المملكة العربية السعودية
وزارة التعليم العالي – جامعة
الدمام كلية العلوم للبنات بالدمام
تخصص فيزياء – المستوى الثامن
مقرر مشروع التخرج

الغوص في أعماق قوانين الطبيعة الأكثر غموضًا..

بوزون هيغز

Dive into the depths of the laws of nature's most mysterious

The Higgs boson

مشروع بحث مقدم للحصول على درجة البكالوريوس في العلوم تخصص الفيزياء

اعداد الطالبتين

أسماء ابراهيم الغامدي ● إكرام علي اليوسف

اشراف الدكتورة : إيمان محمد القرافي

أستاذ مساعد الفيزياء النووية – جسيمات أولية ذات الطاقة العالية بجامعة الدمام

1434 هـ / 2013 م

بِسْمِ اللهِ الرَّحْمنِ الرَّحِيمِ

شكر وتقدير

قال الله تعالى : ﴿ رَبِّ أَوْزِعْنِي أَنْ أَشْكُرَ نِعْمَتَكَ الَّتِي أَنْعَمْتَ عَلَيَّ وَعَلَى وَالِدَيَّ وَأَنْ أَعْمَلَ صَالِحًا تَرْضَاهُ وَأَدْخِلْنِي بِرَحْمَتِكَ فِي عِبَادِكَ الصَّالِحِينَ ﴾ سورة النّمل : 19

بدايًة نحمد الله تعالى على أن وفّقنا للوصول إلى نهاية مسيرتنا الجامعية ، والتي ندعوا الله أن تكون بداية مسيرةٍ أخرى في سبيل العلم النّافع ، ونشكره جلّ في علاه على أن يسّر لنا إتمام هذا البحث على أكمل وجهٍ ، وكان عونًا لنا في جميع أحوالنا ، ونسأله أن يجعله خالصا لوجهه الكريم وأن ينفع به ديننا ووطننا الغالي على قلوبنا .

ثم نتقدم بجزيل الشّكر والامتنان إلى دكتورتنا وأختنا الفاضلة د/ إيمان القرافي ، التي سنظلّ مدينيْن لها بإشرافها على هذا البحث ، وإسدائها لنا نصائحها وتوجيهاتها ، ومساعدتها لنا ببعض المراجع والمعلومات ، فقد كانت عونا لنا حتى أنجزنا البحث على أتمّ وجه ، فجزاها الله خير ما جزى معلمًا عن تلميذه ، ورفعها بعلمها درجاتٍ في الدّنيا والآخرة ، إنّه سميعٌ قريبٌ مجيب الدّعوات .

كما نشكر كلّ من كان عونا لنا في إنجاز هذا البحث ونسأل الله أن يجزيهم عنّا خير الجزاء وأن يرجّح لهم بذلك كفّة حسناتهم ، إنّه سميع الدّعاء .

المحتويات

المحتوى	رقم الصفحة
المقدّمـــــــــــة	1
الفصل الأوّل : تصنيف الجسيمات الأساسية	3
(1 1) مقدّمة	4
(1 2) تصنيف الجسيمات الأساسية	5
(1 3) النّموذج المعياري	6
(1 4) الحقول الكمومية	7
(1 5) التّفاعلات الأربع الرئيسيّة و حاملاتها	8
(1 6) نظريّات توحيد القوى	9
(1 7) القصور في النّموذج المعياري	12
الفصل الثّاني : الكشف عن بوزون هيغز بواسطة المصادم الهادروني الكبير	13
(2-1) مقدّمة	14
(2-2) المادة المظلمة	15
(2-3) بوزون هيغز	17
(2-4) مجال هيغز	17
(2-5) تقرير عن تجربة سيرن	19
(2-5-1) الهدف من التّجربة	19
(2-5-2) نظريّة التّجربة	19
(2-5-3) أدوات التّجربة	20
(2-5-4) خطوات التّجربة	25
(2-5-5) نتائج التّجربة	26
خاتمة	30
المراجع	31

مقدّمة

بِسْمِ اللهِ الرَّحْمنِ الرَّحِيمِ

الحمد لله الإله الأكرم ، الّذي علّم بالقلم ، علّم الإنسان ما لم يعلم ، الذي خلق فسوّى ، وصوّر فأبدع، فاطر السّموات والأرض، خالق النّسم ، موجد الأشياء من العدم ، و صلّى الله على سيد ولد آدم ، المبعوث للعالمين بخير كلام خطّه القلم ، من هدى الله به الخلق ونجى الأمم ، وزكّى النّفوس و بعث الهمم ، وبعد:

لقد تميّز الإنسان بحبّه للتّعلّم و فضوله العلمي عبر العصور و الدّهور، حيث لم يأل جهدًا في نبش أسرار الحياة و سبر أغوار الحقيقة .
ولقد كان القرآن الكريم أوّل كتابٍ في تاريخ البشرية تحدث عن الذّرّة وأجهزتها بمنتهى الوضوح. فقد سبق الكتب العلمية بأكثر من ألف عام ، مبينًا أن الذّرّة ليست أصغر جزءٍ من المادة ، وإنّما هناك ما هو أصغر منها ، فقط عرف العلماء حديثًا ما هو أصغر منها كالإلكترونات و النيوترونات والبروتونات و أخيرًا الكواركات . فهل بعد هذا البيان بيان ؟

فقد قال الله تعالى : ﴿ وَمَا تَكُونُ فِي شَأْنٍ وَمَا تَتْلُو مِنْهُ مِن قُرْآنٍ وَلاَ تَعْمَلُونَ مِنْ عَمَلٍ إِلاَّ كُنَّا عَلَيْكُمْ شُهُوداً إِذْ تُفِيضُونَ فِيهِ وَمَا يَعْزُبُ عَن رَّبِّكَ مِن مِّثْقَالِ ذَرَّةٍ فِي الأَرْضِ وَلاَ فِي السَّمَاء وَلاَ أَصْغَرَ مِن ذَلِكَ وَلا أَكْبَرَ إِلاَّ فِي كِتَابٍ مُّبِينٍ ﴾ سورة يونس : 61

ولا يزال العلماء يبحثون في مختبراتهم عن جسيمات أصغر من الجسيمات المعروفة ، فعلم الفيزياء هو القاعدة الأساسية لمختلف العلوم ، فهو يقدّم التّفاصيل العميقة لفهم كلّ شيءٍ ، بدءًا من الجسيمات الأساسية إلى النّواة والذّرة والجزيئات والخلايا الحيّة والمواد الصّلبة و السّائلة والغازات والبلازما والدّماغ البشري والأنظمة المعقدة والغلاف الجوي و الكواكب و المجرّات و الكون نفسه.

وتعدّ الفيزياء النّووية ذات الطّاقات العالية High Energy Physics جزءًا من الفيزياء ، والتي تهتم بدراسة نواة الذّرّة من حيث دراسة تركيب الجسيمات الأساسية في قلب النّواة (البروتونات والنّيوترونات) وتفاعل الهادرونات مع بعضها و الأنوية مع بعضها ، وكذلك معرفة الجسيمات المخلّقة من التّصادمات بأنواعها المختلفة عند طاقات تصل إلى عدة TeV (10^{12} eV) ، بالإضافة إلى تفسير وتصنيف خصائص الجسيمات الأساسية.

وسنلقي الضّوء في هذا البحث على تصنيف الجسيمات الأساسية (دون الذّرّيّة) ، والتي تندرج تحت أهمّ النّماذج في فهم الكون السحيق ، والقوى الكونية الأربعة التي تحكمها ،ويركزّ هذا البحث على بوزون هيغز الذي هو سبب اكتساب الجسيمات لكتلتها .

و نهدف إلى جعل القارئ مدركا تمامًا لماهيّة بوزون هيغز ، ومعرفةكيفيّة تكوّنه واضمحلاله، ومعرفة الفائدة من الاكتشافات التي تقام في المختبر الأوربّي للأبحاث النّووية (CERN) .

و سنتمكن في نهاية هذه الدّراسة من الإجابة عن بعض الأسئلة التي كانت محيّرةً للعلماء مثل:

"ماهي اللَبنات الأساسية لتكوّن الكون ؟" ، "لماذا بعض الجسيمات دون الذّرّيّة لها كتلٌ ضخمةٌ بينما جسيماتٌ أخرى قد تكون معدومة الكتلة ؟!" ، "ما فائدة اكتشاف بوزون هيغز؟" ، "وهل المادة المظلمة حقيقة ؟ " .

و قد تمّ تقسيم البحث إلى فصلين :

سنقدّم في الفصل الأوّل مراجعةً للجسيمات الأساسية والقوى الرئيسية التي تحكم التفاعلات بين الأجسام. والفصل الثّاني سنتحدث فيه عن المصادم الهادروني الكبير و فائدته في اكتشاف بوزون هيغز المسبّب للكتلة.

و نسأل الله أن يوفّقنا في كتابة البحث و مناقشته ، وأن يكون ذو فائدةٍ علميةٍ للقارئ . وصلّى الله وسلّم وبارك على محمّد وعلى آله وصحبه أجمعين .

الفصل الأوّل

تصنيف الجسيمات الأساسية

1Chapter

Classification of the fundamental particles

(1 – 1) مقدّمة:

(1 – 1) Introduction:

إنّ البحث عن المركبات الأساسية غير القابلة للانقسام ، والّتي تتركّب منها المادة يعتبر من المعضلات الرّئيسية في عالم الفيزياء . ففي بداية هذا القرن اكتشف الفيزيائيون أنّ الذّرّة ليست وحدةً أساسيةً غير قابلةٍ للانقسام ، فكلّ ذرّةٍ تحتوي على إلكترونات تدور حول النّواة ، وتحمل هذه الإلكترونات شحنة كهربائية سالبة .

بعدها اكتشفوا أنّ النّواة ليست وحدةً أساسيةً غير قابلة للانقسام ، فكلّ نواة تحتوي على بروتونات وتحمل شحنة موجبة ونيوترونات متعادلة الشّحنة . وهذه البروتونات والنيوترونات مترابطة بقوة مع بعضها داخل النّواة .

ومع تطوير المعجّلات النّوويّة الضّخمة منذ السّتينات إلى الآن ، وتطوير الكواشف النّوويّة الدّقيقة معها ، أجريت تجارب كثيرة لتفكيك البروتونات والنّيوترونات إلى مركبّاتها الأساسية .

واستطاع الفيزيائيون بتطويرهم المعجّلات النّووية ذات الطّاقات العالية من اكتشاف جسيماتٍ نوويّةٍ جديدة . وإلى الآن اكتشفوا حوالي 300 نوعٍ من الجسيمات ، ويجدون كلّ عامٍ عدة جسيماتٍ جديدةٍ أخرى .

يبدو أنه ستكتشف جسيماتٍ جديدةٍ بتطوير المعجّلات ذوات الطّاقة الأعلى ، كما يظهر أنّه ليس هناك نهايةٌ قريبةٌ لهذه الإكتشافات .

(1 – 2) تصنيف الجسيمات الأساسية :

(1 – 2)Classification of Particles :

أصبح عدد الجسيمات الأساسية بما فيها (الرّنينيات أو الجسيمات غير المستقرة ذات فترة العمر القصيرة جدًا) في وقتنا الحاضر كبيرًا، وقد يصل إلى عدة مئاتٍ من الجسيمات وضديداتها.
وقد قامت محاولاتٌ كثيرةٌ لترتيب أو تصنيف كل الجسيمات الأساسية ترتيبًا يسهّل للباحثين دراستها تبعًا لتنظيمٍ واحدٍ ولمبدأٍ واحدٍ ، كما في حالة الجدول الدّوري للعناصر لمنديليف .

وتصنّف الجسيمات الأساسية كالتّالي :

التّصنيف الأوّل :

قسّمت الجسيمات الأوليّة إلى مجموعتين رئيسيتين و ذلك تبعًا للّف الذّاتي (المغزلي) لها :

1. بوزونات Bosons: هي الجسيمات الّتي تتبع إحصاء بوز أينشتاين ولها كمّية تحرّك لفّيّة ذاتية قيمهاصفر أو من مضاعفات العدد الصحيح أي .... $\hbar , 2\hbar , 3\hbar$ ، ولا تخضع لقاعدة باولي للإستبعاد و تقسم حسب لفّها المغزلي إلى نوعين :
   - بوزونات معيارية ذات لفٍ مغزليٍ قيمته $\hbar$ ، مثل : بوزون W, Z
   - بوزونات عدديّ ذات لفٍ معدومٍ ، مثل بوزون هيغز H^0

2. فيرميونات Fermions: هي الجسيمات الّتي تتبع إحصاء فيرمي ديراك ولها كمّيّة تحرّك لفّيّة ذاتيّة من مضاعفاتٍ فرديّةٍ لأنصاف الأعداد الصحيحة أي... $\hbar \frac{5}{2} , \hbar \frac{3}{2} , \hbar \frac{1}{2}$. وتخضع لقاعدة باولي للإستبعاد ، وهي جسيماتٌ تتكوّن منها جميع المواد في الكون و تنقسم إلى :
   - باريونات Baryons .
   - لبتونات Leptons .

التّصنيف الثّاني:

قسّمت الجسيمات الأساسية حسب كتلتها إلى ثلاثة مجموعاتٍ وهي :

1- اللّبتونات Leptons : وهي الجسيمات الخفيفة مثل الإلكترونات .

2- الميزونات Mesons : وهي الجسيمات المتوسطة الكتلة مثل البايونات .

3- الباريونات Baryons : وهي الجسيمات الثّقيلة مثل النيوكلونات والجسيمات الأثقل .

التّصنيف الثّالث :

قسّمت الجسيمات الأساسية طبقًا لنوع التفاعل إلى مجموعتين وهي :

1/ اللّبتونات Leptons: تدخل في التّفاعلات الضعيفة وتشمل النيوترينو ، الإلكترون ، والمايون.

2/ الهادرونات Hadrons : تدخل في التّفاعلات القويّة وتشمل :

- الميزونات (البايون ، الكايون)
- الباريونات (النّيوترون ، البروتون ، جسيم سيجما ، جسيم لمبدا ، جسيم اكساي)

التّصنيف الرّابع :

يقوم على أساس قوانين حفظ الطّاقة ، لذا فإنّه يساعد على كشف خواص الجسيمات وتجميعها وتسميتها.

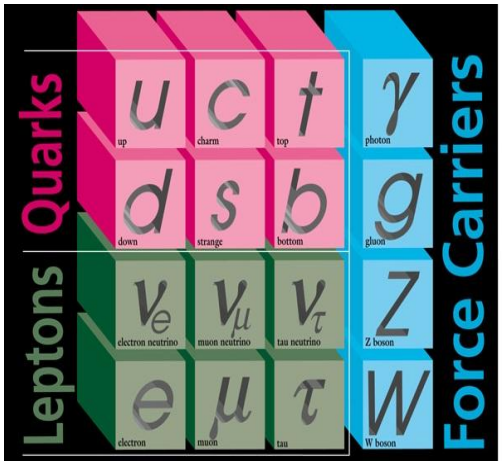
(1 – 3) نظريّة النّموذج المعياري :

(1 – 3) Standard model Theory :

تمّ اعتبار النموذج المعياري كأحد نظريّات الحقل الكمومي (Theory Quantum Fields) ، المتوافقة مع ما استعان به العلماء من نظريّات ميكانيكا الكم والنّظريّة النسبيّة الخاصة لآينشتاين بين عاميّ 1973م و1974م ، بغية تطوير نظريّة النّموذج المعياري و جعلها متكاملة لسبر أغوار الكون .

وحسب هذا النّموذج فإنّ جميع ما في هذا الكون تشكّل بعد الانفجار العظيم - قبل 14 بليون سنة - من خلال إثنا عشرة جسيمٍ أساسيٍ (ستّة لبتونات و ستّة كواركات) وستّةً من حاملات القوى الأساسية وهي عبارة عن بوزونات . و أنّ أيّ شكلٍ من أشكال المادّة ما هو إلّا تفاعلٌ بشكلٍ أو بأخرٍ بين اللّبتونات و الكواركات.

وقد أثبتت التجارب صدق تنبّؤاته بطريقةٍ مدهشةٍ ، وكلّ الجسيمات الّتي تنبّأ بها قد تمّ اكتشافها ماعدا بوزون هيغز المسؤول عن الجاذبيّة.



شكل (1 – 1) : مكوّنات النّموذج المعياري

(4-1) نظريّة الحقول الكموميّة :

(1- 4) Quantum Fields Theory

إنّ النّموذج المعياري ما هو إلّا نظريّة حقلٍ كمومي ، حيث تشكّل الحقول – وهي القوى الرئيسية الأربعة - المكونات الأساسية له ، وتحمل التّموجات الصغيرة لهذه الحقول الطّاقة والعزم من نقطةٍ إلى أخرى ، وتأتي هذه التّموجات على شكل حزمٍ أو كمّاتٍ ، نعرفها في المختبرات بوصفها جسيماتٍ أوليّة، وكموم الحقل الكهرومغناطيسي على سبيل المثال هو الفوتون .

ويقرن النّموذج المعياري حقلًا بكلّ جسيمٍ أوّليٍ رصدته مختبرات فيزياء الطّاقات العاليّة ، فهناك حقول اللّبتونات ويشمل كمومها الإلكترون، الميون و التاو، إضافةً إلى جسيماتٍ حيادية الشّحنة الكهربائيةوهي النّيترينو ، وهناك حقول الكواركات المتنوعة .

(1 – 5) التّفاعلات الرّئيسية التي تحكم الجسيمات الأساسية :

(1 – 5) The Main Interactions that Control the Fundamental Particles :

القوى الرئيسيّة تعرّف بأنّها مجموعة الطّرق الّتي تتفاعل بها الجسيمات الأساسية مع بعضها ، وغالبا ما توصف هذه القوى عن طريق حقولٍ تتوسّطها جسيمات ، وجميع القوى في الكون يعود سببها لهذه التفاعلات الأربعة ، فمثلًا قوى الاحتكاك والمغناطيسيّة و الانشطار النّووي ، وما إلى ذلك فإنّ سببها هو أحد هذه التّفاعلات الأربع الرئيسيّة.

وقد وجد أنّ هناك أربعة أنواعٍ من التّفاعلات الّتي تعمل بين الجسيمات الأساسية ،وهي مرتّبة حسب شدّتها كالتّالي :

1) التّفاعلات النّوويّة القويّة Strong Nuclear Interactions:

هذه التّفاعلات مألوفة أكثر كقوىً تربط مكونات النّواة ببعضها بالرّغم من تماثل شحناتها ، وكذلك كقوىً تربط الكواركات معًا لتكوّن الهادرونات ، و النّاقل للتّفاعل القوي هو الجيليون .

2) التّفاعلات الكهرومغناطيسيّة Electromagnetic Interactions:

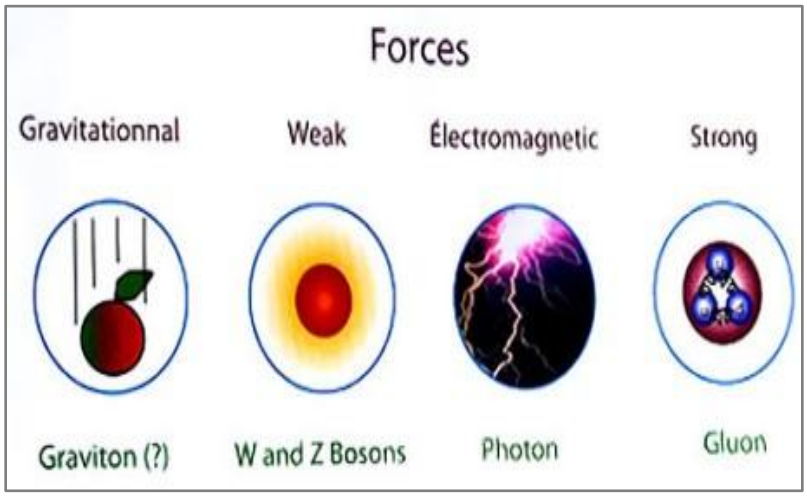
وهذه التّفاعلات تحدث بين الجسيمات المشحونة ، وهي المسبّبة لتماسك الإلكترونات وتكوين الجزيئات ، والجسيم النّاقل للتّفاعل الكهرومغناطيسي هو الفوتون .

3) التّفاعلات النّووية الضعيفة Weak Nuclear Interactions:

إنّ التّفاعلات الضعيفة هي المسؤولة عن اضمحلال كلّ الجسيمات ثقيلة الكتلة ، والتي لها زمن عمرٍ طويلٍ إلى جسيمات خفيفة الكتلة ما عدا Σ^0 $\prod^0$ ، الّتي تضمحلّ طبقًا للتّفاعل الكهرومغناطيسي ، وهي أيضًا تتحكّم في خواص الليبتونات ، والناقل للتّفاعل النّووي الضعيف هو بوزون $W^{\pm}$ وبوزون $Z^{\pm}$.

4) التّفاعلات التجاذبيّة (التثاقليّة) Gravitational Interactions :

وهذه التّفاعلات يظهر أثرها واضحًا بين الكتل الكبيرة كما هو الحال في الكواكب ، بينما يكون تأثيرها مهملًا بالنّسبة للكتل الصّغيرة وإلى الآن لم يتمكّن العلماء من اكتشاف النّاقل لهذا التّفاعل ولكنّ النّموذج المعياري تنبّأ بوجوده وهو الجرافيتون .

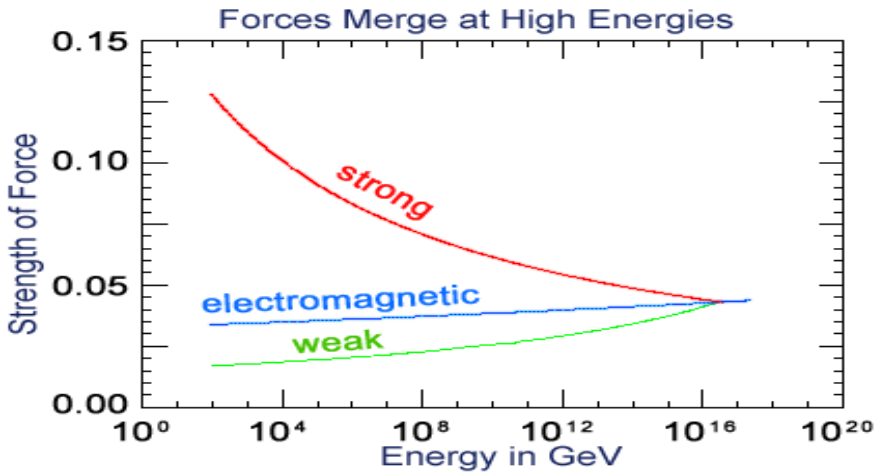


شكل (1 – 2) : التّفاعلات (القوى) الأربعة والناقلات لها

(1 – 6) نظريّات توحيد القوى:

(1 – 6) The Unification of Forces Theory:

يعتقد العلماء أنّ القوى الرئيسيّة تعود إلى أصلٍ مشترك (قوة واحدة)، لذلك هم في سعيٍ دؤوبٍ لتوحيدها، وقد استطاعوا ان يوحدّوا بين القوة النوويّة الضّعيفة والقوة الكهرومغناطيسيّة فيما يسمى بالقوة الكهروضعيفة ، وجرت محاولاتٌ ناجحةٌ لتوحيد ثلاثٍ من القوى وضعوا على أساسها النّموذج المعياري الّذي يصف القوّة النّووية القويّة والقوّة الكهروضعيفة وكلّ ما يتعلّق بها من ظواهرٍ، مهملًا القوّة التّجاذبيّة نظرًا لعدم اكتشاف الجرافتون النّاقل لها ، ويأمل الفيزيائيون من خلال النّظريات الّتي وضعت لتوحيد القوى أن يجدوا نظريّة موحّدة تفسّر سائر القوى الأربع كمظاهر مختلفةٍ لقوّةٍ واحدة .



شكل (1 – 3) : تمثيلٌ بيانيٌ يوضح أن توحيد هذه القوى في قوةٍ واحدةٍ يكون عندما تتفاعل الجسيمات بما يكفي من الطّاقة العالية

أوّلًا: نظريّة التّوحيد الكهروضعيف The electroweak Unification Theory :

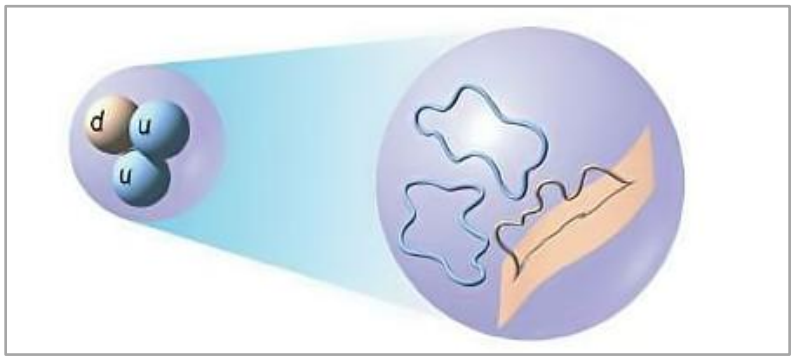
أو ما يسمى بنظريّة الحقل الضّعيف الّتي تمّ وضعها في عام 1979م ، حيث تقوم هذه النّظرية على أنّ القوى الكهرومغناطيسيّة و القوى النّوويّة الضّعيفة قد سبق لهما التوحّد بعيد الانفجار العظيم. وتمّ نجاحها على يد العالم المسلم عبد السّلام وَ وينبرج عام 1969- 1968 م .

ثانيًا : النّظريّة الموحّدة العظمى The Grand Unified Theory :

و هي تجمع بين القوى الثّلاث ماعدا قوّة الجاذبيّة. حيث بيّنت أن القوى (النّوويّة القويّة و النّوويّة الضّعيفة و الكهرومغناطيسيّة) هي في الحقيقة صور لبعضها وتفسرّها نفس القواعد ، وهي مجرّد حالاتٍ مختلفةٍ للشّيء ذاته. حيث أنّ النّواقل المسؤولة عن القوى الثلاث تبدأ بالتّشابه في الخصائص في حال تطبيق حالة الانفجار العظيم. وقد تمّ التّوحيد بين هذه القوى الثّلاث عند طاقةٍ أكبر من 10^5 Gev.

ثالثًا : نظريّة الأوتار الفائقة String Theories :

وتنصّ على أنّ القوى الأربع كانت مجرد قوّةٍ وحيدةٍ سائدةٍ في درجات الحرارة العليا عند بدء خلق الكون، ثم تمايزت إلى القوى الأربع المعروفة لنا اليوم، وتقول النّظريّة أنّ الكون ذو عشرة أبعادٍ والآن أصبحت 11 بعدًا ، على خلاف الأبعاد الأربعة الّتي نحس بها. وأنّ هذه الأبعاد الأخرى متكوّرة على نفسها فهي غير محسوسةٍ لنا، ولا يحصل ذلك إلّا في ظلّ كميّاتٍ هائلةٍ من الطّاقة تحتاج إلى مسرّعاتٍ نوويّةٍ بحجم المجرّة. ومع ذلك لازالت هذه النّظريّة محلّ نقدٍ حيث لم يتم إثباتها علميا .



شكل (1 – 4) : صورة توضيحيّة لنظريّة الأوتار الفائقة

رابعًا : نظريّة كلّ شيء Theory of Everything :

وهذه النّظرية هي الّتي يحاول العلماء إثباتها حيث أنها توحّد بين القوى الأربع الرئيسيّة(النّوويّة القويّة و النّوويّة الضّعيفة و الكهرومغناطيسيّة والتّجاذبيّة) ، أي أنّها تهدف إلى توحيد جميع قوانين الفيزياء ، وينبغي أن تعطينا هذه النظرية فهمًا عميقًا للعلاقات الموجودة بين جميع الجسيمات المختلفة ، وقد ترشحت بعض النّظريات لأن تكون نظريّة كلّ شيءٍ ولكن إلى الآن لم تثبت علميّا .

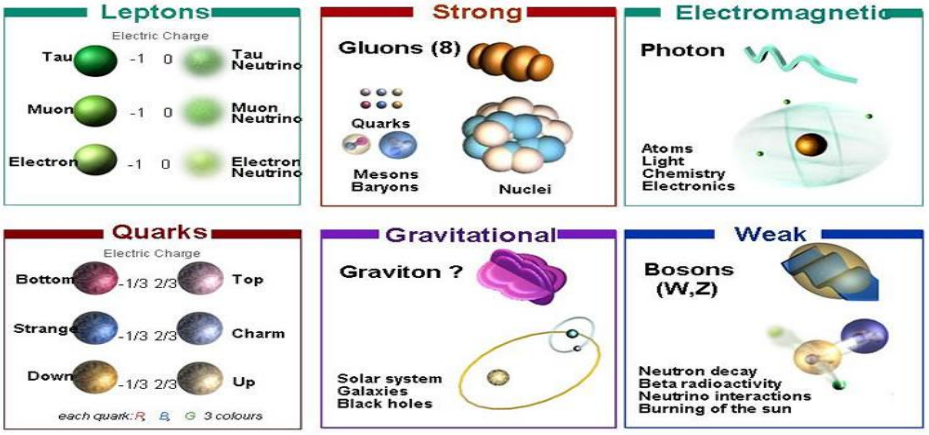
(1 – 7) القصور في نظريّة النّموذج المعياري :

(1 – 7) Deficiencies in the Standard Model :

على الرّغم من أنّ النّموذج المعياري هو أفضل نموذج لوصف الجسيمات حتّى الآن ، إلّا أنّه لم يحن الوقت بعد لاعتباره نموذجًا كاملًا، فنظريًا يتضمّن النّموذج المعياري ثلاثًا من القوى الأساسية ولا تشمل قوى الجاذبيّة نظرًا لعدم اكتشاف الجرافيتونات النّاقلة لها ، فما زال هناك بعض الظواهر الّتي لا يستطيع تفسيرها مثل: "ما سبب حصول المادّة على كتلتها ؟" أو "ما هي أسرار المادّة المُظلمة ؟" ، وغيرها الكثير.

وقد بدأ علماء الفيزياء التّجريبية في المختبر الأوروبّي للأبحاث النّوويّة (CERN) - اختصارًا للعبارة الفرنسيّة (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) - بالبحث عن تفاصيل جديدةٍ حول نظريّة تشكيل الكون المؤلف من 80% من الطّاقة والمادة التي بقيت غامضة ، سعيًا منهم إلى إكمال النّموذج العياري .

ومن هؤلاء العلماء العالم البريطاني بيتر هيغز ، الّذي اقترح وجود جسيمٍ إضافيٍّ أُطلق عليه "بوزون هيغز" ، وربّما عند اكتشافه ستكشف أمامنا حقائق الكون الواسعة .



شكل (1 – 5) القصور في النّموذج المعياري حيث لم يكتشف الجرافيتون بعد

الفصل الثّاني

الكشف عن بوزون هيغز بواسطة

المصادم الهادروني الكبير

2Chapter

Detection of the Higgs boson by

The large hadron collider

(2 – 1) مقدّمة :

(2 – 1) Introduction:

يحاول العلماء اكتشاف أسرار المادة ليعرفوا حقيقة الكون الذي نعيش فيه ويكتشفوا أسراره ، وحاول العلماء إيجاد حلّ لهذه التساؤلات من خلال تفكيك مكونات الذرة ومشاهدة ما تحتويه داخلها.
ولكن المشكلة أن مكونات الذرة صغيرة جداً وتربطها قوى كبيرة جداً لذا لا يستطيعون تفكيكها بهذه البساطة ، ولهذا الغرض أنشأت معجلات الجسيمات وكان لها دورا هاما في حل بعض الألغاز المحيرة للعلماء ومن أهم ومن أهم المراكز التي اهتمت بموضوع المعجلات هو المختبر الأوربي لفيزياء الجسيمات(CERN) .

وأنشأ (CERN) عام 1952م ، ويقع على الحدود مابين فرنسا وسويسرا بالقرب من مدينة جنيف، وبلغ عدد الدول الأعضاء فيه حتى الآن 20 دولة ، يعتبر ومركزا مهما لدراسة فيزياء الجسيمات .
و كانت مهمة (CERN) الرئيسية هي توفير معجلات للجسيمات وغيرها من البنية التحتية اللازمة لأبحاث فيزياء الطاقة العالية. لهذا قاموا ببناء أكبر مسرع (معجل) في العالم المعروف باسم مصادم الهادرونات الكبير(Large Hadron Collider) والمعروف باختصار LHC والذي كلّف نحو 10 مليارات دولار.

وقبل أن نعرف ما هي تجربة سيرن ، هناك حقيقةٌ مهمةٌ جدًا يجب علينا معرفتها :
نعلم بأنّ كلّ ما حولنا في هذا الكون من أحياءٍ وجماداتٍ هو في الأساس مادّة ، ولكنّ هذه المادّة الّتي نظنّها كلّ شيءٍ ليست سوى 4% فقط من الكون الّذي نعرفه ، وأنّ باقي الكون (96%) يتكوّن من أشياء غامضةٍ لا يعرفها العلماء ولا يستطيعون رؤيتها بأجهزتهم وتلسكوباتهم ، ولكنّهم على يقينٍ من وجودها لأنّهم يشاهدون آثارها وهي ما يُدعى بالمادّة المظلمة أو المادّة السّوداء.

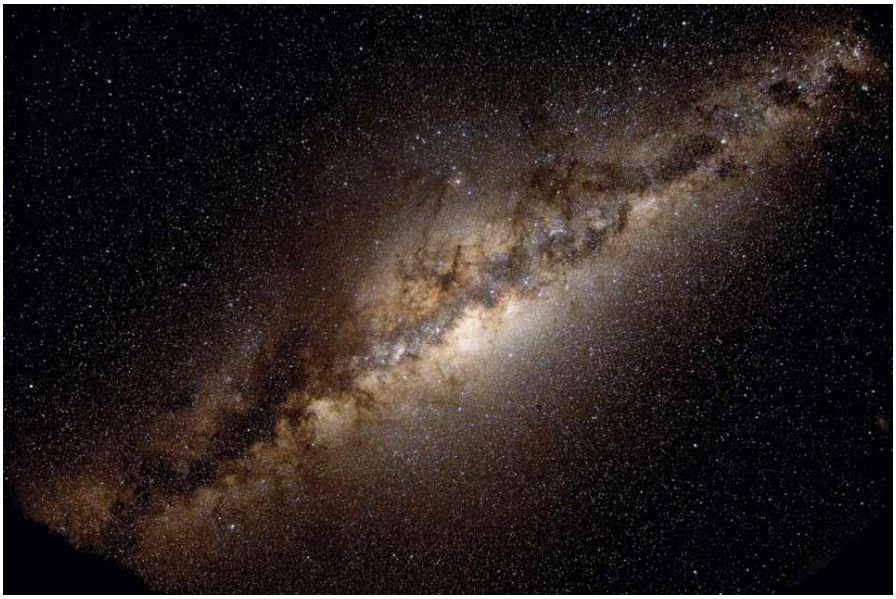
(2 – 2) المادّة المظلمة :

(2 – 2) Dark Matter :

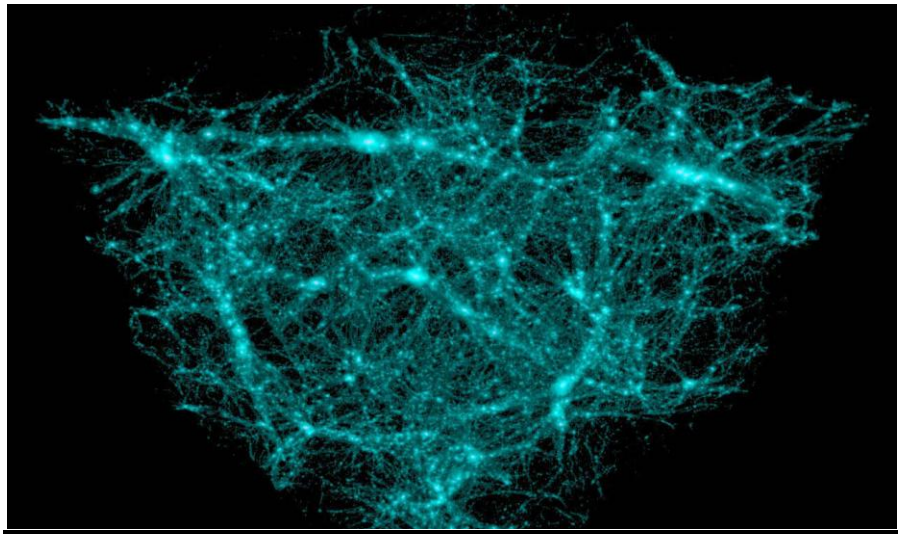
في علم الفلك والكون، المادّة المظلمة هي مادّة افترضت لتفسير جزءٍ كبيرٍ من مجموع كتلة الكون وسرعة دوران المجرّات وآثار الجاذبيّة، ولا يمكن رؤية المادّة المظلمة بشكلٍ مباشرٍ باستخدام التلسكوبات، حيث من الواضح أنّها لا تبعث ولا تمتص الضّوء أو أيّ إشعاع كهرومغناطيسي.
عوضًا عن ذلك، يستدلّ على وجود المادّة المظلمة وعلى خصائصها من آثار الجاذبيّة الّتي تمارسها على المادّة المرئيّة والإشعاع والبنية الكبيرة للكون .

وقد نجح العلماء في تحديد مكانها نظريًّا ، حيث تشكّل هالة كبيرة حول معظم المجرّات وهي سببٌ مباشرٌ في ثبات الكواكب ضمن المجرّة وعدم تناثرها في الفضاء ، ومن ثمّ أثبتوا وجودها بعدما لاحظوا أشعّة الشّمس المنبعثة من المجرّة تنحرف عن مسارها بعد دخولها في سحابة المادّة المظلمة كانحراف الضّوء عند دخوله الماء.
وقد ذكر الله تعالى ذلك في قوله : ﴿ أَلَمْ تَرَ إِلَى رَبِّكَ كَيْفَ مَدَّ الظِّلَّ وَلَوْ شَاء لَجَعَلَهُ سَاكِناً ثُمَّ جَعَلْنَا الشَّمْسَ عَلَيْهِ دَلِيلاً ﴾ سورة الفرقان : 19
وهذا يعني أنّ الشّمس هي الدّليل المباشر والوحيد على وجود المادّة المظلمة .

وتتكون هذه المادّة بشكلٍ أساسيٍ من نوعٍ من الجسيمات الدّون الذّرّيّة و الّتي يُعد البحث عنها أحد أهمّ الجهود في فيزياء الجسيمات في (CERN) ، حيث تمكّنوا بعد دراساتٍ عدّةٍ وأبحاثٍ ضخمةٍ من تفسيرٍ طبيعة هذه المادّة ، ووصفوها بأنّها تتشكّل من كتلٍ متراصةٍ وجسيماتٍ أوليّةٍ أطلق عليها مؤخرًا اسم "نيوترينوس" ، وهي تظهر على الشّاشة في الأجهزة التلسكوبيّة الحديثة وكأنّها سحابةً رقيقةً داكنةً ذات طاقةٍ هائلة .
إلّا أنّ واضعي هذه النّظريّة يعلمون في قرارة أنفسهم أنّه بالرّغم من هذه الاكتشافات لايزال أساس هذا الكون مجهولًا .



شكل (2-1) : صورة للمادّة المظلمة توّضح بأنّها تقوم من خلال قوّة الثّقالة بنحت الكون إلى شبكة من المجرّات



شكل (2-2) : جسيمات نيوترينوس رصدتها التّلسكوبات على شكل ومضات

(2-3) بوزون هيجز :

(2-3)The Higgs boson:

يعتبر بوزون هيجز ثاني لغزٍ يحاول مختبر (CERN) البحث عن حلّه بعد المادة المظلمة ، وقد تنبّأ الفيزيائي البريطاني بيتر هيغز عام 1964م بوجوده في إطار النّموذج المعياري ، حيث يفترض أنّه المسؤول عن طريق ما ينتجه من مجالٍ عن اكتساب الجسيمات الأساسية لكتلتها .

وهناك مشكلةٌ يعاني منها العاملون في مختبر (CERN) في رصد بوزون هيغز ، وهي أنّه لا يمكن وجوده في الظروف العادية ، فمعدّل إنتاجه هو 0,01 حدث لكل ثانية ، مقارنةً بمعدّل إنتاج جسيماتٍ أخرى يتجاوز المليون حدثٍ لكل ثانية في التّصادم نفسه ، فهذه العملية بمثابة البحث عن نملةٍ في وسط صحراءٍ شاسعة .

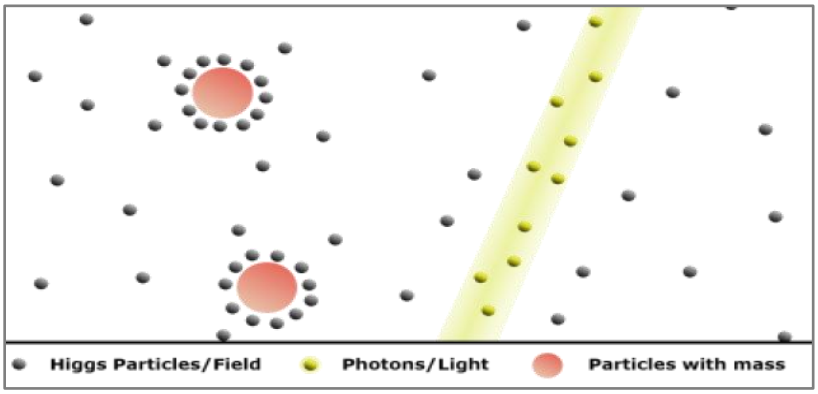
لذا بدأ العلماء في 10 سبتمبر سنة 2008 بإجراء تجربةٍ فيزيائيّةٍ بواسطة المصادم الهادروني الكبير (LHC) تحاكي الانفجار العظيم الّذي نشأ منه الكون ، ليتمكّنوا من رصد هذا الجسيم ويكتمل النّموذج المعياري باكتشافه .

(2 – 4) مجال هيغز :

(4 – 2) Higgs Field and Higgs Boson :

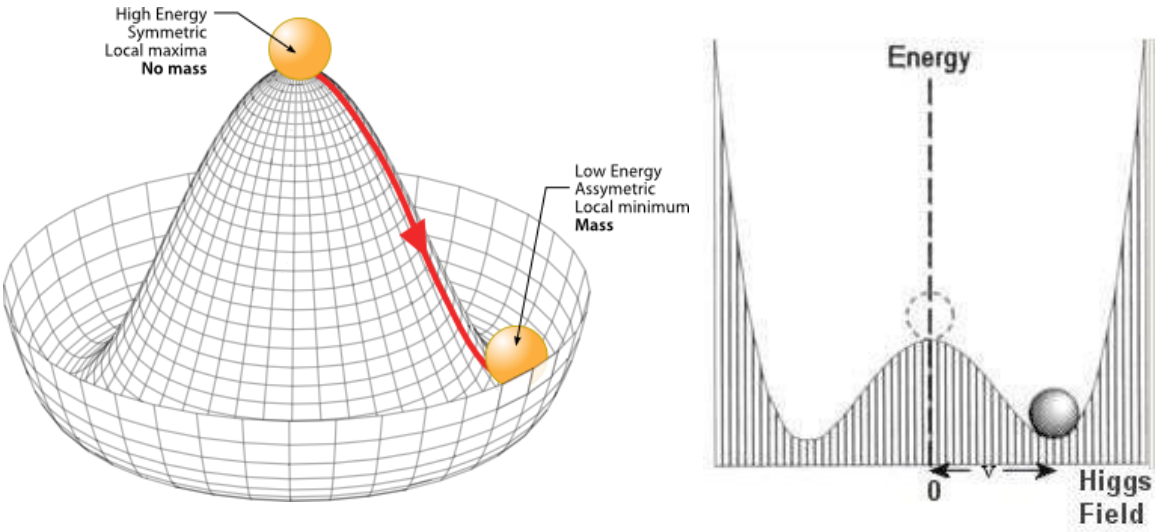
لاحظ العلماء بأنّ كتل الجسيمات الأساسية ليست متساوية ، فمثلًا الفوتون ليس له كتلة ، بينما بوزون W وبوزون Z لهما كتلة تبلغ مايقارب 100 مرةً من كتلة البروتون ، وقد قدم العالم البريطاني بيتر هيغز (Peter Higgs) اقتراحًا لهذه المشكلة ، فافترض وجود وسطٍ ماديٍّ أو حقلٍ طاقيٍّ خفيٍّ ينتشر في الكون وتتفاعل معه الجسيمات دون الذّرّيّة فتكتسب كتلتها ، فالجسيمات الّتي تتفاعل مع مجال هيغز بشكلٍ أكبر تكتسب كتلةً أكبر من غيرها ، أمّا الجسيمات الّتي تمرّ خلال هذا المجال دون أن تتفاعل معها تكون عديمة الكتلة .

وكما أنّ المجالات الأخرى لها نواقلها ، كذلك مجال هيغز له هذه الجسيمات ، ويسمى الجسيم النّاقل لهذا المجال بوزون هيغز ، وهو المسؤول عن اكتساب الجسيمات المتفاعلة معه لكتلتها .



شكل (2-3) : صورة توضيحيّة لمرور الفوتونات (باللّون الأصفر) دون تفاعلٍ مع جسيمات هيغز (باللّون الرمادي) ولذلك لا تملك أيّ كتلة، بينما الجسيمات الأخرى (باللّون الأحمر) تتفاعل مع جسيمات هيغز فتملك كتلة أكبر.

إنّ حقل هيغز في أبسطِ أشكاله هو مجالٌ طاقيّ ، حيث تمثّل أبعاده العلاقة بين الطّاقة الكامنة وشدّة حقل هيغز. و يبيّن الرّسم أدناه وجود جسيمٍ يخضع لمنحنى الطّاقة الكامنة ، فعندما تكون قيمة الطّاقة عاليةً جداً فإنّ الجسيم يكون غير مستقرٍ وبالتّالي كتلتهُ صفريّة ، وللحدّ من الطّاقة الكامنة والاستقرار يقوم الجسيم بالتّدحرج إلى الأسفل ليكتسب كتلة .



شكل (2-4) : منحنى (الطاقة الكامنة - شدة حقل هيغز)
الذي يوضح كيف تكتسب الجسيمات كتلتها سعياً منها للاستقرار

(5-2) تقرير عن تجربة سيرن :

(2-4) Report of CERN Experience :

(1-5-2) الهدف من التّجربة :

(2-4-1) The Objective of the Experiment :

- إيجاد ظروفٍ بيئيةٍ مشابهةٍ لتلك الظّروف الّتي سادت الكون في مراحل تكونه الأولى.
- الكشف عن الجسيم الذي يعتقد بأنه أصل نشأة الكون.

(2-5-2) نظريّة التّجربة :

(2-4-3) Theory of Experience :

تقول نظريّة الإنفجار العظيم بأنّ كلّ مافي هذا الكون من مادّةٍ وطاقةٍ ومكانٍ وزمانٍ عبارة عن نقطةٍ واحدةٍ متناهيةٍ في الصّغر في الحجم ، عاليةٌ جدا في الكثافة والطّاقة ، وقد انفجرت هذه النّقطة فتكوّنت سحابةٌ من الدّخان ومنها تكوّنت الأرض وباقي أجرام السّماء من كواكب ونجوم ونيازك وغيرها ، واستمر الكون بالتّوسع بسرعةٍ هائلةٍ حتى وصل إلى ماهو عليه الآن ، وقد تمت عمليّة الانفجار هذه بسرعةٍ هائلةٍ في فترةٍ زمنيّةٍ صغيرةٍ جدًا .

شكل (2-5) : سحابة الدّخان الّتي يتوقّع أنّها تكوّنت بعد الانفجار العظيم

وقد استخدم العلماء في (CERN) المصادم الهادروني الكبير (LHC) لأجل محاكاة الانفجار العظيم ، فقاموا بتعجيل حزمتين من البروتونات باتّجاهين متعاكسين ، حيث تحقن إحدى الأنبوبتين المفرّغتين بحزمةٍ من البروتونات باتجاه عقارب الساعة ، وتحقن الأخرى بحزمةٍ أخرى باتجاهٍ معاكسٍ لعقارب الساعة ،وتكون الطّاقة الحركيّة لكلّ حزمةٍ 3.5 Tev .

وعندما يحدث التّصادم بين حزمتيّ البروتونات تصبح طاقة التّصادم بين كل بروتونين 7 Tev ، فترتفع درجة الحرارة إلى مائة ألف ضعف من درجة حرارة باطن الشّمس ، ويولّد هذا الاصطدام طاقةً هائلةً تقترب في شدّتها من الطّاقة الّتي نتجت عن الانفجار العظيم، و تكون كافيةً لاندماج الكواركات بداخل البروتونين المتصادمين، ممّا ينتج جسيماتٍ جديدةٍ كتلتها أكبر من كتلة البروتونات، ويتحّول جزءٌ من طاقة البروتونين عند التّصادم إلى مادّة (كتلة) طبقًا للنّظريّة النّسبيّة الخاصة لآينشتاين والّتي صاغها عام 1905م. وهي أنّ الكتلة مكافئةٌ للطّاقة ($\mathbf{E = mC^2}$)

وحيث أنّ كتلة البروتون تبلغ 0.938 GeV/c^2 فإنّ الطّاقة النّاتجة عن التّصادم والبالغة 7 TeV لكلّ بروتونين متصادمين - أي 14 TeV - تكفي لإنتاج أكثر من 7000 بروتون عند تحولّ طاقتهم إلى مادة. وينشأ عن هذه الطّاقة أيضًا جسيماتٍ أوليّةٍ كثيرةٍ ومختلفةٍ ، منها الكواركات والميزونات وغيرها. كما تسمح طاقة التّصادم العاليّة بإنتاج جسيماتٍ أوليّةٍ قد تكون أثقل من البروتون بحوالي 200 مرّة ، وقد تدخل هذه الجسيمات الثّقيلة في تكوين الكون ، أو يكون لها دور في نشأة الكون وتكوينه في الماضي ومن أهمّها بوزون هيغز .

(3-5-2) أدوات التّجربة :

(2-4-2) Tools of Experiment :

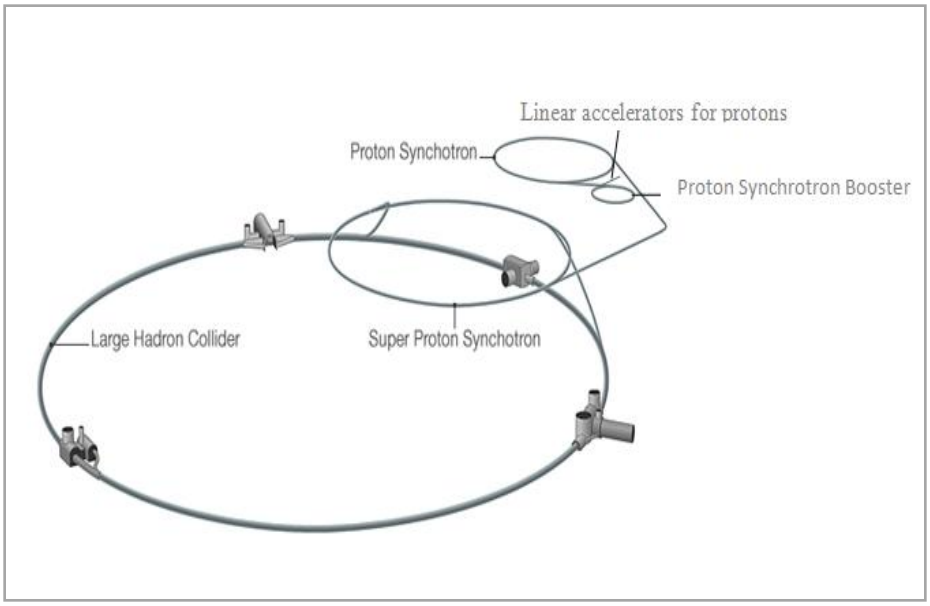
المصادم الهادروني الكبير (LHC) – حزمٌ من البروتونات – مولّدات طاقة – كواشف

❖ ***المصادم الهادروني الكبير (LHC) Large Hadron Collider :**

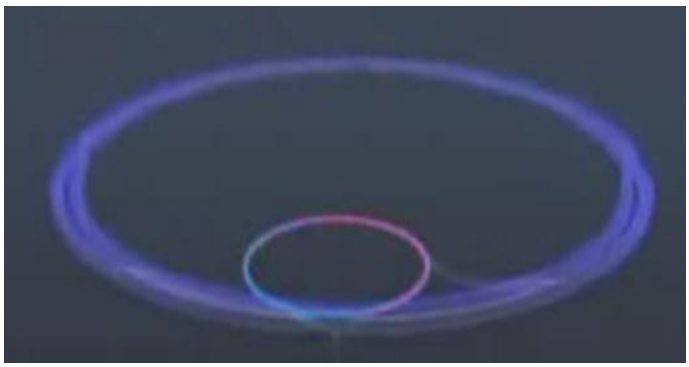
تستلزم تجربة (CERN) استخدام (LHC) ، وكذلك استخدام عدّة أنواع من المعجّلات للجسيمات الثّقيلة المساعدة له وهي معجّلات السّينكروترون Synchrotron والتي تشتمل على :

- المعجّل الخطي للبروتونات Linear Accelerators for Protons
- معجّل البروتونات الدّاعم The Proton Synchrotron Booster
- معجّل البروتونات The Proton Synchrotron (PS)
- المعجّل الفائق للبروتون Super Proton Synchrotron (SPS)

و أخيرًا يأتي دور (LHC) وهو أضخم معجّلٍ للجسيمات ، و يستخدم لإجراء تصادماتٍ بين الجسيمات بطاقةٍ تصل إلى 7 TeV ، و يحتوي على حلقةٍ دائريّةٍ كبيرةٍ يبلغ محيطها 27 km على عمق 175 m تحت الأرض ، بحيث لا تصل إليه أشعةً كونيةً تشوّش على قياساته ، وهذه الحلقة مكوّنةٌ من أنبوبتين مفرّغتين لتسير فيهما حزمتين من البروتونات باتّجاهين متعاكسين لتصطدم مع بعضها في مواقع معيّنةٍ تسمى كواشف ، وتحتوي هذه الحلقة أيضًا على مغناطيسٍ فائق التّوصيل وعددٍ من الهياكل لتعجيل البروتونات . و يحتوي (LHC) على ما يُقارب 96 طنًّا من الهيليوم السّائل ، للإبقاء على درجة حرارة تشغيل المغناطيس 270 درجة تحت الصّفر المئوي ($4K^0$) ، جاعلًا من (LHC) أكبر وحدة تبريدٍ فائقٍ في العالم بما يحتوي عليه من سائل الهيليوم المبرّد.



شكل (2-6) : رسمٌ تخطيطيٌّ يوضح المصادم الهادروني الكبير (LHC) والمعجّلات المساعدة له



شكل (2-7) : صورةٌ توضيحيّةٌ للأنبوبتين الموجودتين داخل (LHC)

❖ مولّدات الطاقة The Power Generators :

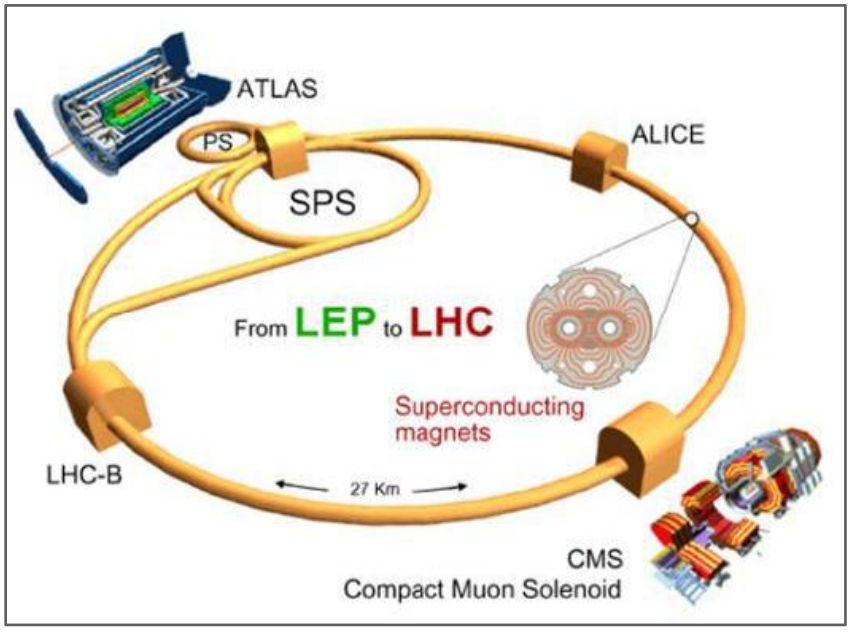
في داخل (LHC) تسير حزمتيّ البروتونات تحت تأثير مجالٍ كهربائيٍّ يعمل على زيادة سرعة البروتونات، ومجالٍ مغناطيسيٍّ قويٍّ فائق التّوصيل ، حيث تستخدم الآلاف من المغناطيسات بأنواعٍ وأحجامٍ مختلفةٍ لتوجيه حزمة الجسيمات في المعجّل ، وتشتمل على 1232 مغناطيسًا ثنائيّ القطب على طول 15 مترًا تعمل على انحناء حزمة الجسيمات أثناء سيرها ، و 392 مغناطيسًا رباعيّ القطب تعمل على ثبات عرض حزمة الجسيمات ومنعها من التّشتّت .

وقبيل التّصادم يستخدم نوعٌ آخر من المغناطيس للضّغط على الجسيمات القريبة من بعضها لزيادة فرص التّصادم ، وصغر هذه الجسيمات يساعدها أيضًا على أن تصطدم ببعضها .

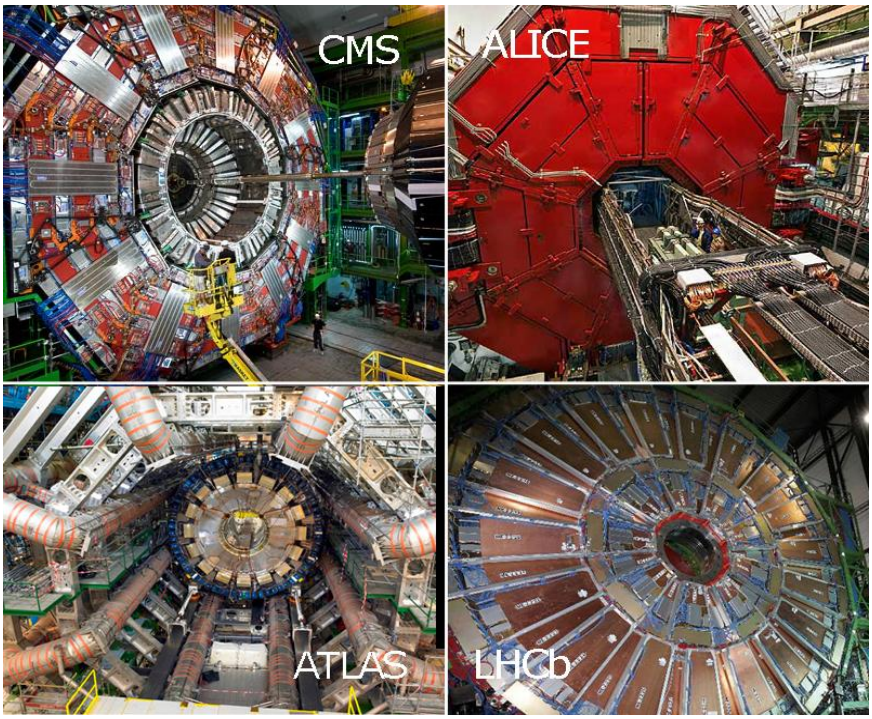
❖ الكواشف The detector:

يتمّ رصد نواتج التّصادم بواسطة أربعة كواشفٍ مزودةٍ بحواسيب ، بحيث تقوم هذه الحواسيب بتحليل مسارات هذه الجسيمات الّتي توضح كيفيّة نشأة الكون وكيفيّة تشكّله وإلى أين سيصل ، وهذه الكواشف هي :

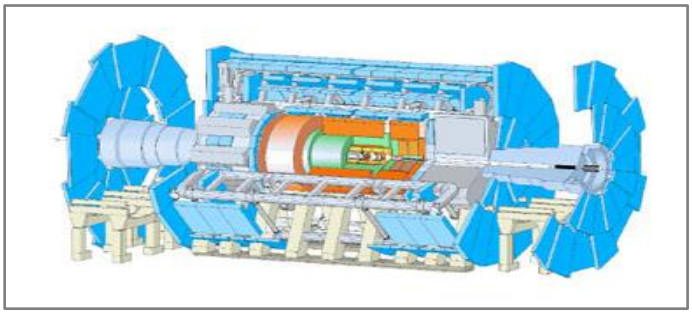
- كاشف أطلس ATLAS
- كاشف الميون المدمج CMS
- كاشف ALICE
- كاشف LHCb



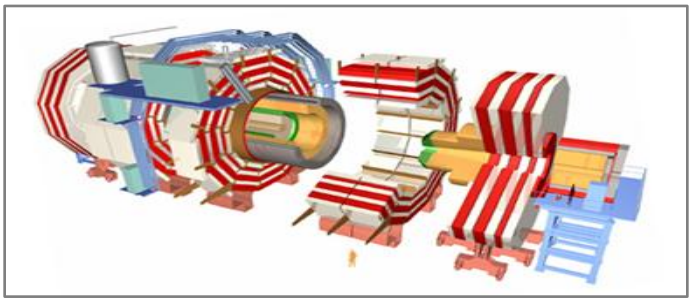
شكل (2-8) : رسمٌ تخطيطيٌّ يوضح الكواشف الأربعة داخل (LHC)



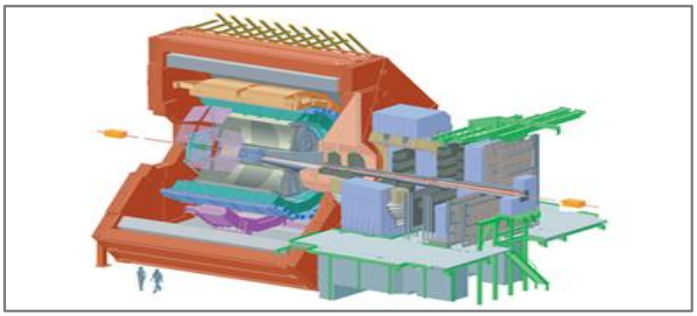
شكل (2-9) : صورٌ حقيقية للكواشف الأربعة داخل (LHC)



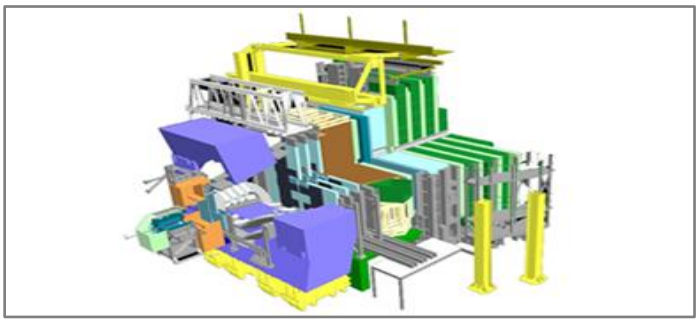
شكل (2-10) : التركيب الداخلي لكاشف أطلس ATLAS



شكل (2-11) : تركيب كاشف الميون المدمج CMS



شكل (2-12) : تركيب كاشف اليس ALICE



شكل (2-13) : تركيب كاشف LHCb المعقّد

(2-5-4) خطوات التّجربة :

(2-5-4) Steps of Experience :

أوّلًا : يتمّ الحُصول على البروتونات من تجريد الإلكترونات الّتي تدور حول ذرّات الهيدروجين وذلك عن طريق إدخالها في المعجّل الخطّي للبروتونات (Linear Accelerators for Protons) الّذي يُعتبر أنبوبًا طويلًا من الأشعّة المهبطية .

ثانيًا : تنتقل البروتونات إلى معجّل البروتونات الدّاعم(The Proton Synchrotron Booster) حيث يُطبق عليها مجالٌ كهربائيٌّ و آخر مغناطيسيٌّ لزيادة كثافتها وطاقتها إلى 1.4 GeV وبذلك تتغلّب البروتونات على التّنافر الذي يحدث بين الشّحنات الموجبة.

ثالثًا : تنتقل البروتونات إلى معجّل البروتونات (The Proton Synchrotron) حيث يتم تسريعها إلى 26 GeV وتصبح كتلتها ثقيلةً جدًا.

رابعًا : تنتقل البروتونات إلى المعجّل الفائق للبروتونات (Super Proton Synchrotron) حيث يتمّ تسريعها إلى 99.99% من سرعة الضّوء لمدة 20 دقيقة .

خامسًا : يتمّ نقل البروتونات إلى المصادم الهادروني (LHC) حيث يتمّ تمرير حزم البروتونات في اتجاهين متعاكسين ليحدث الاصطدام بينهما بطاقة تصل إلى 7 Tev ، فتنتج جسيماتٍ جديدةٍ كتلتها أكبر من كتلة البروتونات كجُسيم هيغز .

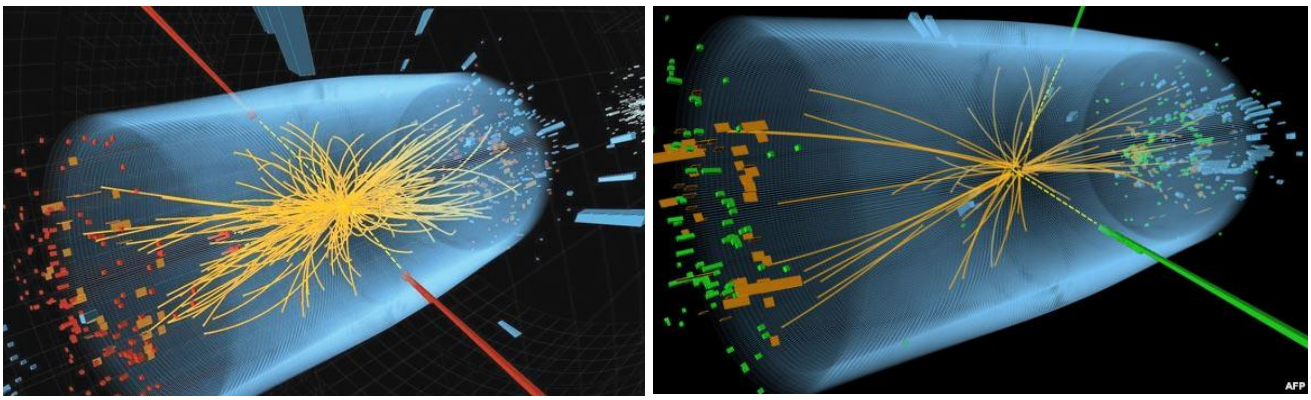
سادسًا : يتم رصد نواتج التّصادم عن طريق الكواشف الأربعة الموجودة في (LHC) .

(2-4-4) نتائج التّجربة :

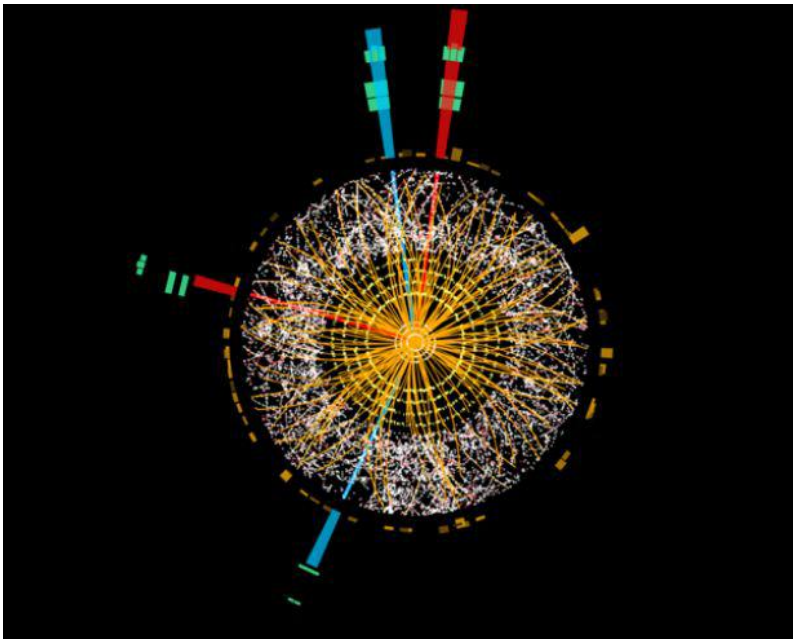
(2-4-4) The Results of Experience :

في 4 يوليو 2012 أعلن كلٌ من ATLA, CMS عن رصد جسيماتٍ لها كتلةٌ عند طاقة 16 Gev ، وقد أُعدّ هذان الكاشفان خصيصًا من أجل التّأكد من قياس كلٍ منهما على حدة ، فإذا سجّل أحدهما جسيمًا غريبًا ذا مواصفاتٍ معيّنةٍ ، يمكن التحقّق من صحة ذلك عن طريق المقياس الآخر.
و تمّ التأكد من أنّ أحد الجسيمات المرصودة يشبه في صفاته بوزون هيغز الّذي تنبأ به النّموذج المعياري.
وتم تحديد صفات هذا الجسيم كما في الجدول التّالي :

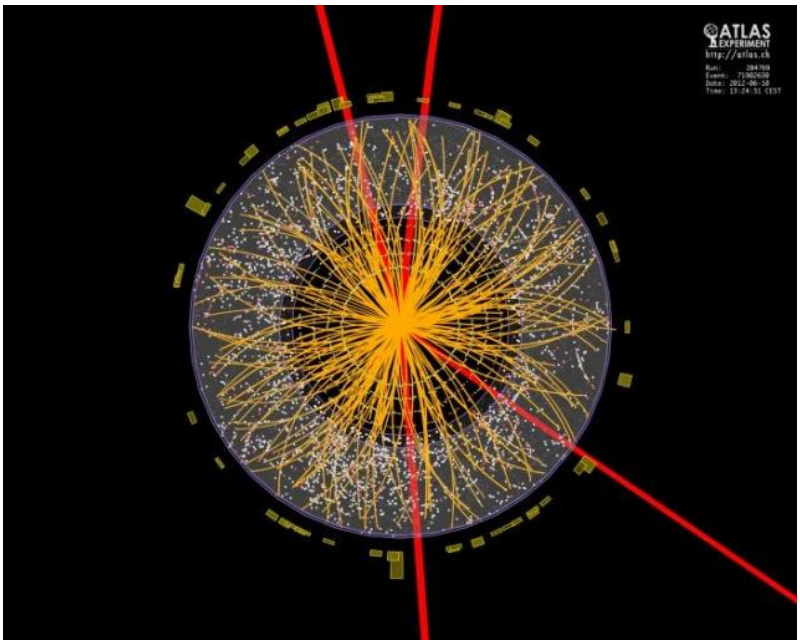
التّكوين	جسيم أولي
العائلة	بوزونات
حالة وجوده	مؤكدة بنسبة 99%
رمزه	H^0
الكتلة	$126.5 \approx 125.3$ GeV/c^2
الدوران (اللّف)	0
متوسط العمر	1.56×10^{-22} ثانية
الشّحنة الكهربائيّة	0



شكل (2-14): اضمحلال بوزون هيغز إلى زوج من الفوتونات (الحمراء) أو زوج من الإلكترونات (الخضراء) في كاشف CMS. و تمثّل الخطوط الصّفراء الكثيرة جسيماتٍ صلبةٍ مشحونةٍ تنتج أيضًا في نفس التّصادم.



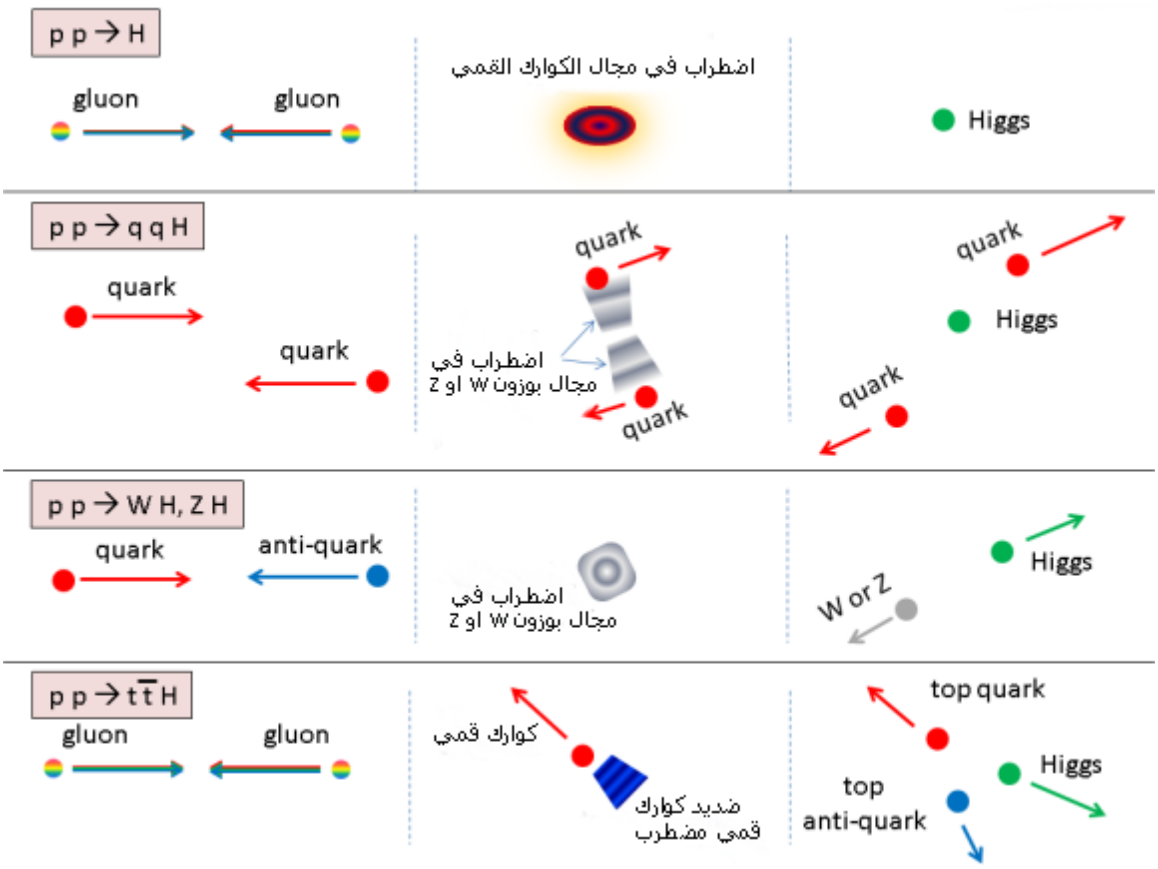
شكل (2-15): اضمحلال بوزون هيغز في كاشف ATLAS
بإنتاج زوج من الإلكترونات و زوج من الميونات.



شكل (2-16): اضمحلال بوزون هيغز في كاشف ATLAS بإنتاج
زوجين من الإلكترونات.

ويظهر بوزون هيغز في تصادمٍ من بين كلّ 70 ألف تصادمٍ أو بمعدل مرة كل 90 ثانية ، و بمجرد تكونه بلحظات يتحوّل الى جسيماتٍ اخرى تاركًا خلفه أثرًا بسيطًا .

ويمكن أن ينتج بوزون هيغز من خلال عمليات مختلفة داخل البروتونات المتصادمة حسب كتلتها كما في الشكل :



شكل (2-12) طرق مختلفة لإنتاج بوزون هيجز في (LHC)

ونظرًا لقصرعُمر البوزون فإنه يتمّ قياس كتلته قبلَ الاضمحلال اعتمادًا على طاقة وعزوم نواتج الاضمحلال .

ومن المتوقع اكتشاف أنواعٍ أخرى من بوزونات هيغز من نظرياتٍ جديدةٍ تتعدى النّموذج المعياري.

خاتمة

إنّ ما تمّ اكتشافه إبّان فجر الكون وحتّى وقتنا الحاضر محيّرٌ للعقول ، فقد بدأ العلماء بالبحث عن مراحل خلق الكون ، ووضعوا نظرياتٍ وأجروا عدّة تجاربٍ لهذا الأمر، ومنها تجربة سيرن بواسطة المصادم الهادروني الكبير حيث قاموا بمحاكاة الانفجار العظيم للكون، واكتشفوا جسيمًا مشابهًا لبوزون هيغز ممّا أكّد صحّة نظريّة الانفجار العظيم.

ومهما كان ما اكتشفه العلماء ، كان للقرآن الكريم سَبْقٌ في الإشارة إلى هذه الظّاهرة الكونية في زمنٍ لم يفكر فيه أحد بهذا الأمر ولم تكن الإمكانيات متاحةً لاكتشافه ، حيث قال جلّ علاه :

﴿ أَوَلَمْ يَرَ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ ﴾ سورة الأنبياء : 20

وقد هزّت هذه الآية العالم الرياضي الأمريكي جاري ميلر، وقد كان قسًّا و مهتمًا بدعوة المسلمين إلى المسيحية ، حيث أخذ يفكر كيف لآيةٍ في القرآن الكريم أن تتحدث عن نظريّة الانفجار العظيم الّتي هزّت العالم في منتصف السّبعينات من القرن الماضي؟ فأسلم بسبب هذه الآية.

أما عن تكوّن سحابّة الدّخان فقد قال جلّ علاه :﴿ ثُمَّ اسْتَوَى إِلَى السَّمَاء وَهِيَ دُخَانٌ فَقَالَ لَهَا وَلِلْأَرْضِ ائْتِيَا طَوْعاً أَوْ كَرْهاً قَالَتَا أَتَيْنَا طَائِعِينَ ﴾ سورة فصّلت : 20

وإن دلّ ذلك على شيءٍ فإنّما يدلّ على أنّ القرآن كتاب الله ، أنزله على نبيّنا محمد عليه وعلى آله وصحبه الكرام أفضل الصّلاة وأزكى السلام وأنّ الإسلام هو دين الحق .

فالحمد لله على نعمة الإسلام ونسأله تعالى الثّبات عليه .

المراجع

المراجع العربية :

[1] القرآن الكريم
[2] القرافي ، د. إيمان ، تقنية جديدة للتّفاعلات النّوويّة ذات الطّاقات العالية باستخدام الشّبكات العصبية الإصطناعية، جامعة الملك فيصل ، 2009 م
[3] القرافي ، د. إيمان ، "مقرر فيزياء حديثة (2) " ، المحاضرات 1و2و3 ، مايو، 2013
[4] السماري، عبدالله، وآخرون. الفيزياء الحديثة، كليّ العلوم. جامعة الملك سعود. 2002م .
[5] بشارة، جواد. الكون الحي بين الفيزياء و الميتا فيزياء. لندن، مارس، 2012م
[6] البكري، صلاح، وآخرون. ميكانيكا الكم، القاهرة، دار الفكر. 2005م.
[7] حاجي نايف، نبيل. "مقدمة في فيزياء الجسيمات الأوليّة". مجلة العلوم، ابريل، 2012م.
[8] Smith .L .C، "مصادم الهادرونات الكبير". مجلة العلوم، مارس، 2001م.
[9] محمد، إبراهيم. "تجربة سيرن". عالم الإبداع، سبتمبر، 2008م.
[10] فرج، حازم. "حجبٌ على تخوم الكون". مجلة الباحثون، أكتوبر،2010م.
[11] الحسني، مكّي. "الجسيمات الأولية". الموسوعة العربية، المجلد 7 ص609.
[12] الصابوني، محمد علي، مختصر تفسير بن كثير. المجلّد1، ص 38.
[13] أبو خلف، عزيز، "نظرية الأوتار الفائقة". صيد الفوائد، يوليو، 2012
[14] نصر، عبد الملك ، البحث عن الانفجار الكبير ، جامعة الخرطوم والأكاديميّة السودانية الوطنيّة للعلوم ، مايو 2012
[15] النّجار ، د. زغلول ، محاضرات عن الانفجار العظيم ، اليوتيوب
[16] عبد الله ، باسل ، المصادم الهادروني الكبير (مترجم) ، اليوتيوب

English References :

[1] http://home.web.cern.ch

[2] http://global.mit.edu

[3] http://uanews.org

[4] http://www.williamhenry.net

[5] http://www.ph.ed.ac.uk

[6] http://science.howstuffworks.com

[7] The standard package -The European Organization for nuclear Research

[8] Science Magazine November 2012

[9] http://home.web.cern.ch/

[10] http://en.wikipedia.org