـ **GUT** أن الكواركات **quarks**، التي هي وحدات البناء الأساسية للبروتونات والنيوترونات، كانت في البدء غير قابلة للتمييز عن الليبتونات **Leptons**، وهي فئة من الجسيمات تشمل الإلكترونات **Electrons**.

وبسبب الشك الكمومي، فإن القوة الموحدة العظمى المرتبطة بهذا التماثل الأساسي عليها أن تظهر أحيانا، محولة كوارك أو كوارك مضاد **antiquark** إلى ليبتون أو ليبتون مضاد **antilepton** مناظرين لهما. وعندما يحدث هذا لأحد الكواركات داخل البروتون فإنه سيتفكك على الفور مصدراً وميضاً مشعاً يمكن تحديده. وهذا ما ينتظر العلماء في تجربة سوبر كاميوكاندي مشاهدته. (ستنحل النيوترونات بشكل مماثل، ولكن الخبراء يدعونه انحلال البروتون اختصاراً).

لقد بدأ حلم النظرية الموحدة العظمى عام 1974 عندما اكتشف شيلدون جلاشو **Sheldon Glashow** ، الذي حصل على جائزة نوبل بعد ذلك وهو الآن أستاذ بجامعة بوسطن، وهاوارد جورجي **Howard Georgi**، الأستاذ بجامعة هارفارد الآن، أن مجموعات التماثل الرياضية، والمماثلة على الترتيب للقوى القوية والضعيفة والكهرومغناطيسية، والتي تشكل مع بعضها البعض "النموذج القياسي" لفيزياء الجسيمات، يمكن دمجها في مجموعة واحدة أكبر من التماثلات ترتبط بكل الجسيمات المعروفة في آن واحد: وسمياها (**SU5**).
الجدير بالذكر أن المجموعات (**SU3**) و (**SU2**) و(**SU1**) هي مجموعات رياضية مرتبطة بالقوى القوية، والضعيفة، والكهرومغناطيسية، على التوالي، وتكون هذه المجموعات معاً ما يعرف بالنموذج القياسي لفيزياء الجسيمات **The Standard Model of Particle Physics**. يقول جلاشو: "لقد اعتقدنا أنها نظرية في منتهى الجمال."

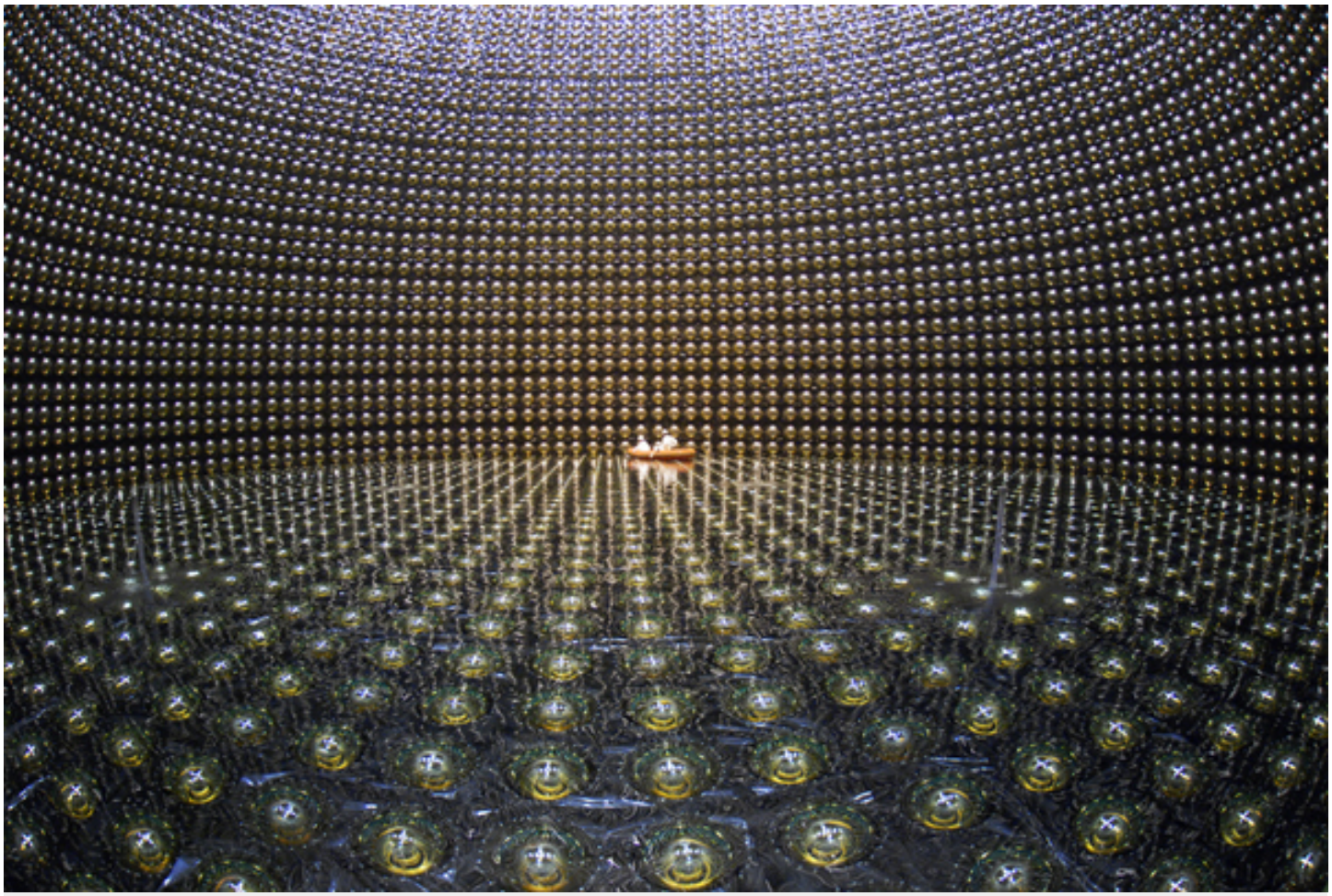
ولكن عمر البروتون الذي توقعه أول وأبسط نموذج من **GUT** بالإضافة إلى الألف الأول من المجال المتوقع بواسطة نماذج أخرى، قد تم بالفعل استبعاده من مدى الأعمار الممكنة (تأمل الصورة). وتسعى تجربة سوبر كاميوكاندي الآن إلى التحقق من مدى التوقعات الخاصة باقتراحات عديدة شائعة، ولكن بعد عقدين من العمل الجاد، لن تكون قادرة على المضي أبعد من ذلك. يقول كيرنز **Ed Kearns**، أستاذ الفيزياء بجامعة بوسطن والذي يعمل في تجربة سوبر كاميوكاندي منذ بدايتها: " إنه من الصعب أن تقدم التجربة شيئاً أفضل الآن؛ بسبب كل هذه البيانات المتراكمة."

هذا يترك مصير ال **GUT** غير مؤكد. يشبه بار، أحد مؤسسي نموذج (**SU5**) المعدل في **GUT** مقارناً الموقف بانتظار زوجك حتى يعود إلى المنزل؛ فيقول: "إذا كانت مدة تأخره عشر دقائق فهناك مبررات بسيطة لذلك. بعد ساعة، ربما تصبح هذه المبررات غير مقبولة. ولكن لو تأخر لمدة 8 ساعات...

فستبدأ بالقلق من احتمال موته. إذن ما أقصده هو أنه، ما هي النقطة التي تبدأ عندها بالقول بأن نظريتك قد ماتت؟" ويتابع: "في الوقت الراهن نحن في مرحلة تأخر الزوج ب 10 دقائق، أو ربما ساعة. ولا تزال صحة النظرية الموحدة العظمى أمراً مقبولاً تماماً".

في حال كانت النظرية صحيحة بالفعل؛ فهذا يعني أن التماثلات الأساسية كانت موجودة عند بداية الكون وتحطمت لاحقاً بانخفاض درجة الحرارة، كالماء تماماً، فهو يبدو متماثلاً في كل اتجاه، وحين يتجمد متحولاً إلى جليد، يصبح كل اتجاه متمايزاً.

و التماثلات هي تحولات تخلف أمراً ما غير متغير. فعلى سبيل المثال، قم بتدوير مربع بمقدار 90 درجة وسيبدو تماماً كما كان من قبل. ولكن بالنسبة لجسم مستطيل لكي يبدي هذا التماثل الدوراني فيجب أن يملك أربعة جوانب متطابقة. بطريقة مماثلة، لو أن تماثلاً ما وُجد في قوانين الطبيعة فيجب أن يكون هناك مجموعة من الجسيمات المتماثلة لاستيعاب ذلك.



يظهر في الصورة مرصد تجربة سوبر كاميوكاندي في كاميوكا باليابان، عند إعادة ملئه بالماء في عام 2006.

خذ على سبيل المثال، الـ (**SU3**)، وهي مجموعة التماثلات الخاصة بالقوة النووية القوية "التي تربط الكواركات معاً داخل البروتون والجسيمات المركبة الأخرى". مجموعة التماثل تضم هذه القاعدة: الكوارك العلوي **Up quark** "واحد من الأنواع الستة للكواركات" ويأتي حاملاً ثلاث شحنات مختلفة وقابلة للتبديل فيما بينها، وهي ما نشير إليه غالباً بالأحمر والأزرق والأخضر.

وهذا يعني أنك لو بدلت كل الكواركات الحمراء العلوية في الكون بأخرى زرقاء، وكل الكواركات الزرقاء بأخرى خضراء، وكل

الكواركات الخضراء بأخرى حمراء؛ فلن يعرف أحد بأن كل هذا قد حدث. الكواركات السفلية **Down quarks** وكل الأنواع الأخرى من الكواركات تتواجد أيضا على هيئة هذه التوائم الثلاثية المتماثلة. والغلونات **Gluons** "وهي الجسيمات الثمانية التي تنقل القوة النووية القوية" يمكن تصورها أيضا كمحاور دوران للمثلثات.

بينما تماثلات (**SU2**) المصاحبة للقوى النووية الضعيفة(وهي القوة المسؤولة عن أنواع عديدة من الانحلال الإشعاعي) تضم على سبيل المثال تماثلاً بين الكواركات العلوية والسفلية فيما يتعلق بالنشاط الإشعاعي. يقول نانوبولوس: "لو بدلت الأماكن ما بين كل الكواركات العلوية والسفلية في المعادلات التي تصف القوى النووية الضعيفة؛ فلن تعرف أبداً بأنني قد فعلت ذلك."

و تتضمن نماذج ال **GUT** مثل الـ (**SU5**) كل تماثلات (**SU3**) و (**SU2**) و(**SU1**)، كما تضيف تماثلات جديدة للخليط. على سبيل المثال، فإن (**SU5**) يجمع الكواركات والكواركات المضادة مع الليبتونات والليبتونات المضادة في مجموعات من خمسة توائم، والتي هي مثل الأضلاع المتطابقة للمضلع الخماسي. وتتطابق الجسيمات الي تنقل القوى القوية، والضعيفة، والكهرومغناطيسية في الطبيعة ضمن هذه البنية الرياضية الكبيرة.

الجسيمات ال 12 جميعاً يقصد البوزونات العيارية (**Gauge Bosons**) وال 12 الآخرون المفترض وجودهم (يقصد الـ12 جسيم المقترحين في نموذج جلاشو–جورجي وهم بوزونات إكس و واي (**X-Y Bosons**) تنقل جميعها قوة واحدة (موحدة عظمى).

وحين اكتشف جلاشو وجورجي نموذج ال (**SU5**)؛ أدركا أن ال 12 جسيم الإضافية الحاملة للقوى والموجودة في بنية النموذج (**SU5**) ستحفز بدء عملية انحلال البروتون. وحين تفككت مجموعة القوى (**SU5**) إلى الأجزاء الثلاثة المرئية في أيامنا هذه، اتخذت حاملات القوى الـ12 الأصلية "**Gauge Bosons** شكلها الراهن، ولكن ال 12 الآخرى "**X-Y Bosons** وعوضا عن اختفائها، ستغدو ثقيلة جداً وضعيفة فحسب. إذا، ستتجسد هذه الحاملات الشبحية للقوة أحيانا محولة الكوارك إلى ليبتون. وبناءً على حسابات جورجي وآخرين، فإنه في حال كان نموذج (**SU5**) صحيحاً؛ فإن البروتون الوسطي "والذي يتكون من ثلاثة كواركات" سينحل في 1029 عاماً.

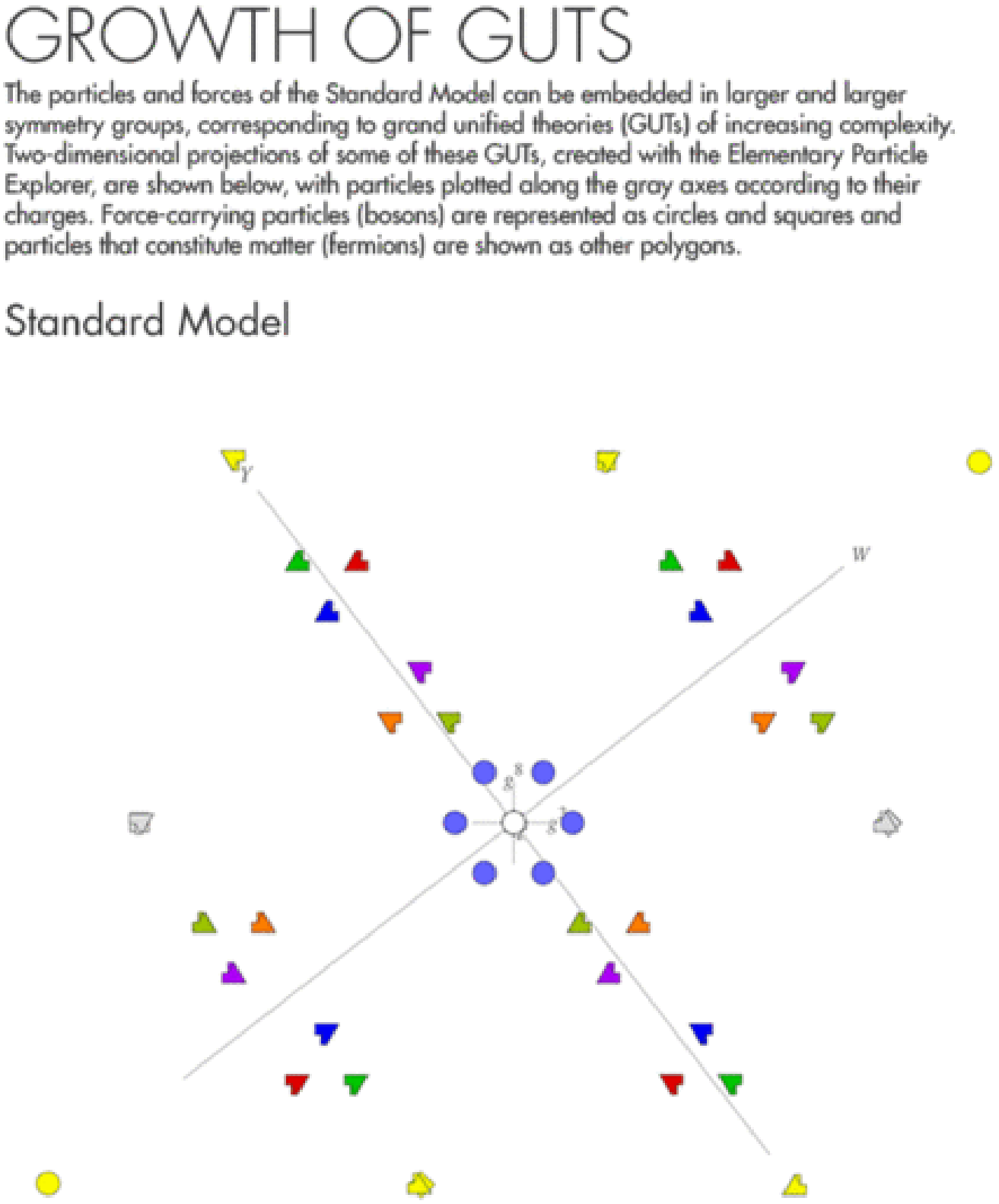
دُحض هذا التنبؤ في الثمانينيات من القرن الماضي بواسطة كل من تجربة **Irvine-Michigan-Brookhaven** او اختصاراً **(IMB)** في أوهايو وتجربة كاميوكاندي" تجربة كاميوكاندي هي من تجربة سابقة لتجربة سوبر كاميوكاندي". فقد عُثر على بعض المساحات للمناورة، مما قادنا إلى توقع لعمر البروتون أكبر بـ 100 مرة من سابقه، إلا أن ذلك لم يكن كافياً. فبعد مضي سنوات على ولوجنا الشبكة العنكبوتية منذ عام 1996، استبعدت تجربة سوبر كاميوكاندي نموذج (**SU5**) بصورة قطعية. يقول بار:" لقد اكتئب الجميع."

وأصبح الموقف أكثر غموضاً منذ ذلك الحين. فبينما كان نموذج (**SU5**) بسيطاً لدرجة كونه ممكناً، إلا أن الباحثين اكتشفوا تشكيلة متنوعة من مجموعات تماثل أخرى والتي من الممكن للجسيمات الموجودة أن تتلاءم معها، ولكن بخصائص ومتغيرات إضافية تجعل انحلال البروتون أبطأ بكثير. ويضيف لبعض من هذه النماذج تماثل إضافي يسمى "التماثل الفائق **supersymmetry**"، والذي يضاعف بدوره عدد الجسيمات.

آخرون ، مثل الـ (**SU5**) المعدل، التي تعيد الترتيب لتحدد أي من الكواركات و الكواركات المضادة التي تتوافق مع ليبتونات وليبتونات مضادة معينة داخل التوائم الخماسية الخاصة بال (**SU5**) مما يضيف تماثلا آخرا في هذه العملية.

آخر نتائج تجربة سوبر كاميوكاندي، والتي تحدد الحد الأدنى لعمر البروتون بما يزيد على 1034 عام، تتقل إلى داخل منطقة اهتمام العديد من النماذج، بما فيها نموذج (**SU5**) المعدل والذي يتوقع أن تحلل البروتون سيستغرق مابين \(10^{ 34}\) و \(10^{36}\)عاما . يقول

نانوبولوس، أحد الباحثين الذين وضعوا نموذج (**SU5**) المعدل (**Flipped SU5**) في أوائل الثمانينيات: " أشعر بالإثارة حيال هذا الأمر."



تطور نماذج ال GUT يمكن وضع جسيمات وقوى النموذج القياسي في مجموعات تماثل أكبر وأكبر، طبقا لنماذج ال GUT متزايدة التعقيد. و في الأسفل نبين إسقاطات ثنائية الأبعاد من بعض هذه النماذج. الناشئة عن مستكشف جسيمات بدائي، ورسمت الجسيمات على المحاور الرمادية وفقاً لشحنة كل منها. الجسيمات الحاملة للقوة Bosons ممثلة بالدوائر والمربعات، والجسيمات المكونة للمادة Fermions ممثلة بمضلعات أخرى.

وفي حين أنه يمكن لتجربة سوبر كاميوكاندي أن تحقق ضربة ذهبية في الأعوام القليلة القادمة وتثبت صحة أحد هذه النماذج، يمكنها أيضاً أن تستمر لعشرين عاماً آخر، لترفع الحد الأدنى لعمر البروتون، دون أن تستبعد وبشكل قطعي أياً من هذه النماذج أيضاً.

وتدرس اليابان بناء كاشف ضخم بكلفة مليار دولار ويدعى كاميوكاندي الفائق **Hyper-Kamiokande**، والذي سيكون أكبر من سوبر كاميوكاندي بمقدار يتراوح بين 8 و 17 مرة، وسيكون حساساً لأعمار البروتونات التي تقدر بحوالي \(10^{35}\) عام وذلك بعد عقدين من الآن. وقد يبدأ في مشاهدة القليل من التحلل، أو ربما لا. يقول بار:" قد لا نكون محظوظين؛ فقد نبني أكبر كاشف تم بناؤه على الإطلاق ليبقى انحلال البروتون بطيئاً جداً، ويعاندنا الحظ حينها."

مهما كان الكاشف كبيراً، فمن الممكن دائما تركيب نماذج **GUT** أكثر اسرافاً فتسبب انحراف الاختبارات. تماماً مثل مجموعة التماثل **E6** أو **E8**، والتي بإمكان حدودها المتغيرة الكثيرة أن تتناغم فتجعل عمر البروتون بالطول الذي نرجوه. قد يكون أحد هذه النماذج صحيحاً، ولكن لن يعرف أحد على الإطلاق. يقول نانوبولوس: "يستطيع الناس أن يبنوا نماذج بتماثلات أعلى ويفعلوا المستحيل لتجنب انحلال البروتون. حسنا، يمكنك فعل ذلك ولكن لن تستطيع المواجهة بأمانة"

فقد جلاشو اهتمامه كشخص بالأمر كله تماما عندما تم استبعاد نموذج (**SU5**). ويقول:" أصبح انحلال البروتون فشلاً، كما هو الحال مع العديد من الافكار العظيمة التي ماتت."

لم تمت النظرية الموحدة العظمى بالضبط. فالدليل الظرفي ما زال موجوداً وقاهراً كما كان. ولكن قد تظل الفكرة طي النسيان، بخلاف البروتون تماماً).

- التاريخ: 2017-03-13
- التصنيف: اسأل فلكي أو عالم فيزياء

#فيزياء الجسيمات #البروتونات #النموذج القياسي #القوى الأساسية #الجسيمات الأولية

المصطلحات

- **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

المصادر

- quantamagazine

المساهمون

- ترجمة
  - محمد عبد العليم
- مُراجعة
  - نجوى بيطار
- تحرير
  - دعاء حمدان
- تصميم
  - نادر النوري
- نشر
  - مي الشاهد