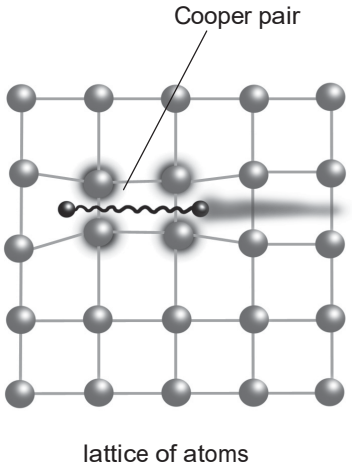


الموصلات فائقة التوصيل الكهربي تستخدم الآن في إنشاء مولدات فائقة الكفاءة، ووحدات تعجيل الجسيمات وماكينات التصوير الطبية. ولكن كل هذه الأجهزة تتطلب تبريد، والبحث الآن يدور حول تطوير الموصلات فائقة القدرة التي يمكن أن تعمل في درجة حرارة الغرفة.

فيزياء الجسيم

معادلة ديراك:

وفرت معادلة شرودنجر وصفًا جيدًا للجسيمات الكمية التي تتحرك ببطء. ولكنها لم تكن جيدة بالنسبة للجسيمات التي تتحرك بسرعة تقترب من سرعة الضوء، والتي أظهر آينشتاين أنها تطلبت نظرية النسبية الخاصة التي قدمها. في 1927، عالم الفيزياء البريطاني پول ديراك قدم نسخة من معادلة شرودنجر، والتي تجسد النسبية لوصف الإلكترون المشحون عالي السرعة. والتي عرفت باسم معادلة ديراك.

تظهر المعادلة بسيطة على نحو مخادع ويمكن حلها بدقة للإلكترونات في ذرة الهيدروچين، ولكن حلها للحالات الأخرى يتطلب تقنيات تقريبية أو أجهزة كمبيوتر.

إن معادلة ديراك كانت البشارة بنقطة البداية في مرحلة جديدة من فيزياء الكم. ليس فقط أنها تنبأت بوجود متضادات المادة، ولكن- بينما تجسد الوصف الخاص بكل من الإلكترون والمجال الكهرومغناطيسي- فهي قدمت النظرية الأولى للمجال الكمي.

متضادات المادة

عندما درس العلماء للمرة الأولى معادلة ديراك بالتفصيل، وجدوا أنها لا تصف فقط

سلوك الإلكترونات. فإن هناك اثنين من الحلول تنشأ عن رياضيات المعادلة – الحل الأول يصف الإلكترون والثاني يصف جسيمًا مطابق له ولكن بشحنة كهربية معاكسة. الإلكترونات تحمل شحنة سالبة، وهكذا فالجسيم الجديد يحمل شحنة موجبة – ولأجل هذا السبب، تم تسميته البوزترون.

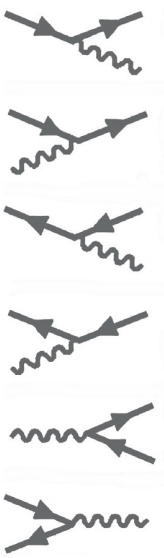
علماء الفيزياء التجريبيين قد وجدوا البوزترون الأول في 1932، فقط بعد أربعة سنوات من نشر معادلة ديراك. والبوزترون معروف الآن على إنه المثال الأول للمادة المضادة. فإن جسيم ضد المادة يكون له نفس الكتلة ولكن له شحنة معاكسة لقرينه من المادة. وعندما يتقابل الجسيم وقرينه يتقابلان ينتج ذلك الإفناء لكل منهما، فتتحول كتلتهما معاً إلى ضوء إشعاع كهرومغناطيسي، معطيا الطاقة التي تحددها معادلة آينشتاين: E= mac2

نظرية المجال الكمي:

إن القوة الكهرومغناطيسية التي تم وصفها في معادلة ماكسويل، أصبحت إحدى القوى الأربعة الرئيسة في الطبيعة والتي تعمل في الكون الذي نعيش فيه. وهي تظهر "التحرك عن بعد" – فالإلكترونات "وأي جسم مشحون آخر" يمكنه أن يشعر بشحنة أي إلكترون أو جسيم قريب منه. هذا التفاعل الكهرومغناطيسي يكون متوسط بواسطة فوتونات الإشعاع الضوئي. وأن الفوتونات تكون الوحدة الكمية للمجال المغناطيسي. والفيزياء التي تصفهم تدعى نظرية المجال الكمية (QFT).

وبدأت نظرية المجال الكمية QFT في 1927 بمعادلة ديراك، بأخذ قيمة المجال حول إلكترون منفرد. وقد تم تطوير النظرية في عقد الأربعينات من القرن العشرين بواسطة فيزيائيين، منهم ريتشارد فينمان وتم التنقيح لإنتاج ما يدعى الآن الكهربية الديناميكية الكمية، وأن نظرية المجال الكمي توفر وصفًا كاملاً للتفاعل بين المادة والإشعاع الكهرومغناطيسي. ولاحقاً، فإن التحدي كان لبناء وصفات كمية للمجالات الأخرى في الطبيعة مثل الجاذبية وتفاعلات القوى القوية والضعيفة.

رسومات ڤينمان



ليس هناك شك أن نظرية المجال الكمية تكون معقدة على نحو مفرط، والحصول على حلول دقيقة للمعادلات الرياضية المطروحة هنا ليس أمر ممكن دائماً. وفي هذه الحالة، يلجأ علماء الفيزياء إلى تقنيات التقريب من أجل الحصول على نتائج رقمية مفيدة. وأن رسومات ڤينمان والتي يتم تسميتها تبعاً لمبتكرها، الفيزيائي الحاصل على جائزة نوبل ريتشارد ڤينمان – كانت واحدة من هذه الطرق. ويقدم كل رسم تفاعل محدد للجسيمات. ولقد توصل ڤينمان إلى قواعد لتحويل شكل الرسم إلى رياضية بسيطة نسبياً والتي تصف العملية كما تظهر. مقدماً الحسابات الكمية ومن ثم تم استخدام رسومات ڤينمان لكافة التفاعلات المعنية، محولاً هذه التفاعلات إلى مصطلحات رياضية ومقدما الصياغة الكاملة لها.

القيام بإعادة التطبيع

حتى باستخدام رسومات ڤينمان لا يمكن دائماً جعل رياضيات نظرية المجال الكمي ممكنة الوصول. أحياناً الأرقام التي تنتج من الحسابات تكون غير واضحة – متنبئة بان قيم العالم الحقيقي من الكميات الفيزيائية ترتفع لتصبح لانهائية. وأن هذه الكوارث الرياضية تعرف باسم "الاختلافات والإنحرافات".

إعادة التطبيع تكون المخطط الرياضي للتخلص من قيم الإنحرافات غير المطلوبة.

عندما تم استخدام ذلك للمرة الأولى، في الدنياميكا الكهربية الكمية، رد الفعل لها كان مختلط، حيث العديد من الفيزيائيين اعتبروا ذلك مكافئ لكيفية وضع جسم مربع داخل ثقب دائري بمساعدة شاكوش ضخم. وأن ريتشارد ڤينمان الحاصل على جائزة نوبل سمى ذلك "عملية الإقحام" و"hocus pocus". ومع ذلك، فالحقيقة البسيطة هي أنها تعطي الإجابات الصحيحة. ولاحقاً النظريين أصبحوا يرتبطون بعملية إعادة التطبيع.

فهم وجدوا أنها يمكن تفسيرها على مستوى الفيزياء، كظاهرة جديدة والتي تسبب لمعايير النظرية إنه تتهرب – لتكون متغيرة مع طاقة الجسيم محل الدراسة.

القوة الضعيفة:

إن القوة الضعيفة تكون واحدة من أثنين من التفاعلات الرئيسة للطبيعة والتي تعمل بين الجسيمات داخل انويه الذرات، وهي تسمى بهذا الاسم لأنها أضعف 100 بليون مرة من القوة الكهرومغناطيسية التي تصفها معادلات مكسويل والديناميكا الكهربية الكمية. حيث أن الكهرومغناطيسية تكون متوسطة بفوتونات المجال الكهرومغناطيسي، وأن حاملات القوة الضعيفة تكون معروفة ببساطة على أنها W & Z. كلاهما جسيمات ضخمة، ذات عزم مغزلي –1. وأن الجسيمات W تحمل نفس الشحنة مثل الإلكترون – ولكن أما تكون موجبة أو سالبة. أما الجسيمات Z فهي جسيمات غير مشحونة. كل من W & Z قد تم اكتشافهما تجريبياً في معجِّلات الجسيمات.

القوة الضعيفة تكون مسئولة عن الاضمحلال الإشعاعي لنواة الذرة وهي توصف على المستوى الكمي بنظرية الكهربية الضعيفة electroweak الموحدة، والتي تم صياغتها في عقد الستينات من القرن العشرين. وهي تكون ذات مدى قصير على نحو مفرط – ولا توجد خارج نواة الذرة. ومن أجل هذا السبب، فإن القوة الضعيفة تكون ظاهرة كمية خالصة، وهي غير مشابهة للكهرومغناطيسية، فهي ليست مشابهة للنظريات النظيرة الكلاسيكية أو تلك الخاصة بالمقياس الكبير.

الكوارك:

البروتونات والنيترونات أي الجسيمات التي تكون منها نواة الذرة، تكون هي نفسها مكونة من وحدات أصغر، والتي تسمى كوارك. والكوارك يظهر في ثلاثة "صور" والتي تسمى بالحروف u, d & s. والتي تتحرك لأعلى ولأسفل بشكل غريب..

البروتون والنيترون كل منهما مكون من ثلاثة من هذه الكوارك – البروتونات تكون مكونة من 2 كوارك U و1 كوارك d، والنيترون يكون مكون من 2 كوارك d و1 كوارك s

بالاضافة إلى u, d & s تكون هناك ثلاث صور إضافية للكوارك وهي c, t & b – والتي تعبر عن " السحر charm" و"أعلى" و"أسفل".

الكوارك تكون فيرمونات، والتي لها عزم مغزلي 2/1 وتكون الشحنة الكهربية مساوية للعدد الكلي مضروب في e/3. صور الكوارك الستة يمكن لأي صورة منها أن تتحول للصورة الأخرى بواسطة القوة الضعيفة والجميع تم اكتشافهم على المستوى التجريبي.

نموذج الكوارك قد تم وضعه على نحو مستقل في 1964 بواسطة موري چيل-مان وچورج زويج. وقد صاغ موري چيل- مان الاسم من اقتباس من قصة چيمس چويس "ثلاثة كواركس للعلامة الرئيسة"

القوة القوية:

القوة القوية تم تسميتها هكذا بسبب أنها تكون 100 مرة أقوى من القوة الكهرومغناطيسية – وهي التي تربط الكواركس معاً لإنتاج البروتونات أو النيترونات، وبدورها هذه العناصر ترتبط لتكون الذرة، وهي تكون متوسطة بمجال الكم للجسيمات عديمة الكتلة ذات العزم المغزلي -1 والتي تسمى جالونس gluons، وتحكم نظرية مجال الكم سلوكها والتي تكون معروفة بالدنياميكا اللونية الكمية (QCD).

وأن بادئة الكلمة "لوني" تأتي من حقيقة أن الكوارك تملك شحنتها الخاصة والتي تسمى ألوان. وهي بشكل ما مشابهة للشحنة الكهربية، ولكن بصورة أكثر تعقيداً حيث أنها تأتي في ثلاث أنواع الأحمر والأخضر والأزرق – واي منها يمكن أن يكون إيجابي أو سلبي (على سبيل المثال، هناك لون أحمر وهناك ضد الأحمر). أن لون QCD ليس له علاقة باللون في العالم الحقيقي- إنه مجرد اسم اعتباطي لتحديد مبدأ الكوارك. كما في القوة الضعيفة، التفاعل القوي يحدث فقط في مدى قصير للغاية، مدى لمقياس كمي، وذلك يعني أن لا شبه له في القياس الكلاسيكي.

عائلات الجسيمات:

إن فيزياء الجسيم تعمل على تجميع الجسيمات معاً طبقاً لخصائصها، والعديد من المجموعات

أو الجسيمات غير الذرية توجد. الفيرمونات والبوسونات ومجموعات الجسيمات طبقاً للعزم المغزلي الكمي، توفر جميعاً مثال لذلك. جسيمات Hadrons & leptons تكون مختلفة: فإن هادرونسHadrons استنتج تكون جسيمات تشعر بالقوة القوية، أما جسيمات ليبتونس leptons فهي تشعر بكل أنواع القوى فيما عدا القوى القوية. وتشمل جسيمات ليبتونس الإلكترونات مع المونس والتونس.

باريونس أيضاً تكون مجموعة فرعية وهي جسيمات تحتوي ثلاثة كوراك. وتشمل هذه العائلة البروتونات والنيترونات - وهي تشكل مجموعة لما يمكننا أن نسميه " المادة العادية" في الكون. وهناك مجموعة أخرى من الجسيمات غير الذرية وهي الميسون mesons، والتي تتكون من اثنين من الكوارك - والتي هي زوج من الكوارك وهي تشمل الكيونس والبيونس. بعض الفيزيائيين التجريبيين يدعون أن لديهم إثباتات لعائلات جسيمات جديدة، وهم يطلقون عليها "تتراكوارك" و"بنيتاكوارك"، وكل عنصر هو مجموعة من أربعة أو خمسة كواركس على الترتيب.

النيترونات:

النيترونات هي أعضاء من جسيمات عائلة الليبتون، وهم ذو شحنة صفرية وذو كتلة مهملة وعزم مغزلي كمي 2/1 والذي يجعلهم من جسيمات الفيرمونات. وأن فولفجانج باولي أول من أشار لوجودهم في 1930 لتلبية قوانين البقاء المتنوعة في الاضمحلال الإشعاعي. وأول نيوترينو قد تم اكتشافه في 1956.

والنيترينونات تكون جسيمات معروف إنه من الصعب ملاحظتها بسبب أنها لا تتداخل مع أشكال المادة الأخرى. وبالحقيقة، فإن بلايين منها تمر في جسدك من الفضاء كل ثانية بينما أنت تقرأ ذلك. وأن آلات الكشف الحديثة عن النيترينو تكون خزانات ضخمة للماء، ومن العديد من بلايين النيترينو التي تمر من خلال الماء أحياناً بعض أي منها يصطدم بجزء الماء، ويبعث شعاع يمكن قياسه، والذي يطلق عليه "إشعاع سيرنكووڤ".

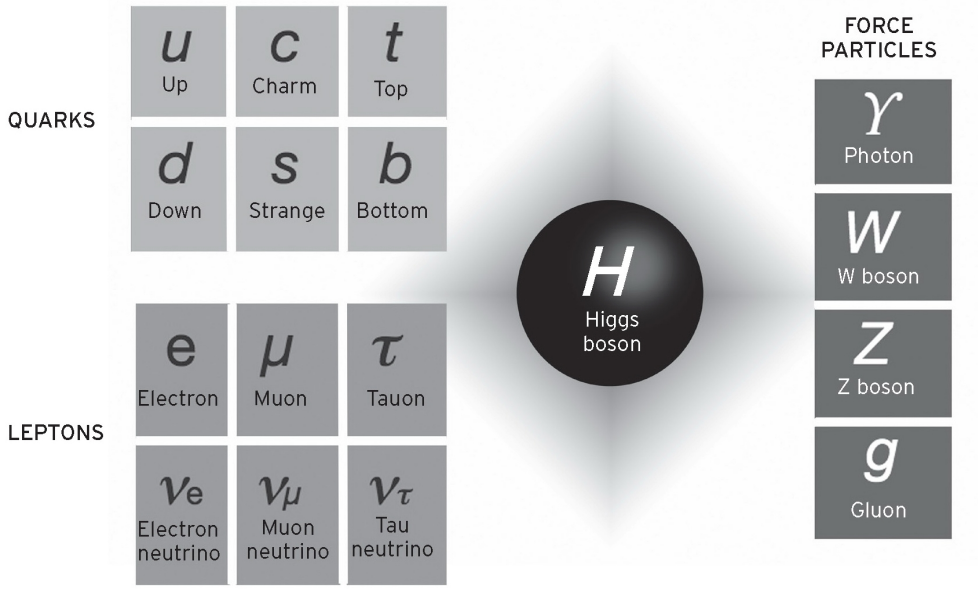
وأن النجوم تصدر نيترينو قبل أن تقوم بعمل ظاهرة السوبرنوفا، وأن اكتشاف هذا السيل من النيترينوات يكون مهم للفلكيين، ليحولوا تلسكوباتهم إلى مصدر هذا السيل. النيترينو

تظهر أيضاً أنها تأتي من الشمس يومياً، كمنتجات جانبية للتفاعلات النووية التي تزود الشمس بالطاقة. وأن دراسات نيترينو الشمسي تكشف أن هذه الجسيمات تأتي من ثلاثة مصادر وهي تكون الإلكترون وجسيم mu وجسيم tau والتي أعضاء من عائلة Lepton تقوم بانبعاثها. وأن هذه الأنواع يمكنها أن "تتذبذب" – وتتحول فوراً من حالة لأخرى.

النموذج القياسي:

إن النموذج القياسي هو النظرية العامة المعنية بفيزياء تكوين الجسيم من المكونات غير الذرية من جانب علماء الفيزياء الذين يعملون معاً الآن من خلال ما يعرفون عن حالات الوصف من نظرية المجال الكمي للقوى الأربعة في الطبيعة، والتصنيفات الموجودة الخاصة بعائلات الجسيم.

على نحو واضح فإن، النموذج القياسي يقسم الجسيمات إلى ثلاثة مجموعات رئيسة – ستة من Leptons وهي Electrons - muons - tauons ، وأيضاً يمكن إضافة نيوترينو لكل منها لتعطي ثلاثة آخرين.



وهناك ستة من Hadrons أي الكوارك – وهي 12 جسيم يكون لها جميعاً عزم مغزلي 1/ 2 ولذلك فهي جميعاً من الفيرميونات fermions؛ وفي النهاية يكون هناك أربعة جسيمات والتي تسبب وتنشر التفاعلات بين hardons وleptons– وهي الفوتونات الكهرومغناطيسية، وكذلك جسيمات W & Z للقوى الضعيفة وgluons التي تتوسط القوة القوية (وهي جميعها لها عزم مغزلي كمي 1، ولذلك فهي البوسون Bosons).

بوسون هيجس:

إن ميكانيكية البوسون المقترحة في 1964 بواسطة الفيزيائي بيتر هيجس، توضح لماذا الجسيمات في الكون يكون لها كتلة، كجزء جوهري من النموذج القياسي، والتي لم يتم اكتشافها تجريباً حتى الآن. وقد اقترح هيجس أن مجال الجسيمات، والمعروفة باسم "بوسونات هيجس" تتخلل كل مكان وكل شيء. وهي بوصفها جسيمات لا كتلة لها تسافر عبر الفراغ والذي يسبب التشويه للمجال، مسببة لجسيمات هيجس أن تتراكم حول بعضها، وهكذا فهي تصبح ضخمة بنفسها. وأن الجسيمات تجذب بوسونات هيجس بأعداد مختلفة، والذي يوضح لماذا الجسيمات المختلفة يكون لها كتل مختلفة – وبالحقيقة، لماذا بعض من الجسيمات تظل بلا كتلة. وتلعب ميكانيكية هيجس دورًا رئيسيًا في نظرية الكهربية الضعيفة electrowork الخاصة بالقوة الضعيفة. وأن جسيمات W &Z في هذه النظرية تكون ضخمة، ويمكن تفسير ذلك فقط بمساعدة جسيمات هيجس. والسباق الآن يكون في معجلات الجسيمات من أجل القيام باكتشاف بوسونات هيجس على المستوى التجريبي.

معجل الجسيم:

إن قدرًا كبيرًا من العمل التجريبي في فيزياء الجسيم يتم باستخدام ماكينات ضخمة تسمى معجلات الجسيمات، والتي تتكون من أنفاق داخلية دائرية، والتي حولها يوجد "أشعة beams" من الجسيمات ما غير الذرية المنطلقة – والتي مداراتها تدور في دائرة بواسطة مغنطيسات ضخمة.

من خلال التحكم بحرص في درجة المغناطيسية، فإن اثنين من الأشعة يمكن أن يتم تعجيلهما ليصلا إلى سرعة قريبة من سرعة الضوء ثم تتصادم معاً.

الفكرة هي إنه بتحطيم الجسيمات بعضها بعضاً يمكن أن تتكسر لتظهر العناصر الداخلية الفعالة (طاقتها الداخلية). ومن خلال دراسة هذه الشظايا الناشئة من التصادم يمكن للعلماء أن يستكشفوا جسيمات جديدة للمادة. ذلك يوضح الكيفية التي يستخدم بها الباحثون وحدة التصادم الكبيرة Large Hadron Collider (LHC) – معجل الجسيم الأكبر في العالم والأكثر قوة – ويكون الأمل هو الحصول على لمحة طائرة من بوسونات هيجس المراوغة. وأن LHC يتم تقديرها في المعمل CERN الأوربي لفيزياء الجسيم، والذي يقع على الحدود السويسرية الفرنسية. ويكون محيطه 27 كم.

جاذبية الكم:

إن هناك بالطبع، قوة أخيرة نهائية في وصف التفاعلات الرئيسة الأربعة في الطبيعة وهي: الجاذبية، فإن نظرية النسبية العامة لألبرت آينشتاين توفر وصفًا ممتازًا للجاذبية على المستوى الكبير، أو العالم الكلاسيكي، ولكن محاولة تكوين نظرية للجاذبية تكون متسقة مع مبادئ نظرية الكم تواجه صعوبة كبيرة.

حيث أن القوة الكهرومغناطيسية تكون متوسطة بالفوتون الضعيف، فإن تفاعل الجاذبية يتطلب جسيمًا حاملاً أكثر تعقيداً، وهذا الجسيم يسمى الجرفيتون، وتم التنبؤ به إنه يكون بلا كتلة، له عزم مغزلي كمي 2. وأن نظريات مجال الكم تصف أن تفاعل جسيمات العزم المغزلي 2 يمكن أن تتكون، ولكن لتوجد فجأة داخلها والتي لا يمكن أن يتم إزالتها بالطرق العادية.

وتعرض نظرية الوتر ونظرية M خطوطًا واعدة للبحث التي يمكنها أن تقود لنظرية عاملة لجاذبية الكم. كما تفعل فكرة "جاذبية الكم الدائرية – الحلقية"، والتي تفترض أن الحيز المنحني للنسبية العامة يكون منحنى كميًا في داخل شبكة من الحلقات والروابط.

إشعاع هوكينج:

في 1974، جادل الفيزيائي هوكينج من جامعة كامبردج بأن الثقوب السوداء ربما لا تكون سوداء على الإطلاق. وأظهر الكيفية التي بها يتم حساب التأثيرات الكمية في الفيزياء لهذه العناصر الشرهة الاستهلاك للمادة والتي قد تسمح لها بالرجوع مرة أخرى. وفي السعي لنظرية جاذبية كمية كاملة، بنى هوكينج نظرية المجال الكمي للجسيمات على الفراغ المنحني الموصوف من نظرية النسبية العامة - كتقريب لما يسمى "نظرية الجاذبية شبه الكلاسيكية". وعندما عمل ذلك فقط للمكان على السطح الخارجي للثقب الأسود - الأفق- وجد شيء ما مهم جداً.

مثل أي مكان آخر، فإن زوجًا من الجسيمات الفعلية تم ابتكارها هنا، ولكن هوكينج قد حسب جسيمًا واحدًا من الزوج قد تم سحبه إلى داخل الأفق بقوة جاذبية الثقب الأسود، بينما الآخر هرب بعيداً، فالجسيم الذي سقط في الداخل يكون له طاقة سالبة بالنسبة لذلك الذي هرب، وأن تأثير الشبكة يكون إشعاعًا مستمرًا للجسيمات بينما كتلة الثقب الأسود تضعف مع الزمن- كما لو كان الثقب يتبخر. وهذه العملية أصبحت معروفة باسم إشعاع هوكينج.

الفيزياء النووية

نواة الذرة:

إن النواة تكون الجزء المركزي من الذرة، والتي جسيمات البروتون والنيترون تكمن فيها. وقد ظهر وجود النواة على المستوى التجريبي في 1909 عندما قام العالم الفيزيائي ارنست رازرفورد ورفاقه بتوجيه جسيمات ألفا الموجبة (والناتجة بواسطة الاضمحلال الإشعاعي) إلى شريحة رقاقة رفيعة ذهب، أغلب الجسيمات قد مرت في خط مستقيم، ولكن عدد قليل جداً انحرف بزاوية كبيرة. وقد فسر رازرفورد ذلك أن أشعة ألفا قد كانت تمر بجوار تركيزات صغيرة جداً للشحنة الكهربية داخل الذرات- النواة. وأن ذلك يعني أن أنوية الذرات ينبغي أن تكون صغيرة جداً بالمقارنة مع بقية الذرة. وبالحقيقة، إذا ما كان تمثيل