



## مقدمة مختصرة عن فيزياء الجسيمات

ناري ميستري

مختبر فيزياء الجسيمات الأولية

جامعة كورنيل

## A BRIEF INTRODUCTION TO PARTICLE PHYSICS

**Nari Mistry**

*Laboratory for Elementary Particle Physics*

Cornell University



## مقدمة مختصرة عن فيزياء الجسيمات

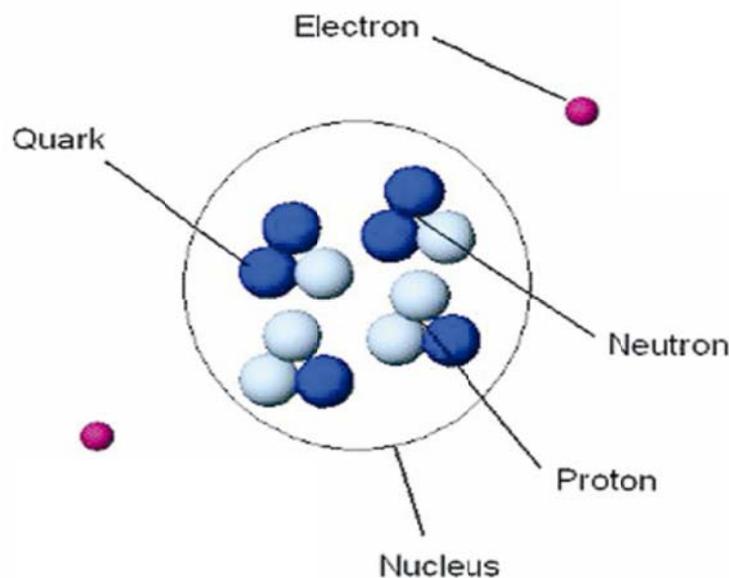
3	ما هي فيزياء الجسيمات؟
6	ماذا عن طبيعة الكون الذي نعيش فيه؟
7	إذا كيف سوف ندرس الكواركات وامثالها من الجسيمات الاولية الان وهي لم تعد حرة؟
9	النموذج القياسي Standard Model
9	الكواركات Quarks
10	الليبتونات Leptons
12	القوى والتفاعلات
14	التوحيد Unification
16	ما وراء النموذج القياسي؟
17	تجارب فيزياء الجسيمات
19	نظرة للمستقبل



## ما هي فيزياء الجسيمات؟

البروتونات والإلكترونات والنيوترونات والنيوترينو وحتى الكواركات يرد ذكرها كثيرا في اخبار الاكتشافات العلمية. كل هذه الجسيمات والمجموعة الكاملة للجسيمات الاخرى، هي عبارة عن جسيمات ذرية صغيرة جدا لا ترى حتى بالمجاهر الالكترونية. في حين ان الجزئيات والذرات هي العناصر الاساسية للمواد المألوفة التي يمكن ان نراها او نشعر بها، ولكن هنا علينا ان ننظر داخل الذرات للحصول على معلومات حول هذه الجسيمات الأولية الدقيقة للذرة لفهم طبيعة الكون الذي نعيش فيه. العلم الذي يدرس هذا المجال يعرف باسم فيزياء الجسيمات، او الجسيمات الأولية او في بعض الاحيان فيزياء الطاقة العالية HEP وهي اختصار لـ High Energy Physics.

لقد افترض وجود الذرات من زمن بعيد بواسطة الفيلسوف الاغريقي ديموغرس، وحتى بدايات القرن العشرين، لقد اعتقد ان الذرات هي وحدة البناء الاساسية للمواد والعناصر. وقد جاءت البروتونات والنيوترونات والالكترونات كمكونات اساسية عندما اكتشفت في مطلع القرن العشرين بواسطة التجارب التي اجراها العالم رزرفورد واخرون حيث اكتشفوا ان الذرات معظمها فراغ والالكترونات تحيط بنواة مركزية ذات كثافة عالية من البروتونات والنيوترونات.



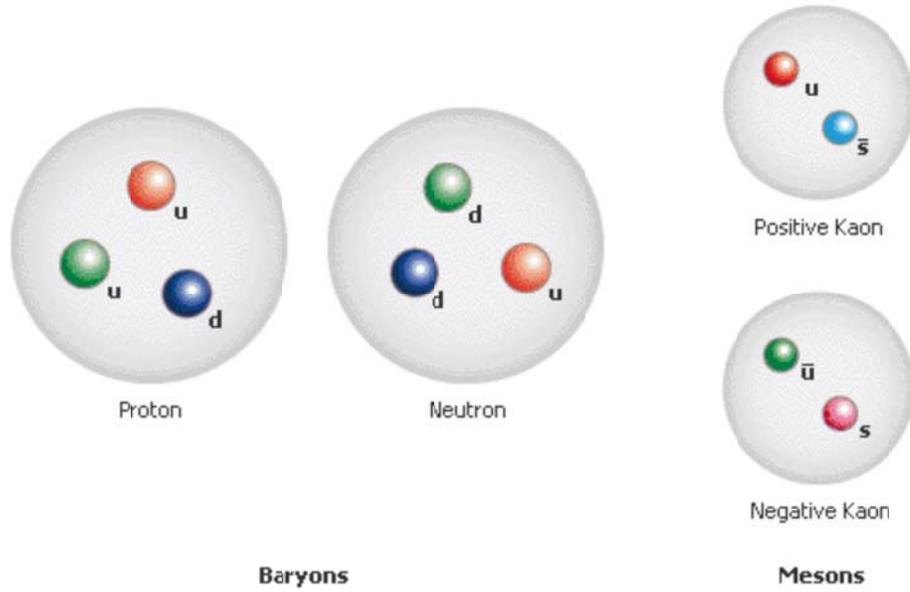
داخل النواة: الوسط يعرف بالنواة وتحتوي على البروتونات والنيوترونات والتي هي تتكون من كواركات. سحابة الالكترونات تحيط بنواة الذرة.



حدث تقدم في مجال علم الفيزياء الجسيمية باختراع معجلات الجسيمات التي تعجل البروتونات والالكترونات لطاقات عالية وتصدمهم في النواة وقد اذهل العلماء من تولد الكثير من الجسيمات الجديدة التي نتجت عن التصادمات تلك.

في مطلع العام 1960، حيث تمكنت المعجلات من الوصول إلى طاقات عالية جدا اكتشف المئات من انواع الجسيمات الجديدة. هل هذه الجسيمات هي جسيمات اولية؟ عمت الفوضى الوسط العلمي حتى اصبح واضحا في نهاية القرن الماضي، من خلال سلسلة تجارب طويلة ودراسات نظرية كثيرة، انه يوجد مخطط بسيط لمجموعتين اساسيتين من الجسيمات الاولية هي الكواركات *quarks* والليبتونات *leptons* (من بين الليبتونات الإلكترونات والنيوترونات)، ومجموعة من القوة الاساسية التي تمكن هذه الجسيمات من التفاعل مع بعضها البعض. بطريقة تمكن يمكن ان نعتبر بها هذه القوى تنتقل من خلال تبادل الجسيمات تعرف باسم البوزونات المقياسية *gauge bosons*. ومثال على ذلك الفوتون، وهو الجسيم الذي يحمل طاقة الضوء المكتملة والتي تنتقل من خلال القوى الكهرومغناطيسية التي نشاهدها في كل يوم.

مع بعض هذه الجسيمات الاولية تشكل العديد من المجموعات التي نشاهدها في حياتنا اليومية مثل البروتونات والنيوترونات وكل الجسيمات الاولية التي شوهدت في تجارب المعجلات. (وعلينا ان نذكر هنا ان كل هذه المجموعات من الجسيمات *particles* تشمل ايضا على مضادات الجسيمات *anti-particles*، او بمعنى اخر ما يعرف بالمكمالات المتضادة *complementary opposites*؟ وهذه التي تكون المادة *matter* ومضاد المادة *anti-matter*.)



المادة مكونة من جسيمات دقيقة تعرف باسم الكواركات. الكواركات تأتي بأنواع ستة مختلفة، الاعلى ( $u$ ) والاسفل ( $d$ ) والساحر ( $c$ ) والغريب ( $s$ ) والفوقي ( $t$ ) والسفلي ( $b$ ). الكواركات ايضا تمتلك مضاد لها تعرف باسم الكواركات المضادة (وتميز بخط اعلى الرمز الذي يعبر عنها). تندمج الكواركات لتكون جسيمات تعرف باسم الباريونات baryons ، والكواركات ومضادات الكواركات تتحد وتكون الميزونات mesons. البروتونات والنيوترونات، جسيمات تكون نواة الذرات، وهي امثلة على الباريونات. ومن امثلة الميزونات الكاونز kaons الموجب والسالب.

اليوم، النموذج القياسي Standard Model هو النظرية التي تصف دور هذه الجسيمات الاولية والتفاعلات بينها. ودور علم فيزياء الجسيمات الاولية هو فحص واختبار هذا النموذج بكل الطرق الممكنة، للبحث عن اكتشاف شيء اكثر يقع خلف هذا النموذج. وفيما يلي سوف نقوم بوصف هذا النموذج القياسي ومزاياه البارزة.



## ماذا عن طبيعة الكون الذي نعيش فيه؟



### صورة التقطها تلسكوب هابل للمجرات في الكون الفسيح

هنا نعرض فهمنا الحديث بإيجاز. نحن نعتقد ان الكون بدأ مع الانفجار العظيم Big Bang، مع طاقة هائلة ودرجة حرارة مركزة في حيز صغير جدا. بعدها مباشرة بدأ الكون بالتمدد بمعدل كبير وبعض الطاقة تحول الى ازواج من الجسيمات ومضادات الجسيمات لها كتلة – تذكر معادلة اينشتين  $E=mc^2$ . وفي الجزء الصغير من الثانية الاولى، تواجد خليط من الاشعاع (الفوتونات بطاقة نقية) والكواركات والليبتونات ومقياس البوزونات. وفي خلال المرحلة ذات الكثافة العالية، تصادمت الجسيمات ومضاداتها وافنت بعضها البعض محررة فوتونات، مخلقة جزء ضئيل من المادة تنتقل في الكون. وكلما تمدد الكون بسرعة، في اجزاء من الثانية انخفضت درجة حرارته إلى حوالي 100 بليون درجة، وبدأت الكواركات بالتجمع مع بعضها البعض لتكون بروتونات ونيوترونات والتفت حولها الالكترونات ونيوترينو وفوتونات في صورة حساء من الجسيمات. ومن هذه النقطة لم يكن هناك أي كواركات حرة. في الثلاثة دقائق التالية او اكثر بقليل برد الكون لبليون درجة، مما سمح للبروتونات والنيوترونات بان تتجمع مع بعضها البعض وتكون أنوية العناصر الخفيفة مثل الديتيريوم والهيليوم والليثيوم. بعد حوالي 300 الف سنة برد الكون بما فيه الكفاية (الى بضع مئات من درجات الحرارة) مما سمح الالكترونات الحرة ان تصبح مرتبطة بالأنوية الخفيفة وبهذا تكونت اول الذرات. الفوتونات والنيوترونات الحرة استمرت في انسيابها في الكون، لتقبل وتتفاعل بشكل او باخر مع الذرات في المجرات والنجوم ومعنا ايضا!

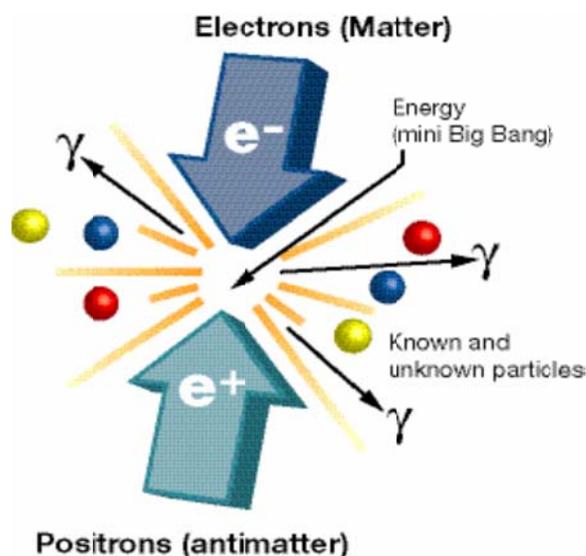


لقد رأينا الان انه لكي نفهم كيف تكون الكون فإننا في الحقيقة نحتاج إلى فهم سلوك الجسيمات الأولية: الكواركات والليبتونات، ومقياس البوزونات؟ هذه هي المكونات التي صنعت منها كل المواد المعروفة في هذا الكون الذي نعيشه.

ابعد من ذلك، فان الكون يخفي على اسرار لا نزال نجهلها على الاقل اثنين منها: وهي المادة المعتممة *Dark Matter* والطاقة المعتممة *Dark Energy*! الكمية الكلية للمادة المضيئة (مثل النجوم وغيرها) ليست كافية لشرح وتفسير الجاذبية الكلية التي نلاحظها للمجرات وبعض الاجرام السماوية للمجرات. بعض من هذه المواضيع الغامضة هو المادة المعتممة يجب ان توجد. وفيما يلي سوف نرى كيف ان انواع جديدة من الجسيمات يمكن ان تكتشف لتلائم هذا الوصف. دليل حديث بين ان تمدد الكون يتزايد بدلا من ان يتناقص يؤدي الى استنتاج ان الطاقة المعتممة الغامضة يمكن ان تكون هي المسؤولة عن ذلك. ربما بعض الاشكال الجديدة للتفاعل مسؤولة عن هذا.

### اذا كيف سوف ندرس الكواركات وامثالها من الجسيمات الاولية الان وهي لم تعد حرة؟

تماما مثل ما حدث في الانفجار العظيم، اذا تمكنا من ان نوفر درجة حرارة عالية جدا، يمكن ان نكون زوج من الكواركات ومضاد الكواركات، بواسطة تحويل الطاقة إلى مادة. (الجسيمات ومضاداتها يجب ان تتكون من ازواج للمحافظة على الشحنة وكمية الحركة الخ).



عندما تتصادم جسيمات المادة ومضاداتها مع بعضها البعض فإنها تصنع ظروفًا مشابهة لتلك التي وجدت في الجزء الأول من الثانية بعد حدوث الانفجار العظيم.



وهنا يأتي دور معجلات الطاقة العالية. في التصادمات المباشرة بين الجسيمات التي تمتلك طاقة عالية مع مضاداتها، ينتج طاقة كاملة في انفجار صغير عندما تتلاشي تلك الجسيمات مع مضاداتها وتخفي. هذه الطاقة تظهر مرة أخرى في صورة جسيمات أولية، مثل أزواج من الكواركات ومضاداتها، أو من أزواج من الإلكترونات والبوزيترونات الخ. الآن الإلكترونات والبوزيترونات يمكن أن تلاحظ كجسيمات منفصلة. ولكن الكواركات ومضاداتها تتصرف مثل نهايتي حبل ويمكنك قطع الحبل وتحصل على حبلين منفصلين ولكن لا يمكنك أبدا أن تقطع الحبل وتحصل على نهايتين منفصلتين. الكواركات الحرة لا يمكن أن تلاحظ!

وعليه عندما ينتج كواك ومضاد الكوارك في تصادم مباشر مع طاقة إضافية (أي أن  $E > 2mq c^2$ ) فإن الكوارك ومضاده سوف ينطلقان في اتجاهين متعاكسين حتى ينقطع الحبل إلى جزئين وكل جزء من الزوج يجد نفسه مرتبط مع كوارك آخر. وعندما نلاحظ زوج من الميزونات قد أنتج فإن كل ميزون يحتوي على كوارك ومضاده مرتبطين مع بعضهما البعض. وتتوفر طاقة إضافية، تنتج مجموعات من الكواركات ومضاداتها: بروتونات ونيوترونات وجسيمات ثقيلة تصنف تحت اسم البيرونات. هذه الميزونات والبيرونات تكونا حديقة من الجسيمات التي اكتشفت من قبل. وما وجدناه حتى الآن هو أنه لدراسة الكواركات يجب علينا أن ننتجهم في تصادمات عالية الطاقة، ولكن لكن سوف نلاحظهما في صورة ميزونات وباريونات. وعلينا أن نستخلص خصائص الكواركات المنفصلة من خلال دراسة اضمحلال وتفاعلات هذه الميزونات والباريونات.

الباريونات والميزونات تحتوي على مجموعة من الكواركات ومضادات الكواركات



## النموذج القياسي Standard Model

علماء فيزياء الجسيمات يعتقدون الان انهم بإمكانهم وصف سلوك كل الجسيمات الأولية داخل نطاق نظرية واحدة تعرف باسم النموذج القياسي Standard Model، تشمل الكواركات والليبتونات وتفاعلاتهم خلال القوى الضعيفة والقوية والقوى الكهرومغناطيسية. قوة الجاذبية هي فقط التي لا توصف بالنموذج القياسي.

النموذج القياسي هو ثمرة نتاج العديد من السنوات من التجارب البحثية والافكار النظرية والمناقشات العلمية. ويمكن تلخيصها على هذا النحو: كل المواد المعروفة في الكون اليوم صنعت من الكواركات والليبتونات، وتماسكت مع بعضها البعض بواسطة القوى الاساسية التي تمثل بالتبادل بين الجسيمات التي تعرف باسم البوزونات المقياسية *gauge bosons*.

احد المبادئ الاساسية التي ادت إلى الافكار الحالية عن طبيعة الجسيمات الاولية كان مبدأ التماثل. الطبيعة تشير إلى طريق الكثير من المبادئ من خلال العديد من التماثلات.

## الكواركات Quarks

تم اقتراح مخطط الكوارك بواسطة التماثلات التي تترتب فيها مجموعات الميزونات والباريونات. الفيزيائيون النظريون مثل Gell-Mann و Zweig افترضوا وبشكل منفصل في العام 1964 ان ثلاثة مكونات اساسية (وثلاثة مضادات لها) تتجمع بطرق مختلفة طبقا لقواعد التماثلات الرياضية يمكن ان تشرح كل تراكيب الجسيمات. وقد اطلق Gell-Mann على هذه التراكيب اسم الكواركات *quarks* ، والثلاثة انواع هي العلوي والسفلي والغريب. ومن المركبات التي تتكون من الكواركات البروتونات والنيوترونات التي اصبحت واضحة في اواخر الـ 1960 و 1970. في العام 1974، اكتشف جسيم غير متوقع في مركز المعجل الخطي في ستانفورد SLAC (Stanford Linear Accelerator Center). وقد اعطي اسم *J/Psi*، لأنه اكتشفه جاء متزامنا بواسطة فريقين بحثيين! الجسيم *J/Psi* فيما بعد اظهر انه يرتبط بحالة مختلفة تماما عن زوج الكوارك ومضاد الكوارك، والتي بالرغم من ذلك تم توقعها بناء على ظاهرة خفية. الكوارك الرابع سمي الساحر (وهنا لا نود ان نعلق عن اسباب اختيار هذه التسميات!)



مخطط الكوارك الرابع توسع ليشمل 6 حالات المعروفة الان بإضافة زوجين جديدين، بواسطة التوقعات النظرية التي قام بها الفيزيائي النظري Cabbibo بشكل مستقل، وكلا من Kobayashi و Maskawa (باسم مشترك يجمع اول حرف من كل عالم على النحو CKM). وبالتالي الان لدينا ستة كواركات هي الفوقي والتحتي والغريب والساحر والسفلي والعلوي وكل واحد له مضاد. الكواركات عادة ما يرمز لها بالاحرف  $u, d, s, c, b, t$ . وبتراكيب مختلفة تتكون كل الميزونات والباريونات التي تم اكتشافها. تحقق توقعات وجود الكواركات الستة عندما اكتشف في العام 1977 ميزون ثقيل يعرف باسم *Upsilon* في مختبر فيرمي وعرف بعد ذلك انه مرتبط بحالة زوج من الكوارك السفلي ومضاد الكوارك السفلي. الميزون B، يحتوي على مضاد كوارك سفلي وكوارك فوقي او كوارك تحتني وقد اكتشف بواسطة تجربة CLEO في Cornell في العام 1983. وفي النهاية في العام 1998، دليل قوي على وجود كوارك علوي ثقيل تم الحصول عليه في مختبر فيرمي.

## الليبتونات Leptons

ماذا عن الليبتونات؟ فقط الالكترون والميون والنيوترينو عرفت قبل العام 1960. وهذه لها سلوك مختلف عن الميزونات والباريونات. في البداية، هم اقل كتلة. فكتلة الالكترون حوالي 2000 مرة اقل من كتلة البروتون. النيوترينو تقريبا لا يمتلك كتلة، وحتى قريب كان الاعتقاد السائد ان كتلة النيوترينو تساوي صفر. وعليه فان الاسم لبيبتونات او الجسيمات الخفيفة. ثانيا، يتفاعل الالكترون والميون مع المادة من خلال الشحنة التي يمتلكها، النيوترينو متعادل كهربيا. كل الليبتونات تتفاعل تفاعلا ضعيفا مع نواة المادة وفي تصادمات الطاقة العالية، ولا تنتج بشكل كبير ميزونات جديدة وباريونات مثلما تفعل البروتونات والنيوترونات عندما تتصادم مع النواة. في العام 1962، التجربة الاولى التي استخدم فيها شعاع نيوترينو عالي الطاقة (رسالة الدكتوراه لمؤلف هذا المقال) بينت ان الالكترون يمتلك الكترون-نيوترينو، والميون يمتلك ميون-نيوترينو مختلف. وكانت هذه الدليل الاول لإمكانية وجود عائلات او اجيال من ازواج الجسيمات الاولية. هذه الملاحظة تم التوسع فيها في العام 1974، بعد اكتشاف الليبتون الثقيل  $J/\Psi$ ، والذي يعرف باسم تاو  $\tau$ ، والذي يمتلك كتلة تعادل ضعفي كتلة البروتون، ولكن له سلوك مشابه للبتونات الأخرى، يشارك خواص التفاعل الضعيف! وهذا كان اول دليل ان ثلاثة ازواج او عائلات الليبتونات موجودة: الإلكترون والالكترون-نيوترينو، والميون-النتيوتريينو والتاو والتاو-نيوترينو.



**ملاحظة على الكتل والطاقات:** تم تزويد قيم الكتل بدلالة كتلة البروتون. ولان الطاقة ترتبط بالكتلة من خلال المعادلة  $E=mc^2$  فان كتلة البروتون تعطى بوحدة الطاقة وتساوي 938 MeV (مليون الكترون فولت)، الطاقة اللازمة لتكوين البروتون، او بشكل تقريبي 1 GeV (مليار الكترون فولت)، والذي سوف يستخدم فيما بعد كوحدة للطاقة ايضا.

الكواكات والليبتونات تمتلك عزم زاوي يعرف باسم الغزل spin، ويساوي 2/1 وحدة اساسية تسمى فيرميون fermions. الجسيمات التي لها عزم زاوي يساوي صفر او عدد صحيح تعرف باسم بوزونات bosons.

QUARKS	(u) up-quark mass = 0.005	(c) charm-quark mass = 1.5	(t) top-quark mass = 186	Charge = +2/3
	(d) down-quark mass = 0.009	(s) strange-quark mass = 0.16	(b) bottom-quark mass = 5.2	Charge = -1/3
LEPTONS	( $\nu_e$ ) elec-neutrino mass ~ 0	( $\nu_\mu$ ) muon-neutrino mass ~ 0	( $\nu_\tau$ ) tau-neutrino mass ~ 0	Charge = 0
	(e) electron mass = 0.00054	( $\mu$ ) muon mass = 0.11	( $\tau$ ) tau mass = 1.9	Charge = -1

**الجدول 1:** عائلات الكواركات والليبتونات. كل الكتل معطاه بالنسبة إلى كتلة البروتون، والتي تساوي 938 MeV. كل ما هو في الجدول يمتلك غزل (عزم زاوي) يساوي 1/2 وحدة.



على كل حال، السؤال الاساسي لا يزال قائما: لماذا هذه الكواركات واللبتونات، بشحنات وخصائص تفاعل مختلفة. لماذا يوجد ثلاثة اجيال والكثير من الكتل المختلفة؟

## القوى والتفاعلات

يجب علينا الآن أن نعالج القوى الأساسية والتفاعلات الموجودة بين الكواركات واللبتونات المتمثلة في قوة التجاذب، القوى الضعيفة، القوى الكهرومغناطيسية والقوى القوية. ويتحكم في الكون كل من قوى التجاذب والقوى الكهرومغناطيسية. أما عن القوى القوية فتربط بين الكواركات مع بعضها البعض والتي تحمل مكونات النواة (البروتونات و النيوترونات) أما عن القوى الضعيفة فهي المسؤولة عن اضمحلال الإشعاع الناتج من عدم استقرار النواة وتفاعلات النيوترونات مع اللبتونات في المادة.

القوة الفعلية للقوى يمكن مقارنتها بالقوة القوية *strong*، والتي هنا يمكن اعتبارها وحدة القوة (على سبيل المثال = 1). في هذه الحالة فإن القوى الكهرومغناطيسية تكون شدتها الفعلية (137/1). أما القوى الضعيفة فتكون أقل ببلايين المرات من القوى القوية. والأضعف منهم جميعا هي قوة التجاذب. يبدو ذلك غريبا حيث أن قوى التجاذب قوية بشكل كافٍ لتحمل كتلة الأرض والكواكب في مدارها حول الشمس. وكما نعلم أن قوى التجاذب بين جسمين كتلتاهما  $M$ ،  $m$  ويفصل بينهما مسافة  $r$  تتناسب طرديا مع حاصل ضرب الكتلتين وعكسيا مع مربع المسافة بينهما.

$$F_G = \frac{GMm}{r^2}$$

من هنا يتضح لنا ما هو المقصود بالقوة الفعلية والتي يمكن أن تعطى بثابت الجذب العام في هذه الحالة  $G$  والذي يعتمد على الكتل والمسافات. وكذلك الحال بالنسبة للقوى الكهرومغناطيسية بين الجسيمات فإنها تتناسب طرديا مع حاصل ضرب الشحنتين ( $q, Q$ ) وعكسيا مع مربع المسافة بينهما  $r$ .



$$F_{em} = \frac{\alpha Qq}{r^2}$$

ولكن هنا ثابت الجذب العام هو ألفا  $\alpha$  والذي يعبر عن القوة الفعلية، وحساب القوة النسبية لتنافر القوى المغناطيسية وقوى التجاذب بين بروتونين بوحدة الشحنة عن طريق المعادلتين السابقتين نجدها 1036، لذلك فإن البروتونين سوف يتنافران ويتعدان عن بعضهما، وبسهولة يمكن التغلب على قوى التجاذب الضعيفة.

مما سبق يمكننا أن نعبر عن القوى عن طريق نظرية تنتج من التغيير في نوعية الجسيمات تسمى البوزونات المقياسية *gauge bosons*. وهي عبارة عن كم من (مجال القوة).

وعندما تكون الفوتونات حقيقية (كماً من الضوء) وتكون في حالتها المشعة (متحركة) الناتجة من تسارع وتباطؤ الجسيمات فيمكن أن تنتج بوزونات أخرى (كما في الجدول) ويمكن ملاحظتها كجسيمات حقيقية. إن جميع البوزونات لها غزل *spin* إما صفر أو أعداداً صحيحة.

FORCE	Relative Strength	Gauge Boson	Mass (rel. to proton)	Charge	Spin
Strong	1	Glueon (g)	0	0	1
Electromagnetic	1/137	Photon ( $\gamma$ )	0	0	1
Weak	$10^{-9}$	$W^{\pm}, Z$	86, 97	$\pm 1, 0$	1
Gravity	$10^{-38}$	Graviton (G)	0	0	2

**جدول 2:** يوضح القوى وكم هذه القوى بالبوزونات، وتقاس الشحنة هنا بشحنة الإلكترون.

ويطلق على حاملات القوى القوية لفظ الغلونات *gluons*، والغلو *glue* يحافظ على بقاء الكواركات مع بعضها البعض في البروتونات والنيوترونات كما يساعد على تكون النواة. أما حاملات القوى الضعيفة فتنتج من ثلاثة مكونات، وتسمى بوزونات ضعيفة: وهي  $W^{\pm}$  و  $Z^0$ . ويطلق عليها اسم جرافيتونات *gravitons* والتي لها غزل  $spin=2$ .



## التوحيد Unification

بالنسبة لنظرية الكون، اعتبار وجود أربع قوى يعد كبيراً، لماذا لا تكون هناك فقط قوى كونية واحدة؟ فقد دأب العلماء لعقود مضت إلى توحيد هذه القوى الأربع في قوة واحدة، على الأقل تلك التي وجدت في المرحلة الأولية للكون. إن القوى الأربع التي نلاحظها اليوم هي في الأساس جزء من قوة أساسية واحدة، مع ذلك لا يمكننا أن نغفل أن وجودنا يعتمد على وجود الأربع قوى. فلو لم تكن قوى الجاذبية ضعيفة جداً، لوجد فقط ثقب سوداء ضخمة في المجرات، النجوم والكواكب. ولو لم تكن القوى المغناطيسية تتوازي بدقة مع القوى القوية، فإن النواة سوف تتحطم، ما يعني لا ذرات، لا جزيئات في الكيمياء وعلم الأحياء. إن القوى الضعيفة ينتج عنها ظواهر دقيقة، فالاحتراق البطيء لنجوم مثل شمسنا لا يمكن أن يحدث بدون التفاعلات الضعيفة، وانفجارات السوبرنوفا والتي نتج عنها كل العناصر الأثقل من الحديد تعتمد كذلك على التفاعلات القوية للنيوترون، وإشعاعها في باطن الأرض لإبقائه دافئاً.

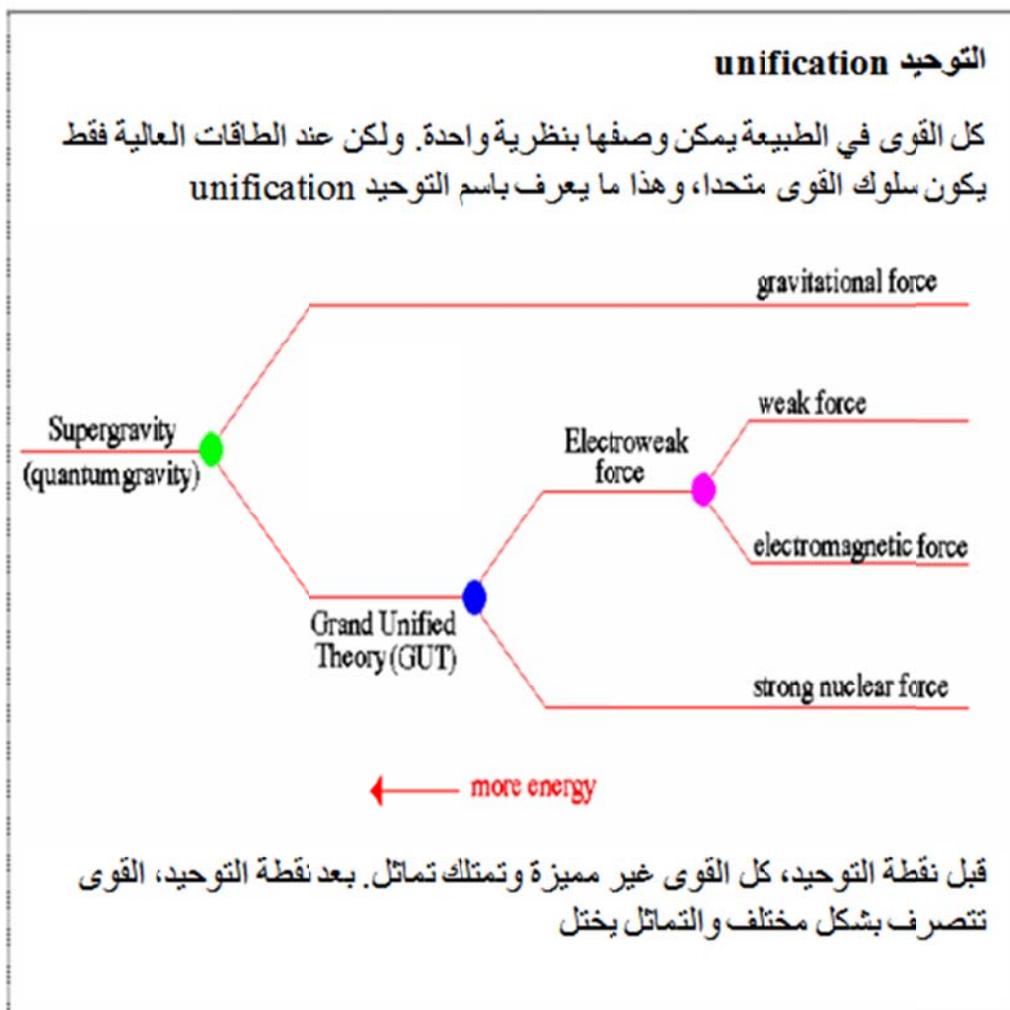
وليس من المعقول أن تخص أربع نظريات مختلفة لحساب هذه القوى. فيمكن تفسير التفاعلات الكهرومغناطيسية للجسيمات على أساس النظرية الكمية الحديثة Quantum Electrodynamics (*QED*). أما التفاعلات الضعيفة فلها نظريتها الخاصة، لكن تم جمع هذه القوى في نظرية واحدة هي نظرية القوى الكهرومغناطيسية الضعيفة Electroweak Theory في النموذج القياسي Standard Model. أما لتفاعلات القوية بين الكواركات والغلوونات فلها نظرية أخرى تسمى النظرية الكمية الصبغية Quantum Chromodynamics (*QCD*)، وذلك لأن التعادل في الشحنات يطلق عليه (لون). وتفسر النظرية النسبية العامة لأينشتاين أن قوى التجاذب هي ظاهرة هندسية في الزمكان space-time.

كما أظهر ماكسويل Maxwell أن القوى الكهربائية والمغناطيسية لهما نفس الظاهرة الأساسية والتي عرفت بالكهرومغناطيسية. ونظرية القوى الكهربائية الضعيفة Electroweak والتي حاز فيها كل من جلاشو Glashow وسلام Salam وواينبرج Weinberg على جائزة نوبل في عام 1979 نجحت في توحيد التفاعلات الكهرومغناطيسية مع القوى الضعيفة في نظرية أطلق عليها Electroweak. وكما نلاحظ أن القوة الفعلية لقوى التفاعلات المختلفة الأربع في جدول 2، أغفلنا أن هذه القوى تعتمد على درجة الحرارة والتفاعلات بين مستويات الطاقة. بالرغم من أن هذه القوى تختلف نوعياً في وجود درجة الحرارة (على سبيل المثال عند 300K أو ما يعادلها من الطاقة حوالي 1/40eV)، إن التفاعلات الضعيفة تعتمد بقوة على الطاقة فعند تصادمات عند حوالي 1000GeV فقط تكون قوية كفاية لتصل إلى القوى الكهرومغناطيسية.



وتفسر نظرية *Electroweak* هذا كله في النموذج القياسي. والمعادلات الأساسية متماثلة في أن كلا التفاعلين موجودان وأن كتل جميع الكمات تساوي الصفر. وعند انخفاض درجة الحرارة فينتهي هذا التماثل وتنفصل الكمات إلى أربع بوزونات مختلفة الكتل:  $W^+$  و  $W^-$  (كلاهما 80GeV)، والكتلة  $Z^0$  (91GeV) وفوتون  $g$  كتلته تساوي صفر.

في درجة حرارة الغرفة فإن الكتل  $W$  و  $Z$  لا تلعب دوراً هاماً، لكن عند طاقة عالية جداً 300GeV أو أكثر فإن الفرق بين كتلة الصفر للفوتون والأثقل البوزونات  $Z$ ،  $W$  يزول، وتكون جميعها متساوية في القوة. في عام 1983 البوزون  $W$  والبوزون  $Z$  تم اكتشافهم في مختبر سيرن CERN في جنيف، عند تصادمات طاقة عالية للبروتونات والبروتونات المضادة، وتم توقع كتلتيهما عندها بدأ النموذج القياسي Standard Model يشق طريقه.





وبعد كل ذلك ما زال جزء مفقود لم يعثر عليه بعد كدليل، وكما ذكرنا فإن نظرية electroweak عند انخفاض درجة الحرارة وانفصال القوى تكسب البوزونات كتلتها. والمسبب لهذا هو مجال جديد يسمى مجال هيجز *Higgs field*، ولنا أن نتصور كيف يحدث ذلك، يجب أن تعلم أن الكتلة الظاهرة هي نتيجة للقصور الذاتي ومقاومة التسارع. فإذا كان مجال هيجز *Higgs field* يتخلل فجأة كل الفضاء وأن الكون يبرد، وان يكون بمثابة سحابة على كل الجسيمات التي تتحرك في الفضاء، وتعتمد السحابة على كيفية تفاعل كل جسيم مع مجال هيجز *Higgs field*، وتظهر هذه السحب القصور الذاتي وبالتالي قابلية قياس كتلة الجسيمات والتي كانت أساساً عديمة الكتلة. والآن يجب أن نبحت عن البوزون الذي يحمل هذه المجال – بوزون هيجز *Higgs boson*. والذي يعتبر من أهم ما يميز النموذج القياسي Standard Model لحسم الأمر. ومن المتوقع أن يمتلك كتلة تقدر بحوالي 100GeV. للوصول إلى أكبر المسارعات في المستقبل القريب.

## ما وراء النموذج القياسي؟

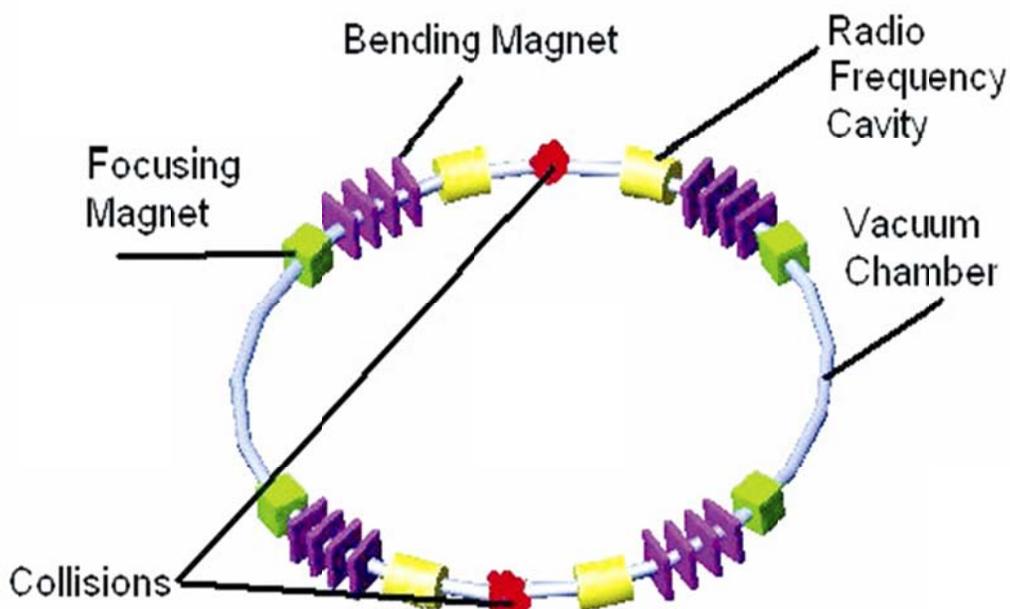
العديد من النظريات والتي تسمى نظريات التوحيد الكبرى Grand Unification Theories أو GUT تعرضت لتوحيد قوى electroweak مع القوى القوية. لكن للآن لم يعثر على دليل ملموس بالنسبة لهم، على المدى البعيد فإن عملية التوحيد منذ فترة طويلة وحدثت قوى الجاذبية مع القوى الأخرى، وقد اجتهد اينشتاين ليضع قوى الجاذبية في نظام بحيث تتناسب مع نظرية الكم، نظرية للتناظر الفائق تتطلب مجموعة جديدة من الجسيمات لتكمل ما بعد النموذج القياسي، وشريك ثقيل لكل كوارك، لببتون وبوزون من النموذج القديم جنباً لجنب لتشكل عائلة من الجزيئات الفائقة super-family. وفي هذه النظرية تتساوى كل من القوى الثلاثة القوية والكهرومغناطيسية والضعيفة عند الطاقة العالية جداً. وبالطبع سوف تعطي التجربة خطوة جديدة للبحث عن جسيمات جديدة. ومن المحتمل أن يكون واحد من هذه الجسيمات الفائقة هو من البقايا البدائية في الانفجار الأعظم Big Bang والتي يشكل المادة المظلمة في الكون، ويشكل حافزاً إضافياً لاكتشاف هذه الأزواج الفائقة super-partners.



في ذات الوقت فإن الدراسات النظرية تبحث على نطاق واسع عن نظرية لكل شيء *Theory Of Everything (TOE)*، والتي تشبه إلى حد كبير نظرية الأوتار *String Theory* بحيث تصور الجسيمات حلقات متناهية في الصغر تهتز في 10 أبعاد. وكذلك نظرية الغشاء *Membrane Theory* والتي تعتب أن الكون بأسره موجود على شكل شرائح متعددة الأبعاد من جسيمات تدور في دورات تركز على الشريحة الأولى والجرافيتونات كناطق للتواصل بين الشرائح وبانتظار اختبار هذه التوقعات.

## تجارب فيزياء الجسيمات

من خلال تجارب الفيزياء، الاكتشافات العملية، الأفكار النظرية والتفسيرات جميعا ترتبط ببعضها البعض، وفي بعض الأحيان تحدث وثبة في إحداها لكن سرعان ما تليها الأخريات. إن الطبقات الحديثة من جدول رذرفورد Rutherford الذي تم تجربته على تشتت جسيمات ألفا لمسافات بعيدة تصل للعديد من الكيلومترات، في جهاز مكلف ضخيم في أنفاق تحت الأرض على طول عشرات الكيلومترات. ما تسمى بمسرعات الجسيمات، والتي تسرع البروتونات، النيوترونات المضادة، الإلكترونات، والبوزونات لتقترب من سرعة الضوء ثم تتصادم مع بعضها البعض أو مع أهداف ثابتة.



في المسرعات يتم تركيز مغناط، ومغناط منحنية لتوجه حزمة الجسيمات حول حلقة ( في الشكل عدد قليل من المغناط المنحنية)، وتقوم تجايف ذات ترددات عالية بأمواف ميكرونية ( $RF$ ) بتسريع الحزم عند المرور من خلالها.

والمطلوب دائماً الحصول على طاقات أعلى وأعلى، لإيجاد زوج من الجسيمات الجديدة وملاحظتها وهي تبتعد، ويجب أن تتولد طاقة فائضة أكثر من أو تساوي ( $2m_x$ ) للزوجين:  $E_{collision} > 2m_x c^2$ . والطاقة العالية كذلك تحتاج إلى مجس أعمق وأعمق لمقياس أصغر لدراسة ما هو غير معروف. وذلك يشبه استخدام أشعة اكس لأطوال موجية أقصر عند فحص تراكيب البلورات الأصغر. وللبحث عن ظاهرة نادرة فمن الضروري زيادة كثافة حزم الجسيمات ومعدلات التصادم. لذلك فإن المسرعات تتقدم بشكل مواز مع الطاقة الأعلى والكثافة الأعلى. ولملاحظة وتفسير نتائج التصادمات، فيجب تطوير كواشف الجسيمات لتساير عملية تحليل الجسيمات التي تبتعد وتختفي خلال أجزاء من النانو ثانية. وتحتوي الكواشف على أنواع متعددة ومختلفة من الأجهزة المعقدة والالكترونيات التي تتطلب كادراً من الخبراء في التكنولوجيا للتعامل معها. وتستخدم تجارب المصادم عدد كبير من الكواشف لتحيط بشكل كامل "نقطة التفاعل" حيث تتصادم الجسيمات ذات الطاقة العالية مع الجسيمات المضادة. يشمل النموذج مصادمات الكترون - بوزيترون، مصادمات بروتون - بروتون مضاد، وكذلك على الكواشف الضخمة لنقاط التفاعل.



وفي تجارب أخرى تتم دراسة تجارب أخرى لتصادم حزم مكثفة مع أهداف صلبة ثابتة. ويشمل هذا النموذج العديد من التجارب مع حزم النيوترونات عالية الطاقة، وكواشف ضخمة لكشف تفاعل النيوترونات. ويدرس العديد تحويل نوع من النيوترونات إلى نوع آخر مثل (*muon-neutrino*) إلى نوع آخر مثل (*tau-neutrino*). الدليل على ذلك أصبح واضحاً بعد عقود من البحث والقياسات الدقيقة والتي خفضت كتلة كل من نيوترون الغير صفيرية. إن وجود بقايا نيوترونات من الانفجار الأعظم والتي توضح الكون، وحتى الكتل الصغيرة جداً يمكن أن تفسر بعض من المادة المظلمة.

إن التقنية العلمية لمسرعات الجسيمات والكواشف تعتمد وبشدة على التكنولوجيا، تكنولوجيا أجهزة المواد الصلبة، المغناط فائقة التوصيل، الكترنيات، حواسيب ومواد أخرى غريبة، وتلعب كلها دوراً في تطوير فيزياء الجسيمات التجريبية، وبعض الأحيان تؤدي إلى اختراعات.

بنيت كل هذه الكواشف المعقدة جداً وتمت عن طريق عدد كبير من علماء الفيزياء، في تنافسات بين 100 إلى 1000 شخص تقريباً. هذا التنافس يمتد إلى خارج نطاق الدولة، ويمثل نموذجاً لتزايد العلوم والتعاون والصدقة عبر الحواجز الوطنية والسياسية.

## نظرة للمستقبل

إن أحد أهم الأهداف هو رفع مستوى مختبر فيرمي Fermilab بالقرب من شيكاغو التيفاترون (the *Tevatron*)، وسيرن في جنيف في سويسرا ( مسارع الهيدروجين الكبير) هو العثور على بوزون هيجز *Higgs boson*، العنصر المفقود في النموذج القياسي Standard Model هو الدليل على الأزواج الفائقة التناظر للجسيمات المعروفة وهو هدف كل التجارب كجزء من البحث عن نظرية حقيقية للجسيم ما بعد النموذج القياسي Standard Model. وبعد ذلك نحتاج للعثور على شيء يمكن أن يشير إلى نقطة توحيد حقيقية مع قوى التجاذب.



ويخطط عالميا لنوع مختلف من مصادمات  $e^+ e^-$ ، وهو المصادم الدولي الخطي the International Linear Collider أو *ILC*، وهو عبارة عن مصادم خطي عالي الطاقة، من مسرعين خطيين متعاكسين على طول عشرات الكيلومترات. التحديات لهذه التقنية كثيرة والتي ستؤدي إلى تعاون حقيقي على مستوى العالم.

تمت الترجمة في المركز العلمي للترجمة

[www.trgma.com](http://www.trgma.com)

21-12-2010