

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة بابل / كلية التربية للعلوم الصرفة  
قسم الفيزياء



## المفهوم الفيزيائي للمادة

أشرف الدكتور :

مهند حسين عليوي

أعداد الطالبة :

نوره سليم خلف

٢٠٢٣-٢٠٢٤

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

(هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسَ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَّرَهُ مَنَازِلَ  
لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ  
يَفْصِلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ)

صدق الله العلي العظيم

# الاهداء

قال تعالى (قل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون) الهى لا يطيب  
الليل الا بشرك ولا يطيب النهار الا بطاعتك ولا تطيب اللحظات الا بذكرك ...  
ولا تطيب الاخرة الا بعفوك ولا تطيب الجنة الا برويتك...

الى من بلغ الرسالة وأدى الامانة ..ونصح الامة ..الى نبي الرحمة ونور  
العالمين  
سيدنا محمد ﷺ ...

الى نور يضيء عمتي عندما تظفني الايام والظروف الى غيمة تظلني  
وتسقينني دون رغبة بردي لجميلها ..... الى الأيدي التي تمد لي العون عندما  
اتعثر ،وتدفعني للمقاومة.  
كل هذه الاشياء التي تستدعي للسقوط ....

الى عائلتي .....

الى منارة العلم والعلماء الى الصرح الشامخ .....  
جامعة بابل...

الى الذين حملوا اقدس رسالة في الحياة الى الذين مهدوا لنا طريق العلم  
والمعرفة  
أساتذتنا الافاضل...

والى كل من رافق حياتي بحزنها وهمها وفرحها وأعانني على نيل مطلبي  
وتحقيق أملي ورسموا لي طريق العلم والنجاح والتغلب على مصاعب الحياة  
وجعلوا لي من دعائهم وحبهم واقلامهم نجاحاً دائماً وحباً ابدياً وسلاماً قوياً  
نحو مسيرتي في طريق العلم .....

## الشكر والتقدير

الحمد لله اقراراً بنعمته ولا اله الا الله أخلاصاً لوحدانيته والصلاة والسلام على سيد خلقه نبينا محمد المصطفى الأمين وعلى اله الطيبين الطاهرين وبعد .....

يطيب لي وانا اختتم بحثي المتواضع هذا ان اتقدم ببالغ الشكر ووافر الامتنان الى كل من ساعدني في إتمام هذا البحث المتواضع في مقدمتهم الدكتور الفاضل (مهند حسين عليوي )

على الانجاز الذي قام به لجعل بحثي يصل إلى أعلى مراتب التميز ،  
والى كافة زملائي في الدراسة فجزاهم الله خير الجزاء ووفقهم لكل خيار



الفصل الاول  
المادة في فلاسفة الإغريق

## الفصل الاول

### المادة في فلاسفة الإغريق

بدأ البحث الفعلي عن المادة بسؤال فلسفي منذ زمن الإغريق، وهو: ما أصل المادة؟ وهل يمكن لنا تقسيمها إلى أجزاء صغيرة غير قابلة للانقسام ، أو سنستمر بالتقسيم إلى ما لانهاية؟ أي: إننا لو أخذنا قطعة من الخشب، على سبيل المثال، وقطعناها إلى نصفين، ثم أخذنا أحد النصفين، وقطعناه إلى نصفين آخرين، وكررنا العملية مرات ، ومرات، هل سنصل إلى جزء غير قابل للانقسام ، أو سنستمر بالتقطيع إلى ما لا نهاية؟

وهذا السؤال حير فلاسفة الإغريق لسنوات. وأطلق على فلاسفة الإغريق الأوائل تسمية فلاسفة الطبيعة؛ لأنهم كانوا يهتمون بشكل أساسي بالطبيعة ، وظواهرها.

كثيرون اليوم يعتقدون أن شيئاً قد انبثق من العدم في لحظة معينة، لكن هذه الفكرة لم تكن سائدة لدى الإغريق، فهم كانوا يعتقدون أن شيئاً ما كان موجوداً منذ الأزل.

كان الإغريق يتساءلون، كيف أمكن للماء أن يتحول إلى سمكة حية؟ وكيف تنبت الأرض الجامدة شجرة كبيرة؟ وكيف يلد رحم المرأة انساناً؟ فهم يشاهدون أمام أعينهم التغيرات المستمرة للطبيعة ، وظلوا يتساءلون، كيف يمكن للمادة أن تغير طبيعتها ، وتصبح شيئاً مختلفاً تماماً؟

كان الفلاسفة الأوائل يعتقدون بوجود مادة أولية كامنة وراء كل شكل يتخلق في الطبيعة، ويجب أن يكون في أصل كل شيء شيء آخر تعود إليه الأشياء، فقد كانوا يتساءلون عن التغيرات المرئية داخل الطبيعة، ويحاولون صياغة بعض القوانين الطبيعية الأبدية، ويريدون أن يفهموا الأحداث التي تحصل في الطبيعة دون العودة إلى الأساطير.

وكان الفيلسوف الإغريقي الأول (طاليس) يعتقد بأن الماء أساس كل الكائنات الحية، وكان يعتقد أن الأرض مليئة ببذور حية صغيرة غير مرئية، لكن الفيلسوف الإغريقي (اناكسيمانس : ٥٧٠-٥٢٦ ق.م) كان يدعي أن الهواء ، والضباب هما أصل الأشياء.

ويرى (اناكسيمانس) أن الماء ما هو إلا هواء مركز، وعندما يضغط الماء أكثر يصبح تراباً، ويرى أن النار ماهي إلا هواء مخفف، أي: إن للماء والتراب والنار أصلاً واحداً هو الهواء، بحسب رأيه، وكان (اناكسيمانس) يلتقي مع (طاليس) في الاعتقاد بأن مادة واحدة تقع في أصل الأشكال المختلفة، وكان بعض فلاسفة الإغريق يعيشون في مستعمرة (إيلي) اليونانية، وكان هؤلاء الفلاسفة الإيليون يخوضون في هذا النوع من الأسئلة، وكان الأكثر شهرة من بينهم يدعى (بارمينيدس : ٥٤٠-٤٨٠ ق.م)، إذ كان يرى أن كل كائن هو موجود منذ الأزل، وكانت هذه الفكرة منتشرة بقوة لدى اليونان، فلا يوجد شيء من لا شيء، برأي

(بارمينيدس) ، وما ليس موجودًا لا يمكن أن يصبح شيئًا، لكن (بارمينيدس) مضى إلى أبعد مما ذهب إليه الآخرون، فليس هناك تحول حقيقي برأيه؛ لأن ما من شيء يستطيع أن يصبح شيئًا آخر غير ما هو عليه.

فيلسوف آخر عاش في الحقبة نفسها التي عاش فيها (بارمينيدس) هو (هيراقليطس : ٥٤٠-٤٨٠ ق.م) كان يعتقد أن كل الأشياء في الطبيعة تغير شكلها باستمرار، وكان يقول: إن كل شيء متحرك، وليس هناك ما هو أبدي، وركز (هيراقليطس) على التناقضات المتلازمة في العالم، فلا يعرف الشيء إلا بنقيضه، فلا نعرف الصحة إلا بالمرض، ولا نعرف الشبع إلا بالجوع، ولا نعرف السلام إلا بالحرب، ولولا قساوة الشتاء لما شعرنا بجمال الربيع، وبحسب رأيه : إن للشر مكانه الطبيعي كما للخير مكانه الطبيعي في نظام الأشياء، وبرأي (هيراقليطس) بدون هذه اللعبة الإلزامية لا يعود للعالم وجود.

وراء كل هذه التحولات ، والتناقضات في الطبيعة كان (هيراقليطس) يرى وجودًا واحدًا كليًا، وهذا الشيء الذي يقع في أصل جميع الأشياء ، وكان يسميه ((الله)) أو ((لوغوس)).

كان (بارمينيدس) و(هيراقليطس) يتبنيان فرضيتين متناقضتين تمامًا ؛ ف(بارمينيدس) يرى أنه لا شيء يتغير، بينما (هيراقليطس) يقول: إن الطبيعة في تحول دائم، هنا جاء الفيلسوف (امفيدوكلس : ٤٩٤-٤٣٤ ق.م) المولود في (سيسيليا) ليخرج الفلسفة من هذا المأزق، فهو يرى أن كلاً من الاثنين على حق في نقطة ما، فهو يرى أنه لا يمكن للماء أن يصبح سمكة، أو فراشة، أي: لا يمكن أن تتغير طبيعة الماء إلى طبيعة أخرى، وبهذا فهو يؤيد (بارمينيدس) على أن لا شيء يمكن أن يتغير إلى شيء آخر، ومن جهة أخرى توصل (امفيدوكلس) إلى استنتاج آخر، إذ رفض وجود مادة واحدة وراء كل شيء، فهو رفض فكرة وجود مادة واحدة، فبحسب رأيه من المستحيل أن تقوم الطبيعة على عنصر واحد.

كان (امفيدوكلس) يعتقد أن الطبيعة تمتلك أربعة عناصر أساسية أطلق عليها مصطلح الجذور ، وهي التراب ، والماء ، والنار ، والهواء ، وسميت هذه النظرية بنظرية العناصر الأربعة، وكل ما يتحرك في الأرض يعود إلى اندماج هذه العناصر الأربعة وانفصالها ؛ وذلك أن كل شيء مكون من ماء ، وتراب ، ونار وهواء، وما اختلاف مادة عن أخرى إلا اختلاف بنسب تلك العناصر، وما موت إنسان أو حيوان ، أو نبات إلا هو انفصال تلك العناصر بعضها عن بعض، أما الماء ، والهواء ، والتراب والنار فتبقى غير متغيرة بذاتها؛ لأنها عناصر أولية حسب رأيهم آنذاك، وكل ما يحصل هو أن أربعة عناصر تتحد ، وتنفصل قبل أن تتحد من جديد، إلا إن (أرسطو) أضاف عنصرًا خامسًا، وهو الأثير الذي يكون السماء حسب رأيه.

إن رأي (امفيدوكلس) لم يأت من فراغ، فقد اعتمد آراء فلاسفة سبقوه وحجتهم في ذلك أنه عند حرق أي مادة، فإنها سوف تتحول إلى العناصر الأولية هي النار ، والدخان الذي يمثل الهواء ، والرماد الذي يمثل التراب، وما الصوت الذي نسمعه عند الاحتراق إلا ماء، وفسر اتحاد ، وانفصال العناصر الأربعة بقوتين مختلفتين تعملان في الطبيعة هي الحب ، والكره، فما يوحد الأشياء هو الحب، وما يفرقها هو الكره.

فيلسوف آخر لم يستطع أن يتخيل فكرة تمكن مادة أولى واحدة ، نستطيع من خلالها أن نرى تنوع الأشياء من حولنا وهو (انكزاغورامس : ٥٠-٤٢٨ ق.م)، ولم يتقبل أيضًا فكرة أن الماء ، والتراب ،

والهواء، والنار يمكن أن تتحول إلى حيوان، وهو يرى أن الطبيعة مؤلفة من جزئيات صغيرة، لا ترى بالعين، ويمكن أن ينقسم كل جزء إلى جزئيات أصغر، لكن يظل في كل منهما جزء من الكل.  
كان (انكزاغورامس) يتساءل، كيف يمكن للطعام الذي يأكله الحيوان أن يتحول إلى دم ولحم؟ وفسر ذلك بأن وراءه قوة أطلق عليها اسم القوة العاقلة

أثمهم (انكزاغورامس) بالإلحاد عندما بلغ الأربعين من عمره ، وأجبر على ترك المدينة ؛ لأنه تجرأ في كثير من الآراء منها القول (بأن الشمس ليست إلهاً، وإنما هي حجر محمي حتى البياض، ويتجاوز حجمه بكثير حجم شبه جزيرة بيلونيز)

كان (انكزاغورامس) مغرماً بعلم الفلك، ويؤيد مقولة أن كل الأجسام السماوية مكونة من مادة الأرض نفسها، ولم يكن يستبعد وجود بشر على كواكب أخرى، ولاحظ أيضاً ان القمر لا يضيء بذاته، واعتقد أنه يستمد نوره من الأرض، كما فسر ظاهرة كسوف الشمس.

وكان الفيلسوف (ديمقراطس : ٤٦٠-٣٧٠ ق.م) متفقاً مع سابقه في كون التغيرات المنظورة في الطبيعة ليست نتيجة تحول حقيقي، وهو يفترض بأنه لا بد أن يكون كل شيء مركباً من عناصر صغيرة جداً، كل عنصر بمفرده هو دائم وأبدي

وكان (ديمقراطس) يسمي هذه الأجزاء البالغة الدقة ذرات (atom أي : غير قابلة للانقسام)، وما زالت تستعمل هذه الكلمة إلى يومنا هذا ، وكان (ديمقراطس) يريد أن يؤكد أنّ العناصر التي يتركب منها الكون لا يمكن أن تستمر في الانقسام على نفسها إلى ما لانهاية ، وحجتهم في ذلك هي أننا لو استمر الانقسام، فسوف تفقد المادة كثافتها، وتصبح أكثر ميوعة، ولصارت الأرض كلها كرمال الصحراء .

وأيده في ذلك الفيلسوف (بارمينيدس) وآخرون. فبحسب رأيهم لا بُد من أن تكون الذرات صلبة، وكثيفة وغير متماثلة، مما يؤدي إلى تنوع المواد من حولنا، وهذا ما أيده العلم الحديث.

كان (ديمقراطس) يعتقد بوجود عدد غير متناه من الذرات في الطبيعة بعضها مستدير ، وأملس، وبعضها الآخر خشن ، ومعقوف ، وهي تستطيع أن تتجمع في كيانات مختلفة لا حد لها؛ لأنها تحديداً تمتلك أشكالاً مختلفة، لكنها رغم كونها غير محدودة العدد تجتمع في كونها كلها أبدية غير قابلة للتلف ، والزوال، وغير قابلة للتجزئة، وعندما يموت حيوان، فإن ذرات جسده تتفكك و تتبعثر، ويمكن أن تعود ، فتتجمع لتشكّل أجساداً جديدة ، واعتقد أيضاً أن الذرات تطوف في الفضاء، وبعضها يمتلك أسناناً مما يجعلها تشبك بعضها ببعض، وتشكّل الأشياء المحيطة بنا.

لم يلجأ (ديمقراطس) إلى قوة ، أو روح لتفسير الظواهر الطبيعية، فكل ما يميل إليه هو الذرة ، والفراغ، ولم يكن يؤمن إلا بما هو مادي، ولا توجد أية نية في حركة الذرات، بل إن كل ما في الطبيعة يتم بطريقة ميكانيكية، لكن هذا لا يعني أن الأمور تحدث مصادفة، بل تتبع القوانين الحتمية في الطبيعة، فيرى

(ديمقراطس) أن وراء كل هذه الظواهر سببًا طبيعيًا كامنًا في الأشياء نفسها، وقد أكد مرة أنه يفضل أن يكتشف أحد القوانين الطبيعية على أن يصبح ملكًا للفرس.

ظل فلاسفة الإغريق قابعين في أبراجهم العاجية لا يختلطون بالعامية ؛ فهم يعدّون ذلك من باب التسافل، فبحسب رأيهم أن الفيلسوف يجب أن يترفع عن العامية، وإلا فليس هناك ما يميز الفيلسوف عن العامي، فكل مهمهم أن يفكروا ، ويفكروا ، ويفكروا ، فإذا تبلورت فكرة في أذهانهم سارعوا إلى طرحها على الناس دون أن يفقوا لحظة ؛ ليتبينوا هل هي ممكنة التطبيق أو لا ؟ والناس آنذاك لا يجروؤن على الاعتراض أو حتى مناقشتهم ؛ ولذلك بقيت هذه الأفكار سائدة مئات السنين لم تتقدم خطوة واحدة.

لم يكتفِ فلاسفة الإغريق بتفسير المادة فقد تطرقوا الى الروح، فبرأي (ديمقراطس) إن الروح مؤلفة من بضع ذرات مستديرة وملساء أسماها ذرات الروح، وعند موت الإنسان تهرب هذه الذرات في كل الاتجاهات، وربما تعود من جديد هكذا شطب (ديمقراطس) بنظريته حول الذرة شطبًا نهائيًا فلسفة الطبيعة عند الإغريق، وقد كان يعتقد كـ(هيراقليطس) أن كل شيء يجري في الطبيعة، لكن وراء هذه الأجسام المتغيرة باستمرار يوجد عنصر أبدي ودائم لا يجري أبدًا، هذا ما كان يسميه (الذرة).

بقيت هذه المفاهيم لا يجرأ أحد على دحضها ، أو انتقادها إلا في عام ١٨٠٣م إذ اثبت الكيميائي والفيزيائي (جون دالتون) حقيقة أن المركبات الكيميائية تتحد دائمًا بنسب معينة يمكن تفسيرها بتجمع الذرات معًا؛ لتشكل وحدات تسمى الجزيئات، وفسر (دالتون) اختلاف المواد كالحديد ، والخشب باختلاف وزن ، وحجم الذرات ، واستمر هذا النموذج سنوات.

استندت نظرية (دالتون) الى أفكار العلماء العرب عن الذرة أمثال: جابر بن حيان الذي يعد من أوائل مؤسسي علم الكيمياء، وأبي بكر الرازي عندما بيّن أنّ الاختلاف بين عنصر وآخر يعود إلى اختلاف المادة الأولية لها، وأطلقوا على هذه المادة الأولية اسم(الجوهر الفرد)أي: ما يقابل اسم الذرة عند الإغريق. ونظرية الجوهر الفرد مؤداها أن المادة مؤلفة من ذرات غاية في الصغر، وأن هذه الذرات لا تختلف في نظرهم عن أية قطعة مادية أخرى إلا من حيث صغرها، فهي صغيرة في نظرهم، لا تقبل التجزئة، وإذا اجتمعت عدة ذرات من بعضها صارت مادة ملموسة ، ومرئية.

لا يمكن أن ننكر أنهم استفادوا، وأفادوا من نظريتهم هذه حيث استطاعوا أن يفسروا بعض الظواهر الكيميائية، أما من حيث سر المادة وماهيتها فلم تكن تنفعهم تلك النظرية قليلاً أو كثيراً.

إن العلماء العرب كان أغلبهم مسلمين ، فإذا عجزوا عن تفسير أية ظاهرة تفسيرًا علميًا ، قالوا: إنها من أمر ربي وما أوتينا من العلم إلا قليلاً ، والناس آنذاك يقفون عند الحد الذي يقف عنده العلماء ؛ إذ هم لا يبحثون في شيء عجز العلماء عن تفسيره ، والإنسان العامي مهما أتى بفكرة جديدة قابله العلماء بالسخرية ، ولووا أعناقهم عنها استكبارًا ، وغرورًا، وبذلك يميّتون فيه نزعة النبوغ ؛ وهذا من أهم الأسباب التي جعلت العرب يراوحوون في أماكنهم ، أو يرجعون إلى الوراء.

في عام ١٨٩٧ حدثت قفزة علمية كبيرة في تركيب الذرة، حين اكتشف الفيزيائي البريطاني (ثومسن: J.J.Thmson) (١٩٤٠-١٨٥٦) الإلكترون حينما كان يجري تجارب على الأشعة الكاثودية، حيث استخدم جهازاً يشبه أنبوبة الصورة في التلفزيون، وكان هنالك خيط معدني ساخن حتى الاحمرار يبعث أشعة كاثودية، ولما كانت هذه ذات شحنة كهربائية سالبة، فبالإمكان استخدام مجال كهربائي لتعجيلها في اتجاه حاجز مغطى بالفسفور، وعندما تصطدم الأشعة الكاثودية بالحاجز تتولد ومضات من الضوء، وسرعان ما تبين أن هذه الأشعة لا بد من أنها تأتي من داخل الذرات نفسها .

أثبت ثومسن أن هذه الأشعة هي سيل من الدقائق الكهربائية الصغيرة غير القابلة للانقسام، وأطلق عليها اسم الكترونات (جمع الكترون) أي: الكهيرب، واشتق هذه الكلمة من كلمة الكتريسي (electricity) التي تعني باللغة العربية الكهربائية وقال: (ثومسن): إن الالكترون لا بد من أن يكون هو أحد مكونات الذرة، وأن شحنته الكهربائية سالبة، وفي ضوء ذلك وضع نموذجاً ذرياً جديداً، يوصف هذا النموذج بأن الذرة هي جسم كروي منتظم موجب الشحنة تتخلله الكترونات سالبة الشحنة بصورة متجانسة، وأن مجموع شحنات الالكترونات السالبة تساوي الشحنة الموجبة للذرة ؛ ولذلك تكون الذرة متعادلة كهربائياً طالما أن الشحنات السالبة تساوي الشحنة الموجبة، وأنها ذات مجال كهربائي ضعيف طالما أن الالكترونات موزعة بصورة متجانسة داخل حيز الذرة

الفصل الثاني  
المادة في القرن التاسع عشر

## الفصل الثاني

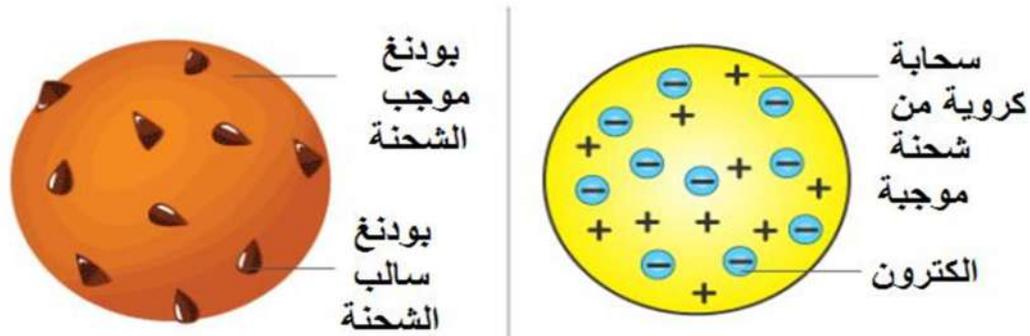
### المادة في القرن التاسع عشر

#### ١-٢ نموذج طومسون

يُعد نموذج طومسون للذرة أو نظرية البودينج النموذج البدائي للذرة الذي اقترحه العالم جوزيف طومسون عام ١٩٠٤م، وتُشير هذه النظرية إلى أن الذرة هي أشبه ما يُكون بكرة تتكون من مجال يحتوي على مادة موجبة الشحنة، بالتالي تُحدد القوى الكهروستاتيكية مكان الجسيمات السالبة فيها؛ مما يُوضّح الشحنة المحايدة الكلية للذرة، ويُعدّ هذا النموذج أساساً لجميع نماذج الذرة التي تلتها. أجرى العالم طومسون عدّة تجارب على أشعة الكاثود، فتبيّن أنّها تتكون من جسيمات سالبة غير معروفة من قبل، وعليه تبيّن أنّ المادة تحتوي على أجسام أصغر من الذرات بنسبة كبيرة جداً، وأطلق عليها اسم الجسيمات أو الكريات، إلا أنّ الفيزيائي جورج ستوني أطلق عليها بعد ذلك اسم الإلكترونات، مما يعني أنّ الإلكترونات تُعدّ مكوناً أساسياً لجميع الذرات، فاستنتج طومسون من ذلك أنّ الذرة قابلة للانقسام.

#### ١-١-٢ أهمية نموذج طومسون

سمح نموذج طومسون وما أدّى إليه من اكتشافاتٍ أخرى إلى فهم الكهرباء والجسيمات الذرية بصورة أفضل، حيث كان لطومسون الفضل في اكتشاف النظائر، كما أدّت تجاربه على الجسيمات موجبة الشحنة إلى تطوير مقياس الطيف الكتلي، مما ساهم في تطوّر المعرفة والاكتشافات في الفيزياء والكيمياء حتى اليوم. اكتشف طومسون للإلكترون اكتشاف طومسون الإلكترون في أثناء تجاربه على أنابيب أشعة الكاثود؛ وهي أنابيب زجاجية محكمة الإغلاق مفرّغة من الهواء تقريباً، حيث كان يُطبّق عليها جهد عالي عبر قطبين في أحد أطراف الأنبوب، مما يُؤدّي لتدفق حزمة من الجسيمات من القطب السالب إلى القطب الموجب، ويُكشف عن أشعة الكاثود من خلال طلاء طرف بعيد من الأنبوب خلف الأنود بمادة الفسفور، مما يُؤدّي لاشتعال الفسفور أو انبعاث الضوء منه عند تأثره بهذه الأشعة.



نموذج طومسون للذرة

## ٢-١-٢ حدود نموذج طومسون الذري

- لقد فشل في تفسير استقرار الذرة لأن نمودجه من الذرة فشل في تفسير كيف تحتفظ الشحنة الموجبة بالإلكترونات سالبة الشحنة في الذرة. لذلك ، فشلت هذه النظرية أيضًا في تفسير موضع النواة في الذرة.
- فشل نموذج طومسون في تفسير تشتت جسيمات ألفا بواسطة رقائق معدنية رقيقة.
- لا يوجد دليل تجريبي في دعمه.

على الرغم من أن نموذج طومسون لم يكن نموذجًا دقيقًا لحساب التركيب الذري ، فقد ثبت أنه الأساس لتطوير نماذج ذرية أخرى.

عُرف نموذج طومسون للذرة باسم نموذج حلوى البرقوق لأن الإلكترونات تشبه الزبيب المشتت في بودنج البرقوق الذي يمثل (سحابة الشحنة الموجبة)، وهي حلوى إنجليزية شهيرة، إلا أنه كان لا بد من التخلي عن هذا النموذج في عام ١٩١١م لأسباب نظرية وتجريبية لصالح نموذج رذرفورد الذري، والذي يوضح أن الإلكترونات تدور في مدارات حول نواة موجبة صغيرة.

## ٣-١-٢ نتائج تجربة طومسون

- من خلال التجارب التي قاس فيها طومسون انحراف حزمة الإلكترونات في مجال مغناطيسي، عن طريق وضع مغناطيسين على جانبي الأنبوب، وتكرار هذه التجارب باستخدام معادن مختلفة كمواد للقطب الكهربائي، حصل طومسون على الاستنتاجات الآتية:
- يتكون شعاع الكاثود من جسيمات سالبة الشحنة.
- يمكن إنتاج الإلكترونات من أقطاب كهربائية مصنوعة من أنواع مختلفة من المعادن، ولذلك استنتج أن جميع الذرات تحتوي على إلكترونات.
- نظرًا لأنه من المعروف أن الذرات متعادلة كهربائيًا، افترض طومسون أن الذرات يجب أن تحتوي أيضًا على بعض الشحنة الموجبة.
- يجب أن توجد الجسيمات كجزء من الذرة، لأن كتلة كل جسيم لا تزيد عن ١/٢٠٠٠ من كتلة ذرة الهيدروجين.
- يمكن العثور على هذه الجسيمات دون الذرية داخل ذرات جميع العناصر.

## ٤-١-٢ أسباب دحض نموذج ذرة طومسون

في عام ١٩١١م أجرى عالم الفيزياء إرنست رذرفورد تجربة لاختبار نموذج طومسون للذرة عُرفت بتجربة على صفيحة رقيقة جدًا من الذهب الخالص ( $\alpha$ ) رقاقة الذهب، إذ أطلق رذرفورد شعاعًا رقيقًا من جسيمات ألفا.

واستنادًا إلى نموذج طومسون، توقع رذرفورد أن جميع جسيمات ألفا سوف تمر مباشرة عبر رقائق الذهب، ويرجع ذلك إلى افتراض أن الشحنة الموجبة في نموذج طومسون تنتشر عبر كامل حجم الذرة، ولذلك فإن المجال الكهربائي سيكون ضعيفًا جدًا بحيث لا يؤثر بشكل كبير على مسار جسيمات ألفا الضخمة نسبيًا وسريعة الحرك.

كانت نتائج التجربة مختلفة تمامًا عن تلك التي توقعها رذرفورد، فعلى الرغم من أن معظم الجسيمات مرت بشكل مستقيم عبر الرقاقة، إلا أن العديد من الجسيمات انحرفت بزوايا كبيرة، وانعكس بعضها ولم يصطدم بالكاشف أبدًا، وكانت هذه النتيجة مفاجأة كبيرة لرذرفورد، وكتب أن هذه النتيجة يمكن مقارنتها بإطلاق قذيفة مدفع على قطعة من الورق، ثم ترتد هذه القذيفة للخلف.

## ٢-٢ نموذج دالتون

قدم جون دالتون في عام ١٨٠٣ من خلال دراسته لأعمال لافوزيه وجوزيف بروسست على قانون النسب المتعددة، والذي كان ينص على أن نسب الكتل للعناصر الموجودة في المركب الكيميائي هي في الأساس عناصر صغيرة غير قابلة للتدمير بأي طريقة، وعلى الرغم من أن مفهوم الذرة في الأساس يعود إلى أفكار ديموقريطس والذي كان أول من اقترح النظرية الذرية، فكان هناك العديد من نماذج الذرات الذي أتت قبل وبعد جون دالتون، وينص تعريف نظرية أو نموذج دالتون للذرة على أن الذرة هي البنية الأساسية للكيمياء، فكان لتعريف الذرات ومدى اختلافها أثر كبير أثار فضول الكثير من العلماء وجعلهم يضعوا العديد من الفرضيات، وتساؤلًا لاتهم المُلحَهِ في كيف تختلف الذرات، وما الذي يميز كل عنصر عن الآخر؟ قام دالتون في نظريته على الاستناد إلى بعض القوانين، ومنها قانون النسب الثابتة والذي يثبت أن نسبة كتل العناصر في المركب ثابتة، وقانون الحفاظ على الكتلة والذي ينص على أن كتل جميع المواد المتفاعلة مساوية للنواتج، قام دالتون بوضع فرضية للعناصر الكيميائية وجعلها اقترح له وكانت هذه الفرضية تنص على أن على الرغم من كون كل عنصر كيميائي يتكون من ذرات ذات نوع واحد لا يمكن تدميرها كيميائيًا، إلا أن لها القدرة على تكوين هياكل كيميائية معقدة، وكانت هذه هي أول نظرية علمية للذرة من قبل دالتون.

## ١-٢-٢ النقاط الرئيسية في نظرية دالتون

بدأ ظهور النظرية الذرية كمجرد فكرة فلسفية من آلاف السنين عند اليونان والهنود، وكان ظهورها تعبيرًا على الفلسفة فقط دون الرجوع إلى الرأي العلمي، فلم يتم تبنيها علميًا، حتى القرن التاسع عشر، وذلك عندما بدأ المنهج القائم على الأدلة في الكشف عن شكل النموذج الذري، في الأساس كان الاعتقاد المبني على النموذج الذري أن المادة عبارة عن عناصر صغيرة وغير قابلة للتجزئة وذات جذور عميقة، كان جون دالتون كيميائي وفيزيائي وعالم للأرصاء الجوية ذو جنسية إنجليزية، قام بالعديد من التجارب والأبحاث والاقترحات حول نظرية التركيب الذري، فكانت تلك النظرية بمثابة النقطة العلمية في تاريخ دالتون وفي تاريخ علم الذرات، فتصبح نظرية دالتون واحدة من أكبر الركائز في علم الفيزياء والكيمياء الحديثة، انشئ دالتون نموذج خاص به و أصبح مخترع الذرة

جون دالتون، قام جون دالتون بإنشاء نموذج للتفاعلات الذرية بجانب تطويره لقوانين فهم كيفية عمل الغازات، كان هدف دالتون هو معرفة كيفية تفاعل الذرات ووزن الذرات، وتصميم القوانين التي تؤسس النظرية الذرية كنظام علمي متكامل، وتعتبر نظرية دالتون الذرية أول محاولة لوصف كل مادة منفردة وخصائصها وعدد الذرات بها، فكان له عدة نقاط

● قام دالتون بتأسيس نظريته بناءً على قانون الحفظ على الكتلة وقانون التكوين الثابت

● كان الجزء الأول من نظريته ينص على أن كل مادة لها ذرات خاصة غير قابلة للتجزئة

● جميع ذرات العنصر الواحد متطابقة في الكتلة والخصائص

● تتكون المركبات من مجموعات ذات نوعين مختلفين من الذرات

● التفاعل الكيميائي هو عبارة عن إعادة ترتيب للذرات

كانت لنظرية دالتون عدة أجزاء، فقام جون دالتون بتوظيف كل الدلائل الكيميائية والفيزيائية لوصف الذرة، فكان يعتقد جون دالتون أيضاً أن النظرية الذرية التي وضعها يمكنها أن تفسر سبب امتصاص الماء للغازات المختلفة، فمثلاً وجد أن للماء خاصية امتصاص لغاز ثاني أكسيد الكربون أكثر فاعلية من امتصاصه لغاز النيتروجين، وقال أن هذا يرجع إلى اختلاف الكتلة بين غازي النيتروجين وثاني أكسيد الكربون، ويرجع ذلك إلى أن جزيئات غاز ثاني أكسيد الكربون أثقل من جزيئات غاز النيتروجين

## ٢-٢-٢ نظرية دالتون الذرية

● الجزء الأول: كل المواد مصنوعة من الذرات

قام دالتون بفرض قانون حفظ الكتلة وقانون النسب المحددة، لقد فرض دالتون أن الذرات عبارة عن جسيمات دقيقة صلبة وضخمة غير قابلة للتجزئة، ومن هنا نجد التناقض في نظرية دالتون، فلم يكن لدالتون أي فكرة عن البنية الداخلية على الذرات

● الجزء الثاني: كل ذرات العنصر الواحد متطابقة في الكتلة

اقترح دالتون أن كل ذرة من عنصر متطابقة تماماً في الخصائص والكتلة، فمثلاً الفضة، كل ذرة فيه مطابقة تماماً لقرينتها في نفس العنصر، وأكد أيضاً على أن ذرات العنصر الواحد تختلف عن ذرات العناصر الأخرى، فبرغم القصور التي كانت موجودة في نظرية جون دالتون إلا أننا نجد أن ذلك صحيح في بعض العناصر، فتختلف ذرة الأكسجين عن ذرة اليورانيوم، إلا أن بعضها قد يشترك أحياناً في بعض النقاط مثل درجة الغليان والانصهار والكهرباء وما إلى ذلك، ولكن من المؤكد أن لا يوجد عنصرين متشابهين في الخصائص بالضبط

● الجزء الثالث: المركبات عبارة عن مجموعات مكونة من نوعين مختلفين من الذرات

في ذلك الجزء من نظرية دالتون، قدم اقتراح وهو أن المركبات عبارة عن مجموعات مكونة من نوعين أو أكثر من الذرات، فمثلاً ملح الطعام، والذي يشكل مزيج من عنصري الصوديوم وهو من العناصر شديدة التفاعل، والكلور وهو غاز سام، وهما عنصرين منفصلين تماماً يحتويان على خصائص كيميائية وفيزيائية، تتحد ذرات عنصر الصوديوم والكلور مع بعضهما بنسبة ١:١، لتشكل لنا البلورات البيضاء من ملح الطعام الآمن للاستخدام

● الجزء الرابع: التفاعل الكيميائي هو إعادة ترتيب الذرات

في الجزء الرابع والأخير من نظرية دالتون، قال أن التفاعلات الكيميائية هي التي تخلق الذرات بجانب أنها لا تدمر، ولكن فقط يتم ترتيبها لصنع مركب جديد، مثلما حدث مع مركب كلوريد الصوديوم أو ملح الطعام، وذلك من خلال اتحاد ذرات الصوديوم مع الكلور

### ٣-٢-٢ فروض نظرية دالتون

على مر السنين تم مراجعة النظرية الذرية لضمان وجود نظائر تثبت التحول البيئي بين الكتلة والطاقة، وتطوير النظرية الذرية الحديثة التي قام بها دالتون، فكان لتعيين وحدة الكتلة الذرية على اسم دالتون، العديد من التجارب والأبحاث والافتراضات فكانت الافتراضات التي استند عليها دالتون هي :

● كل شيء حولنا يتكون من ذرات، وهي أجزاء لا يمكن تدميرها أو تجزئتها

● للتفاعل الكيميائي أثر في إعادة ترتيب ذرات المادة المتفاعلة والمنتجة عنه

● تُنتج المركبات من خلال مجموعات مختلفة ومتعددة من الذرات

● العناصر المختلفة تحتوي على ذرات مختلفة في الحجم والكتلة

● تتكون أي مادة من جسيمات ضئيلة في الحجم ولا يمكن تجزئتها

● تفاعل ذرات العناصر مع بعضها بنسب ثابتة لتشكيل المركب

● جميع عناصر ذرات العنصر الواحد متطابقة

### ٤-٢-٢ إخفاقات نظرية دالتون

على الرغم من أن نظرية دالتون كانت من النظريات المثيرة للإهتمام، إلا أنه في عام ١٨١١ قام أميدو أوغادرو بتصحيح نظرية دالتون الذرية، حيث أثبت أنه من غير الممكن تقدير الكتل الذرية لجميع العناصر بشكل دقيق، كما أثبت أنه عند وضع حجوم متساوية من الغازات في نفس درجة الحرارة والضغط، عندها تكون كل الغازات لها نفس عدد الجزيئات وكان ذلك على عكس نظرية دالتون، وإليك بعض إخفاقات نظرية دالتون كما يأتي :

● قال دالتون أن جميع ذرات نفس العنصر واحدة، وذلك من الأخطاء الكبرى حيث أن يمكن أن يكون للعنصر أكثر من شكل.

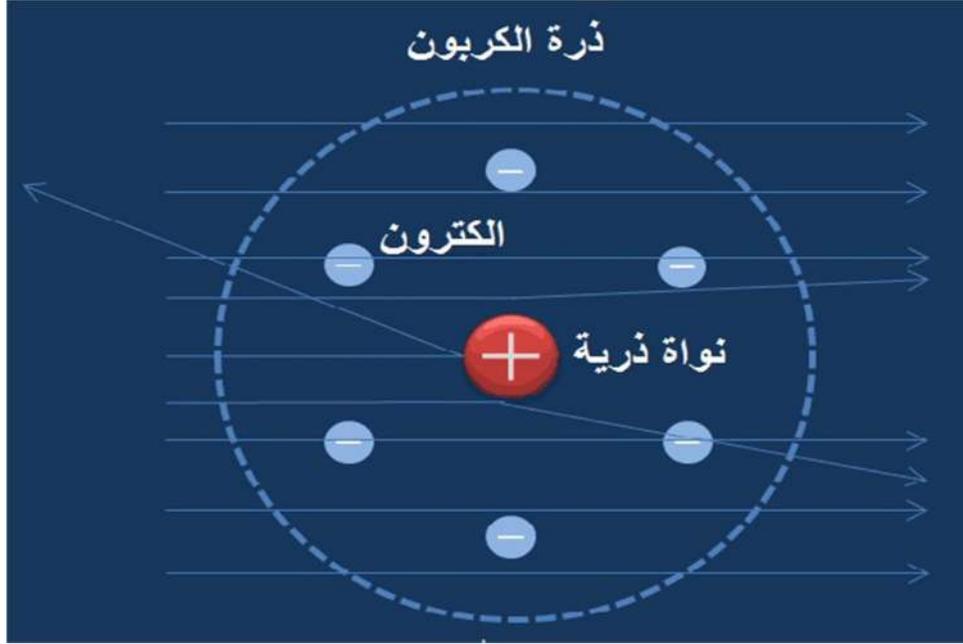
● قدرة الذرة على التقسيم إلى جزيئات وكان ذلك عكس نظرية دالتون في أن الذرة غير قابلة للتجزئة.

● قال دالتون أن ذرات العناصر المختلفة تتحد في عدد صحيح، وكان ذلك غير منطقي بدليل مركب السكر المعقد.

● عدم قدرة نظرية دالتون على تفسير خاصية التأصل، والتي تشير إلى وجود أشكال عديدة للعنصر الكيميائي.

## ٣-٢ نموذج رذرفورد

اقترح رذرفورد أن الذرة تتكون من مساحة فارغة في الغالب مع إلكترونات تدور في مجموعة ومسارات يمكن التنبأ بها حول نواة ثابتة موجبة الشحنة.

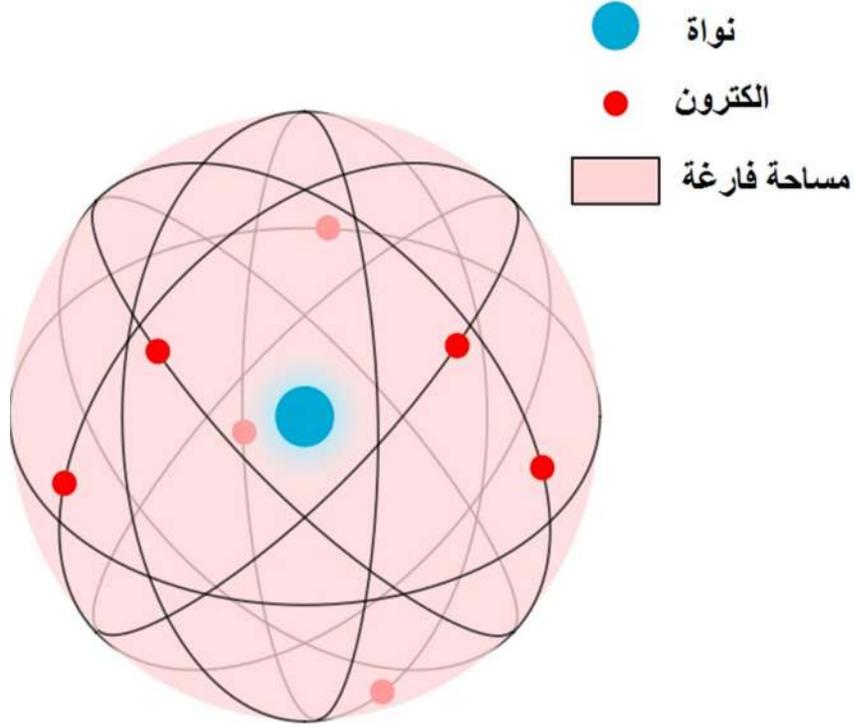


نموذج رذرفورد للذرة

اقترح الفيزيائي البريطاني "إرنست رذرفورد" نموذجًا للبنية الذرية يُعرف باسم نموذج رذرفورد للذرات. أجرى تجربة حيث قام بقصف جسيمات ألفا في صفيحة رقيقة من الذهب. في هذه التجربة ، درس مسار جسيمات الفا بعد التفاعل مع الصفيحة الرقيقة من الذهب.

## ١-٣-٢ تجربة نموذج رذرفورد الذري

في تجربة رذرفورد ، قصف تيارات عالية الطاقة من جسيمات ألفا على رقاقة ذهبية رقيقة بسمك ١٠٠ نانومتر. تم توجيه تيارات جسيمات الفا من مصدر مشع. أجرى التجربة لدراسة الانحراف الناتج في مسار جسيمات الفا بعد التفاعل مع الصفيحة الرقيقة من الذهب. لدراسة الانحراف ، وضع شاشة مكونة من كبريتيد الزنك حول رقائق الذهب. تناقض الملاحظات التي قدمها رذرفورد مع نموذج حلوى البرقوق الذي قدمه طومسون.



نموذج رذرفورد الذري

### ٢-٣-٢ ملاحظات لتجربة نموذج رذرفورد

على أساس الملاحظات التي تم إجراؤها أثناء التجربة ، خلص رذرفورد إلى ذلك  
١. الفراغ الرئيسي في الذرة فارغ - مر جزء كبير من جسيمات ألفا عبر الصفيحة الذهبية دون انحراف. لذلك ، يجب أن يكون الجزء الأكبر من الذرة فارغاً.

٢. لا يتم توزيع الشحنة الموجبة في الذرة بشكل موحد وتتركز في حجم صغير جداً - قليل من جسيمات ألفا عند قصفها كانت تنحرف بواسطة الصفيحة الذهبية. كانت تنحرف بدقة وبزوايا صغيرة جداً. لذلك توصل إلى الاستنتاج أعلاه.

٣. عدد قليل جدًا من جسيمات ألفا انحرفت بزوايا كبيرة أو انحرفت للخلف. علاوة على ذلك ، فقد انحرف عدد قليل جدًا من الجسيمات عند ١٨٠ درجة. لذلك ، خلص إلى أن الجسيمات موجبة الشحنة تغطي حجمًا صغيرًا من الذرة مقارنة بالحجم الكلي للذرة.

### ٣-٣-٢ مسلمات نموذج رذرفورد الذري بناءً على الملاحظات والاستنتاجات

- تتكون الذرة من جسيمات موجبة الشحنة. تركزت غالبية كتلة الذرة في منطقة صغيرة جدًا. كانت تسمى هذه المنطقة من الذرة بنواة الذرة. اكتشف لاحقًا أن نواة الذرة الصغيرة جدًا والكثيفة تتكون من نيوترونات وبروتونات.
- نواة الذرات محاطة بجسيمات سالبة الشحنة تسمى الإلكترونات. تدور الإلكترونات حول النواة في مسار دائري ثابت بسرعة عالية جدًا. سميت هذه المسارات الدائرية الثابتة باسم "المدارات".
- لا تحتوي الذرة على شحنة صافية أو أنها محايدة كهربائيًا لأن الإلكترونات مشحونة سالبًا والنواة المركزة بكثافة مشحونة إيجابيًا. تعمل قوة كهروستاتيكية قوية من عوامل الجذب على تماسك النواة والإلكترونات.
- حجم نواة الذرة صغير جدًا مقارنة بالحجم الكلي للذرة.

### ٤-٣-٢ عيوب نموذج رذرفورد الذري

لم تكن تجربة رذرفورد قادرة على تفسير أشياء معينة. هم انهم:

- كان نموذج رذرفورد غير قادر على تفسير استقرار الذرة. وفقًا لافتراض رذرفورد ، تدور الإلكترونات بسرعة عالية جدًا حول نواة ذرة في مدار ثابت. ومع ذلك ، أوضح ماكسويل أن الجسيمات المشحونة المتسارعة تطلق إشعاعات كهرومغناطيسية. لذلك ، فإن الإلكترونات التي تدور حول النواة ستطلق الإشعاع الكهرومغناطيسي.
- سيكون للإشعاع الكهرومغناطيسي طاقة من الحركة الإلكترونية مما يؤدي إلى تقلص المدارات تدريجيًا. أخيرًا ، ستتقلص المدارات وتنتهي في نواة الذرة. وفقًا للحسابات ، إذا تم اتباع تفسير ماكسويل ، فسوف ينهار نموذج رذرفورد خلال ١٠-٨ ثوانٍ. لذلك ، لم يكن نموذج رذرفورد الذري يتبع نظرية ماكسويل ولم يكن قادرًا على تفسير استقرار الذرة.
- كانت نظرية رذرفورد غير مكتملة لأنها لم تذكر أي شيء عن ترتيب الإلكترونات في المدار. كان هذا أحد العوائق الرئيسية لنموذج رذرفورد الذري.

### نتيجة

على الرغم من أن النماذج الذرية المبكرة كانت غير دقيقة ولم تستطع تفسير بنية الذرة والنتائج التجريبية بشكل صحيح. لكنها شكلت أساس ميكانيكا الكم وساعدت في التطور المستقبلي لميكانيكا الكم.

## ٢-٤ فيزياء الكم

يمكن تعريف فيزياء الكم ميكانيكا الكم بأنها فرع علم الفيزياء الذي يهتم بدراسة المادة والطاقة على المستوى الأساسي لها، وذلك من خلال دراسة وفحص وفهم الجسيمات الصغيرة للغاية، مثل الذرات، والأيونات، والإلكترونات، والفوتونات، وما إلى ذلك، أي الجسيمات ذات الأحجام الذرية والدون ذرية المكونة للمادة والضوء، وذلك لامتلاكها لخصائص وسلوكيات قد لا تكون موجودة لدى الأجسام الكبيرة، أو قد يكون من الصعب اكتشافها عند دراسة الأجسام الكبيرة.

أدت معرفة مبادئ فيزياء الكم العديدة إلى تغيير المفهوم المتعارف عليه عن الذرة، والذي يُشير إلى أنها تتكون من نواة مركزية موجبة محاطة بمجموعة من الإلكترونات السالبة التي تدور حولها فقط، تمامًا كما تدور الأقمار الصناعية حول الأرض، أما فيزياء الكم الحديثة، فقد بينت أن الإلكترونات تكون موزعة داخل مدارات معينة حول النواة، وهذا يعني احتمال وجود الإلكترونات في أكثر من موقع واحد ضمن نطاق معين في أي وقت، بالإضافة إلى إمكانية قفز الإلكترونات من مدارٍ إلى آخر إذا اكتسبت الطاقة أو فقدتها، مع عدم إمكانية وجودها بين المدارات.

نشأ فرع فيزياء الكم، والذي يعد فرعًا أساسيًا من فروع علم الفيزياء الحديثة؛ في أواخر القرن التاسع عشر، وأوائل القرن العشرين - في نفس الوقت تقريبًا الذي نشر فيه ألبرت أينشتاين نظريته عن النسبية - وذلك بعد سلسلة من الملاحظات التجريبية التي تم التوصل إليها نتيجة دراسة الذرات، والتي لم يكن لها أي معنى أو تفسير منطقي في مجال الفيزياء الكلاسيكية، وقد ساعد ظهور فيزياء الكم على التوصل للعديد من الاكتشافات، مما أدى إلى ابتكار العديد من الأشياء المهمة، مثل أجهزة الليزر والترانزستورات، وأجهزة الحاسوب الكمومية، وغيرها.

## ٢-٤-١ اختلاف فيزياء الكم عن الفيزياء الكلاسيكية حول المادة

لا تنطبق العديد من مفاهيم ومعادلات الفيزياء الكلاسيكية التي تصف حركة وتفاعلات الأشياء مع بعضها البعض عند تطبيقها على الجسيمات الصغيرة للغاية، مثل الذرات والإلكترونات، فمثلًا في الفيزياء الكلاسيكية، توجد الأشياء في مكان محدد، وفي وقت محدد أيضًا، أما في فيزياء الكم، فإن الأشياء توجد بدلاً من ذلك في ضمن مجموعة واسعة من الاحتمالات، أي أن الجسم يمتلك فرصة معينة للوصول إلى النقطة أ، وفرصة أخرى للوصول إلى النقطة ب مثلًا، في اللحظة نفسها، وهكذا

## ٢-٤-٢ المادة في فيزياء الكم

فيما يأتي ذكر لأهم الأسس والمبادئ التي تقوم عليها فيزياء الكم:

● **ازدواجية الجسيم الموجي:** وهو مبدأ يصف نتائج التجارب التي أظهرت أن للضوء والمادة خصائص جسيمية أو خصائص موجية، اعتمادًا على كيفية قياسها.

● **مبدأ التراكب:** يستخدم هذا المبدأ للوصف الكائن الذي يمتلك حالات متعددة محتملة في نفس الوقت، كوجود تموج على سطح بركة يتكون من موجتين متداخلتين، وتجدر الإشارة إلى إمكانية تمثيل الكائن وفق مبدأ التراكب رياضياً بمعادلة لها أكثر من حل.

● **مبدأ عدم اليقين أو مبدأ الريبة:** وهو مبدأ يصف عدم إمكانية معرفة خاصيتين لكائن ما، مثل مكانه بالتحديد وسرعته، بشكل دقيق وفي نفس الوقت، على سبيل المثال، إذا تم تحديد موضع الإلكترون بدقة، فهذا سيؤثر على دقة تحديد سرعة الإلكترون في تلك اللحظة، أي أن تحديد إحدى الخاصيتين بدقة يعني تحديد الخاصية الأخرى بريبة أو بعدم تأكيد.

● **مبدأ التشابك الكمومي:** وهي ظاهرة تحدث عندما يرتبط جسمان أو أكثر بطريقة يمكن اعتبارها نظاماً واحداً، حتى لو كانا متباعدين جداً، وفيها لا يمكن وصف حالة أحد العناصر في هذا النظام بالكامل بدون معلومات عن حالة العنصر الآخر، وبالمثل، فإن معرفة معلومات حول عنصر واحد يعطي معلومات عن الآخر

# الفصل الثالث

## المادة حسب نظرية الاوتار

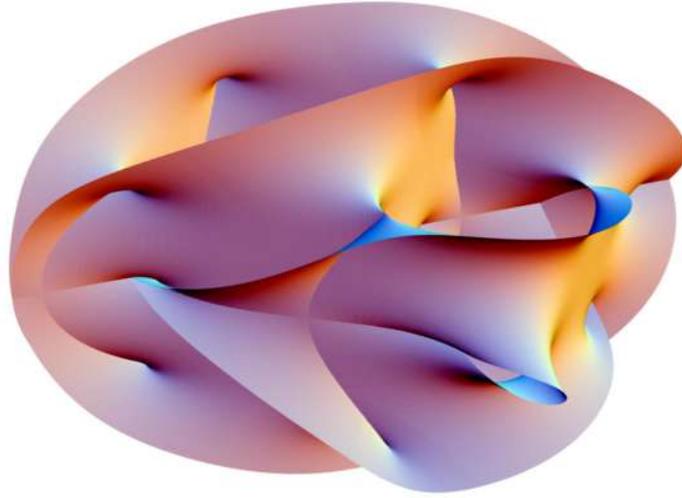
## الفصل الثالث

### المادة حسب نظرية الأوتار

نظرية الأوتار أو النظرية الخيطية هي مجموعة من الأفكار الحديثة حول تركيب الكون تستند إلى معادلات رياضية معقدة. تنص هذه المجموعة من الأفكار على أن الفرميونات مكونة من أوتار حلقيّة مفتوحة وأخرى مغلقة متناهية في الصغر لا سمك لها، وهي مليئة بالطاقة تجعلها في حالة من عدم الاستقرار الدائم وفق تواترات مختلفة وإن هذه الأوتار تتذبذب وتتحدد وفقها طبيعة وخصائص الجسيمات الأكبر منها مثل الكواركات والإلكترونات. أهم نقطة في هذه النظرية أنها تأخذ في الحسبان كافة قوى الطبيعة: الجاذبية والكهرومغناطيسية والقوى النووية، فتوحدها في قوة واحدة ونظرية واحدة، تسمى النظرية الفائقة.

تهدف النظرية إلى وصف المادة على أنها حالات اهتزاز مختلفة لوتر أساسي وتحاول هذه النظرية الجمع بين ميكانيكا الكم التي تفسر القوى الأساسية المؤثرة في عالم الصغائر (القوة النووية الضعيفة، القوة الكهرومغناطيسية، القوة النووية القوية) وبين النظرية النسبية العامة التي تقيس قوة الجاذبية في عالم الكبائر ضمن نظرية واحدة والتي تقول بأن الكون هو عالم ذو عشرة أو أحد عشر بُعداً، على خلاف الأبعاد الأربعة المحسوسة، وأن هنالك 6 أو 7 أبعاد أخرى، إضافةً لأبعاد العالم الثلاثة مع الزمن، غير محسوسة ومنطوية على نفسها. أما هذه النظرية الجديدة فتعتقد بأن الكون مكون من 26 بُعداً، أُختزلت فيما بعد إلى عشرة أبعاد. ولتوضيح هذه الفكرة يستعمل البعض مثال خرطوم رش الماء، فعندما ينظر المرء للخرطوم من بعيد لا يرى سوى خط متعرج. لكنك بفحصه عن كثب يلاحظ أنه عبارة عن جسم ثلاثي الأبعاد، حيث أن الأبعاد الجديدة ملتفة على نفسها في جزء صغير جداً.

استناداً إلى نظرية الأوتار الفائقة فإن الكون ليس وحيداً، وإنما هنالك أكوان عديدة متصلة ببعضها البعض، ويرى العلماء أن هذه الأكوان متداخلة ولكل كون قوانينه الخاصة به، بمعنى أن الحيز الواحد في العالم قد يكون مشغولاً بأكثر من جسم ولكن من عوالم مختلفة، وبحسب هذه النظرية فإن الكون ما هو إلا سيمفونية أوتار فائقة متذبذبة، فالكون عزف موسيقي ليس إلا، ومن الممكن معرفة الكون ومما يتكوّن من خلال معرفة الأوتار ونغماتها، فالكون يتصرف على نمط العزف على الأوتار.



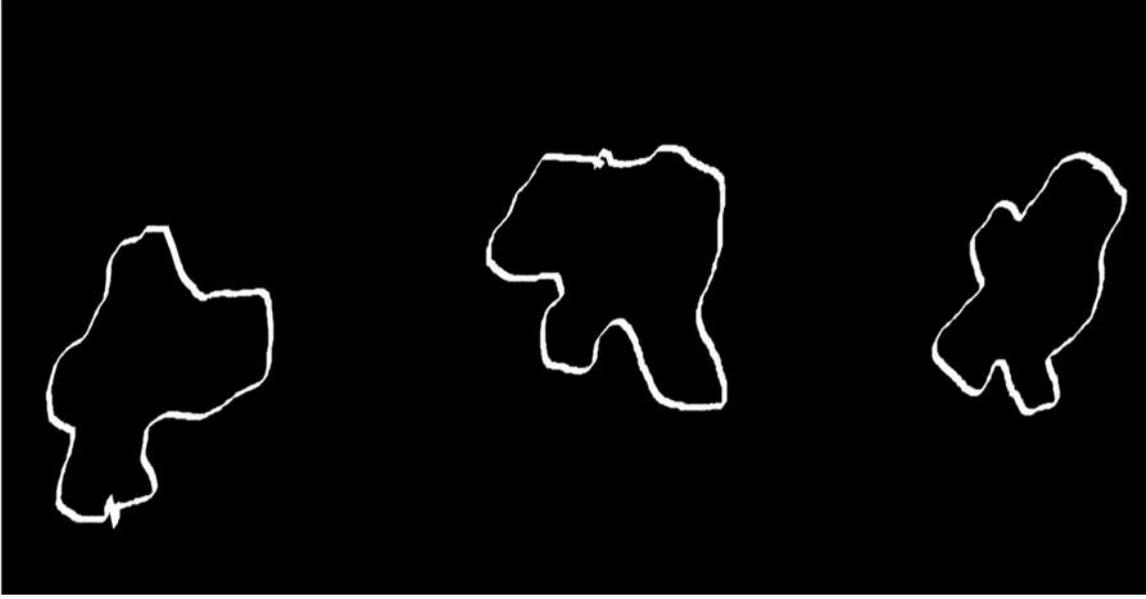
### نظرية الاوتار الفائقة

يقول العالم الفيزيائي الأمريكي «ألان غوث»، بما أن الكون ولد من العدم وبما أن العدم يمتد إلى مساحات لا متناهية، إذاً من المتوقع نشوء أكوان لامتناهية في أجزاء مختلفة من العدم. أما العالم الكوزمولوجي والفيزيائي الأمريكي «مارتين ريز» فيقول:

بما أنه توجد عوالم مختلفة، إذاً من المتوقع وجود عالم كعالمنا. فإذا دخلنا نظرية الأوتار إلى متجر لبيع الثياب حيث توجد ثياب بمقاييس مختلفة وعديدة فليس من المستغرب حينئذٍ أن نجد ثوباً بمقاسنا. لذا ليس من المستغرب وجود عالم كعالمنا لأنه توجد عوالم عدة ومختلفة.

كما هو معروف، فإن النواة مشحونة إيجابياً وهي لذلك تتدافع إن تركت لشأنها بفعل القوة الكهربائية ممزقةً عرى النواة وهنا تتدخل القوة الشديدة للتغلب على القوى المذكورة وتقريب البروتونات إلى بعضها محاولة لم شمل النواة ولتخلق نوعاً من التوازن الدقيق بينها وبين القوة الكهربائية التنافرية، التي تسعى إلى تفجير النواة، وهذا ما يُعرف بالقوة النووية الشديدة المسؤولة عن ارتباط النيوترونات بالبروتونات في داخل نواة الذرة. عندما يطلق العنان للقوة النووية الشديدة تنشأ نتائج كارثية، فمثلاً عندما تشطر نواة اليورانيوم عن عمد في القنبلة الذرية تتحرر الكميات الهائلة من الطاقة المحبوسة داخل النواة في شكل انفجار نووي مروع. حيث تطلق القنبلة النووية مليون ضعف من الطاقة التي يعطيها الديناميت ويؤكد ذلك بشكل جلي حقيقة أن بإمكان القوة الشديدة توليد طاقة تتعدى طاقة المتفجرات الكيميائية التي تحكمها القوة الكهرومغناطيسية. تفسر القوة الشديدة أيضاً سبب إضاءة النجوم بأن النجم ليس إلا فرن نووي ضخم تتحرر فيه القوة الشديدة سجيناً النواة. ولو أن طاقة الشمس كانت ناجمة عن حرق الفحم بدلاً من الوقود النووي لما أطلقت الشمس إلا جزءاً ضئيلاً من ضوءها ولخبت بسرعة متحولة إلى رماد. وبدون

الشمس تبرد الأرض وتنقرض كل أشكال الحياة عليها وبدون القوة الشديدة لا يمكن أن توجد الشمس وبالتالي لا يمكن أن تنشأ الحياة وترتقي.



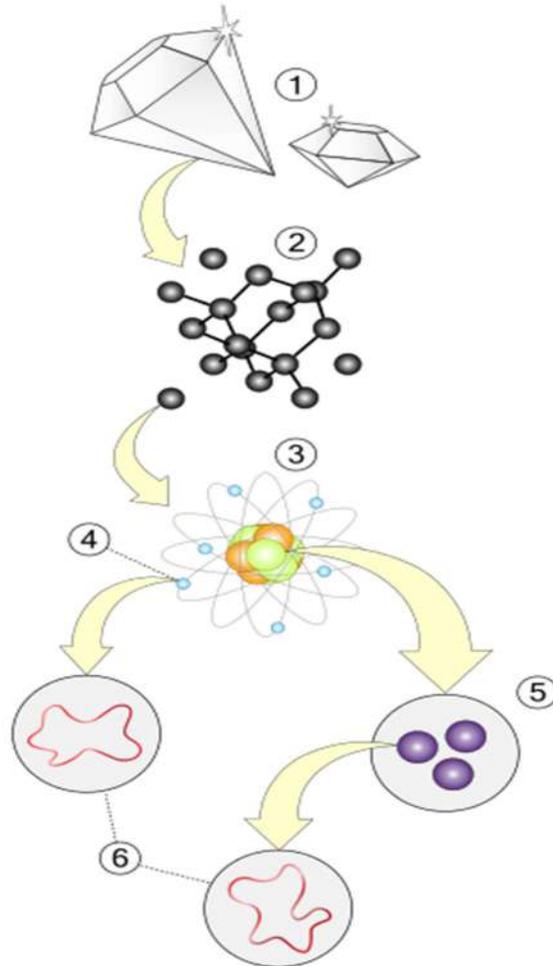
صورة افتراضية لشكل ثلاثة اوتار

أما القوة التي تتحكم بتحلل الجسيمات الأولية داخل الذرة والمسؤولة عن نشاط الذرات الثقيلة غير مستقرة الإشعاع، فتعرف بالقوة النووية الضعيفة. إن لبعض النوى، كنواة اليورانيوم التي تضم ٩٢ بروتون، كتلاً هائلة تؤدي إلى تحللها تلقائياً وإطلاق شظايا وبقايا صغيرة فيما يُعرف بالنشاط الإشعاعي. النوى في هذه العناصر هي ببساطة نوى غير مستقرة وتجنح إلى التحلل، لذا لا بد من تواجد قوة أخرى ضعيفة لتتحكم بالنشاط الإشعاعي وتكون مسؤولة عن تحلل النوى الثقيلة. هذه هي القوة الضعيفة التي تتسم بسرعة الزوال والتلاشي إلى حد أنه لا يمكن تحسسها مباشرة في الحياة اليومية لكن يمكن الشعور بآثارها غير المباشرة. فعندما يوضع عداد غايغر بالقرب من قطعة اليورانيوم يتناهي إلى السمع الطقطقة التي تقيس النشاط الإشعاعي للنوى الناجم عن فعل القوة الضعيفة. ويمكن أن تستخدم الطاقة المتحررة من قبل القوة الضعيفة لتوليد الحرارة أيضاً، فمثلاً إن الحرارة الشديدة الموجودة في باطن الأرض قد نجمت جزئياً عن تحلل العناصر المشعة في عمق نواة الأرض، وتتفجر هذه الحرارة الهائلة بدورها في هيئة براكين إن وصلت سطح الأرض. وبالمثل فإن الحرارة التي تنتج في نواة مفاعل نووي والتي تستطيع توليد طاقة كهربائية تكفي لإنارة مدينة كاملة تعزى أيضاً إلى أثر القوة الضعيفة.

كان هناك نواقص في نظام نيوتن لتفسير قوة الجاذبية. أحدها أن النظام كان يقول بأن قوة الجاذبية لحظية، أي كأن هناك حبل يربط الأرض بالشمس فلا تحتاج قوة الجاذبية إلى مدة للانتقال، وأن الجاذبية تعمل فقط على المدى الضخم كالكواكب والنجوم والمجرات وتصبح هذه القوة معدومة في الجزيئات الصغيرة وداخل الذرات. وأنه على

الرغم من أن الجاذبية تبدو هي القوة الأكثر وضوحًا إلا أنها تعتبر شديدة الضعف مقارنةً بالقوى الأخرى فعلى سبيل المثال يمكن للمرء باستخدام المغناطيس أن يرفع مسامرا من على سطح الأرض، يُلاحظ هنا أن المغناطيس الضئيل الحجم هذا قد تغلب على الجاذبية الناتجة من هذا الكوكب الضخم. لكن ألبرت أينشتاين رأى خلاف ذلك، حيث قال أن سرعة الضوء هي السرعة القصوى في هذا الكون، فلا يمكن للجاذبية بأن تكون أسرع من الضوء، وبهذا كان قد قام بتفسير أدق لهذه الجاذبية، وذلك بأن اعتبر أن الكتلة تصنع انحناء في الزمكان ويتسبب هذا في تدحرج (انجذاب) الأجسام الأخرى إلى الكتلة على هذا المنحدر، فكان هذا الاكتشاف مدخل إلى فكرة توحيد القوى في هذا العالم تحت قوة واحدة تحكم هذا الكون.

وترى هذه النظرية أن المادة متكونة من أوتار أو حلقات مفتوحة وأن نهاية الحلقة تلتصق بغشاء أو فضاء يسمى بران، إلا أن الحلقات الغير ملتصقة بالبران كالجسيم النظري «جرافيترون» التي يعتقد أنها الحامل لقوة الجاذبية فإنها يمكنها الابتعاد عن البران لتذهب إلى بران أخرى.



مستوى التكبير : ١- المستوى العياني، ٢- المستوى الجزيئي، ٣- المستوى الذري، ٤- المستوى النووي ثم ٥- مستوى الأوتار

### ١-٣ توضيح النظرية

إن توضيح فكرة نظرية الأوتار الفائقة يمكن أن يتم عن طريق المقارنة مع أوتار العود أو الكمان أو الغيتار، فالعازف ينظم إيقاع الوتر والصوت بواسطة شد أو رخي الوتر الواحد بواسطة المفتاح الذي يرخي أو يشد الوتر وهذا ما يجعل بالإمكان الحصول على نغمات مختلفة بشد أو إرخاء وتر معين، وبالمقابل فإن الذرات في المادة بدءاً من جسد الكائنات الحية وانتهاءً بالنجوم البعيدة تتكون من أوتار دقيقة مهتزة وبحسب هذه النظرية فإن الكون ما هو إلا سيمفونية أوتار فائقة متذبذبة فالكون عزف موسيقي ليس إلا، ومن الممكن معرفة الكون ومما يتكوّن من خلال معرفة الأوتار ونغماتها.

إن الفرق بين وتر الآلة الموسيقية والوتر في نظرية الأوتار الفائقة هو أن الأوتار في الأخيرة عائمة في الفضاء وغير مربوطة كما هو الحال في الأوتار المربوطة بالآلات الموسيقية وبالرغم من حالة الحرية هذه فإن هناك توتر إلى مربع  $a$ ، حيث تشير ( $pa'$  أو ضغط على هذه الأوتار ومقدار هذا التوتر يمكن الإشارة إليها بالمعادلة:  $2/1$ ) طول الوتر الذي هو عبارة عن مقدار صغير جداً يصل إلى  $10^{-81}$  -  $10^{-13}$  سنتيمتر أي أصغر بمقدار مئة مليار مليار إلى طول بلانك الذي هو عبارة عن كمية صغيرة لدرجة فائقة من السلم النووي، أصغر  $p$  مرة من نواة الذرة، و بحوالي  $10^{-20}$  مرة. وللتعبير عن ذلك هنالك طريقة تقول بأن نسبة سلم بلانك على مقياس الذرة كنسبة هذا إلى مقياس المنظومة الشمسية. وهذه الأوتار على نوعين إما وتر مغلق يمكن أن يتحول إلى وتر مفتوح، أو وتر مغلق لا يمكن أن يتحول إلى وتر مفتوح. ويمكن القول هنا إن الفرميونات هي جسيمات المادة والبوزونات جسيمات تنقل القوى بين جسيمات المادة.



صورة توضيحية لكمان، تظهر فيها أوتارها

هناك نظريتان، نظرية النسبية العامة لألبرت أينشتاين التي تفسر قوة الجاذبية في عالم الكبائر وهي تمنح الإطار النظري لفهم العالم في أبعاده الكبرى: النجوم والمجرات وتجمعات المجرات، وحتى ما وراء المدى البعيد للكون نفسه، والنظرية الأخرى هي ميكانيكا الكم التي تفسر القوى الأساسية المؤثرة في عالم الصغائر (القوة النووية الضعيفة، القوة الكهرومغناطيسية، والقوة النووية القوية)، وهي التي تفسر الإطار النظري لفهم العالم في أصغر أبعاده: الجزيئات والذرات وحتى الدقائق ما دون الذرة مثل الإلكترونات والكواركات. وبالرغم من أن النظريتين متكاملتان كل على حدى إلا أن الجمع بينهما يؤدي إلى نتائج كارثية في فهم الكون من أصغر الأجزاء إلى أكبرها حيث أن نظرية النسبية العامة ونظرية ميكانيكا الكم، إحداهما تنفي الأخرى بحيث لا بد من أن تكون واحدة منهما فقط على صواب وهكذا فإن النظريتين اللتين تشكلان أساس التقدم الهائل في الفيزياء خلال المائة عام الماضية غير متوافقتين. وقد ثار تساؤل البعض عن غرض جمع النظريتين من الأساس، وكان الجواب التقليدي هو: «تصور العيش في مدينة يسودها نظامان مختلفان من أنظمة السير والمرور فهذا يؤدي إلى فوضى كارثية، والدمج بين النظريتين هي الطريقة الوحيدة لفهم منشأ الكون وما حصل عند الانفجار العظيم، حيث أن هذا الكون العملاق نشأ من جسم صغير كروي مفلطح في أجزاء منه، تشبه قشرة الجوز في حجمها وشكله»

استناداً إلى نظرية الأوتار الفائقة، فإن الأفكار التي كانت تعتبر محض خيال مثل الانتقال عبر الزمن والانتقال من مكان إلى آخر هائل البعد في لحظات يمكن اعتبارها غير مستحيلة. ولتوضيح هذه الفكرة يقول العلماء: «تصور أن الكون هو عبارة عن المدينة التي تعيش فيها، ففي هذه المدينة إذا أردت الانتقال من منزلك إلى مكان عملك فإنك تحتاج إلى واسطة نقل ووقت للوصول إلى مكان العمل، لكن حاول للحظة أن تنسى المفهوم التقليدي الخطي المسطح للكون أو المدينة وتصور ان المدينة تحتوي على طيات بحيث يكون مكان عملك فوق منزلك بدلاً من كونه يقع على بعد عدة كيلومترات وأن هنالك نفقاً أو جسراً يوصلك بسرعة إلى مكان عملك ولنطلق تسمية ثقب دودي على هذه الأنفاق، كانت هذه فكرة ألبرت أينشتاين.

طرح ألبرت أينشتاين فكرته الجريئة في إضافة بعد الزمن إلى الأبعاد الثلاثة المعروفة لإنتاج نسيج واحد زمكاني أشبه بشبكة الصيادين وعلى هذا النسيج كانت الكواكب والنجوم والشمس وكل منها يحدث تقعرًا حسب ثقله. فعلى سبيل المثال، التقعر الذي تحدثه الشمس في هذا النسيج أكبر من التقعر الذي تحدثه الأرض مما يؤدي إلى دوران الأرض حول الشمس في أطراف التقعر الذي أحدثته الشمس على نسيج الكون. كانت هذه ثورة على مفهوم الجاذبية القديمة لنيوتن وسميت هذه النظرية بنظرية النسبية العامة. لكن أينشتاين كان يحلم أيضاً بتوحيد قوة الجاذبية مع القوة الكهرومغناطيسية وكان معجباً جداً بما حققه جيمس ماكسويل من توحيد للقوتين الكهربائية والمغناطيسية، وكان حلم أينشتاين أن يتمكن من توحيد فكرته الجديدة عن قوة الجاذبية مع القوة الكهرومغناطيسية في شكل معادلة رياضية الهدف منها التقرب أكثر من فهم الكون.

وخلال عقد العشرينات من القرن العشرين، تمكنت مجموعة من العلماء، على رأسهم نيلز بور، من اختطاف الأضواء من أينشتاين. كان هؤلاء العلماء، على العكس من أينشتاين مهتمين بالأجزاء الصغيرة من الكون مثل الذرة والإلكترونات والبروتونات. ولعجز نظرية الجاذبية التي طرحها أينشتاين بتفسير التجاذب بين الكواكب العملاقة عن تفسير هذا العالم الصغير غير المرئي في الذرة الواحدة، وضعت نظرية خاصة بذلك أطلق عليها ميكانيكا الكم. لم يكن هنالك أي دور للتنظيم والحتمية في هذه النظرية وإنما كان كل شيء عبارة عن احتمالات. فحتى إذا كان هنالك ١٠٠٠ احتمال لشيء ما فإن هناك احتمالاً لحدوث هذه الاحتمالات الألف، وحتى الأشياء التي تعتبر مستحيلة مثل

اختراق جدار فإن ميكانيكا الكم وبالرغم من تأكدها على أن احتمالية وقوع هذا الشيء هو من الصغر بحيث أنه قد يتطلب دفع الجدار إلى ما لا نهاية ولكنه احتمال قائم. مجمل القول أن ميكانيكا الكم كانت تؤمن بالاحتمالات وبأنه لا يوجد يقين لا يقبل الشك بنتائج أي تجربة أو نظرية وهذا ما كان يرفضه أينشتاين في نظرية النسبية العامة، حيث كان يؤمن بأن هناك تنظيماً لكل شيء في الكون، ولكن التجارب المتلاحقة أثبتت خطأ أينشتاين في هذه النقطة.

حاول العديد إيجاد وسيلة للتقريب بين التناسق الرائع للنظرية النسبية وعدم التناسق والاحتماليات غير الحتمية لنظرية الكم، وفي عام ١٩٦٨ وعندما كان الفيزيائي الإيطالي غابريال فينيزيانو، المتخرج حديثاً يحاول فهم القوة النووية الشديدة اكتشف أن معادلة رياضية قديمة لعالم الرياضيات السويسري ليونارد أولير (١٧٠٧-١٧٨٣) تطابق مفهوم القوة النووية الشديدة وكانت هذه المعادلة بمثابة ولادة لنظرية الأوتار. الثورة التي أحدثتها هذه النظرية هي قابلية هذه الأوتار الدقيقة للتمدد إلى غشاء هائل بحجم الكون متعدد الأبعاد، وجود هذا الغشاء الهائل المتعدد الأبعاد يفتح الباب لفكرة جريئة وغريبة وهي أن الكون ما هو إلا غشاء واحد ضمن فضاء أوسع متعدد الأبعاد. ويستعمل البعض مثال الخبز الذي يمكن قطعه إلى عدة شرائح، فالكون ما هو إلا شريحة واحدة فقط وعليه فإن هناك العديد من الأكوان المجاورة وقد تكون هذه الأكوان مشابهة لهذا الكون أو قد تكون خاضعة لقوانين فيزيائية مختلفة تماماً.

### ٢-٣ توحيد القوى الأربعة

الهدف الكبير للفيزياء هو إيجاد نظرية أو علاقة رياضية واحدة تصبح معها القوى الأربعة حالات خاصة من قوة وحيدة اصطلح على تسميتها بالقوة الفائقة، ولكن هذا الهدف يواجهه مشكلات عديدة، أهمها وجود نظريتين كبيرتين تسودان الفيزياء، هما: نظرية أينشتاين في النسبية والنظرية الكمية، وحتى الآن لم يتمكن الفيزيائيون من توحيد هاتين النظريتين على نحو كليٍّ ومُرَضِي. تقوم الفيزياء الحديثة على ركيزتين أساسيتين، الأولى هي النظرية النسبية العامة لألبرت أينشتاين، والتي تعطي الإطار النظري لفهم العالم في أبعاده الكبرى: النجوم والمجرات وتجمعات المجرات، وحتى ما وراء المدى البعيد للكون نفسه. أما الركيزة الثانية فهي ميكانيكا الكم، وهي التي تقدم الإطار النظري لفهم العالم في أصغر أبعاده: الجزيئات والذرات وحتى الدقائق تحت الذرة مثل الإلكترونات والكواركات وبالرغم من إثبات صحة التنبؤات التي بشرت بها كل من هاتين النظريتين، إلا أن الوسائل النظرية في البحث أدت وبشكل لا يقبل الجدل إلى نتيجة غير مريحة في نفس الوقت وهي أن النظرية النسبية العامة ونظرية ميكانيكا الكم، تنفي إحداهما الأخرى بحيث لا بد من أن تكون واحدة منهما فقط على صواب. وهكذا فإن النظريتين اللتين تشكلان أساس التقدم الهائل في الفيزياء خلال المائة عام الماضية غير متوافقتين.

ترى النسبية العامة الكونَ كمتَّصلٍ مكاني-زمني محدَّبٍ بسبب وجود كتل كبيرة كالشمس؛ وهي تفسر الجاذبية تفسيراً جيداً. أما النظرية الكمية فهي تهتم عموماً بالأجسام الصغيرة، كالجسيمات التي يُعدّ تحديدها للمكان-الزمن مهملًا لضعفها. تدريجياً أصبحت النظرة السائدة للقوى على أنها تبادل لجسيمات بين الأجسام المتفاعلة: فتتأثر إلكترونين (التفاعل الكهرومغناطيسي) يتم بسبب تبادلهما لفوتونات ناقلة، وليس بسبب تضاؤلهما. وقد عُمِّمَت هذه النظرة على بقية القوى، فافتراض أن الجاذبية تسري عبر تبادل جسيمات تسمى الغرافيتونات. أما التفاعل الضعيف، فيما التفاعل القوي يتم عبر تبادل الغلوونات بين الكواركات، تلك الجسيمات  $Z$  و  $W \pm$  فهو يتم بواسطة جسيمات التي يُفترض أنها تولد البروتونات والنيوترونات. وهكذا صار مشروع توحيد القوى، من هذا المنظور، مرادفاً للبحث عن المركبات الأساسية للمادة.

كانت أول محاولة لتوحيد هذه القوى الأربعة في العصر الحديث هي محاولة توحيد القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة تحت مسمى القوة الكهروضعيفة. كان التوحيد مجرد حسابات رياضية وقام العلماء باستنتاج جزيء ولكن المشكلة الرئيسية في هذا التوحيد كانت التنبأت بأن «z-جديد لحامل هذه القوة الموحدة وسموه «جزيء القوتين لن تتوحدا إلا تحت طاقات حرارية هائلة جدًا أعلى حتى من حرارة قعر أضخم نجوم الكون. مثل هذه الحرارة تواجدت في فترة الانفجار العظيم ولكن تم إثبات أن هذه الطاقة الحرارية العالية يمكن بالفعل إنتاجها عن طريق مصادمة جزيء بروتون مع جزيء بروتون مضاد والتي أدت إلى نشوء طاقة هائلة جدًا مقاربة لما كانت عليه حرارة الانفجار العظيم».

بعد إثبات إمكانية الدمج بين القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة استمرت التنبؤات الرياضية تقول بأنه إذا ما تم العودة بالزمن أكثر للوراء وبالتحديد إلى بداية الكون لأصبحت الحرارة أشد بكثير وحينها تذوب أيضا القوة النووية القوية بفعل هذه الحرارة وتتوحد مع النووية الضعيفة والكهرومغناطيسية لتكون قوة واحدة، واسم الجزيء X.. الحامل لهذه القوة هو بوزون، يسمى. بوزون لكن لم يتم اكتشاف هذا الجزيء بعد.

هدف توحيد هذه القوى الأربعة يأمل العلماء في التوصل إلى مجموعة من التناظرات الرياضية التي يُطلق عليها اسم التناظر المعياري والتي لا يمكن وصفها بكلمات بسيطة. يرتبط التناظر المعياري، بفكرة المعايير (تبديل المستوى أو قيمة الكمية) وتتصف جملة ما بتناظر معياري، إذا لم تتبدل الطبيعة الفيزيائية للجملة نتيجة تحويل من هذا النوع، ولتوضيح الفكرة يستعمل البعض مثال السفر بالقطار فإذا كان المرء مسافراً، مثلاً، في قطار يسير بسرعة خطية منتظمة لما شعر بأثر لحركته؛ أما إذا دار القطار على خطٍ متعرج فإنه سيُشعر بقوة تختلف من نقطة إلى أخرى بحسب السرعة وتقوس الخط. فإذا أُجري تحويلاً معيارياً على أثر الدوران من خلال إدخال حقل جاذبية يعوّض عن التبدلات من نقطة لأخرى، يعود من جديد ليُشعر وكأن القطار ساكن على الرغم من دورانه، بذلك يكون قد جعل قوانين الفيزياء لا تتبدل بالنسبة إلى تحويلات معيارية محلية تتعلق بالمسافة.

الهدف الرئيسي هو توحيد القوى السابقة كلها مع الجاذبية. وأفضل نظرية مرشحة الآن هي نظرية «الأوتار الفائقة» التي تبحث عن تناظر فائق (تناظر افتراضي بين البوزونات والفرميونات، لكل فرميون نظير فائق هو عبارة عن بوزون، والعكس صحيح. تحل مشكلة التناظر الفائق هذه المشكلة، وتفترض هذه النظرية أن العالم يتألف من عشرة أبعاد على الأقل: الأبعاد الثلاثة المكانية والبعد الزمني، إضافة إلى ستة أبعاد جديدة لا يمكن رؤيتها لأنها منطوية على ذاتها (أي أنها صغيرة جداً، لا تشعر بها سوى الجسيمات، مما يسمح بتوحيد هويتها). أما لبنة الكون الوحيدة فهي «الوتر» الذي يمكن أن القول، في تبسيط مفرط، بأن الجسيمات المختلفة تشكّل «اهتزازات» متباينة له

### ٣-٣ نموذج الوتر

مقتضى نظرية الأوتار هذه فإن محتويات الكون ليست جسيمات أولية، بل خيوط دقيقة جداً، ذات بُعد واحد أشبه بأشرطة مطاطية متناهية الدقة، تتذبذب إلى الأمام والوراء. وتقول هذه النظرية أن الأوتار مقومات مجهرية فائقة الصغر تتكون منها الجسيمات الدقيقة التي منها تتكون الذرات وعليه فإن لبنات الطبيعة الأساسية تتكون من أوتار دقيقة مهتزة. فإن كان ذلك صحيحاً فإن كل أشكال المادة بدءاً من أجساد الكائنات الحية وانتهاءً بالنجوم البعيدة تتكون في الجوهر من أوتار. لم يشاهد أحد هذه الأوتار ذلك أنها أكثر ضآلة من أن تُرى أو تلاحظ ويبدو العالم وفقاً لنظرية الأوتار الفائقة مصنوعاً من جسيمات نقطية لأن أدوات القياس الحالية بدائية وبسيطة لدرجة لا تستطيع معها أن

تتحسس تلك الأوتار الضئيلة. وطول الوتر، كما يزعم أصحاب هذه النظرية، أصغر بمقدار مئة مليار مليار مرة من نواة الذرة. هذه الصورة تكملة للفكرة القديمة التي أدخلها موري غيل وكازوهيكو نيشيجيما في عام ١٩٦١ والتي نصت على أن النيوترونات والبروتونات مصنوعة من كواركات. حيث أضافت نظرية الأوتار الفائقة إن على هذه الكواركات أن تكون مضمومة معاً بقوة ما، وبذلك كانت الصورة أن الأوتار وصف للقوة التي تمسك بالكواركات معاً، على شاكلة نتف من المطاط. ويمكن أن يتخيل المرء بأن الكواركات وكأنها مربوطة عند أطراف هذه الأوتار.

تنص النظرية بأن الوتر (الوحدة البنائية الأساسية للدقائق العنصرية من إلكترونات وبروتونات ونيوترونات وكواركات) من المحتمل أن يكون عبارة عن خيط دائري مغلق ومن المحتمل أيضاً أن يكون خيطاً مفتوحاً بطرفين. فبالنسبة للقوى الثلاثة الكهرومغناطيسية والقوة النووية القوية والقوة النووية الضعيفة، يكون الوتر مفتوحاً ذا طرفين «ملتصقين» بغشاء الكون، أما بالنسبة لقوة الجاذبية فالوتر عبارة عن خيط دائري ليس له طرف ليرتبط بهذا الكون بل له الحرية بالدخول والخروج من هذا الكون. ولتوضيح ذلك يُضرب مثال المغناطيس والمسمار، فعندما يجذب المغناطيس المسمار من على سطح الأرض فالجزئيات التي تجذب المسمار إلى المغناطيس مثبت على غشاء الكون. أما القوة المضادة وهي قوة الجاذبية فجزئياتها تدخل وتخرج من هذا الكون لعدم ارتباطها بالغشاء، لكن لا يوجد حتى الآن أي إثبات عملي على هذا الكلام لأن هذه الأوتار متناهية في الصغر ومن المستحيل رؤيتها لذلك فالطريقة الوحيدة لاختبار هذه النظرية هي البحث عن تنبؤاتها.

من المفترض أن تقوم نظرية الأوتار الفائقة بفهم جميع الأحداث المبكرة عند نشوء الكون ووقوع الانفجار العظيم حيث يعتقد ستيفن هوكينغ أن الحرارة الهائلة للانفجار العظيم تؤدي إلى انعدام الفوارق بين الزمن والفضاء، ويُصبح الزمن بُعداً فضائياً، أي أن الزمن «يتفضأ» على حد تعبير هوكينغ. وقد استند هوكينغ إلى الأعداد التخيلية، وطبقها على مفهوم الزمن، «وعند ذلك سيفقد الزمن طابعه الأساسي في جريانه الدائم باتجاه واحد هو المستقبل»، أو ما يُسمى سهم الزمن، وهذا الزمن الخيالي سيؤشر إلى الاتجاهين المتعاكسين. وتصور هوكينغ أن الزمن يرتد إلى الوراء في ظروف خاصة: يحدث هذا كما قال، عندما يكفّ الكون المتحدد حالياً عن النمو ويبدأ بالتقلص. في عام ٢٠٠٢ ألف هوكينغ كتابه الكون في قشرة جوز وفيه يقول إن الكون بدأ في شكل كرية مفلطحة في أجزاء منها، تشبه قشرة الجوز في حجمها وشكلها وإن الثقوب السوداء لم تعد كاملة السواد، وإنما هي تشع وتتبخر لتتلاشى، وحيث ينشأ الكون من بذرة حجمها وشكلها كثرمة جوز.

استناداً إلى العالم الأميركي براين غرين في كتابه من عام ٢٠٠٠ «الكون الأنيق فإنه في ومضات زمنية قصيرة جداً (نحو واحد على عشرة ملايين التريلونات، التريلونات، التريلونات من الثانية) ومسافة فضائية قصيرة جداً (نحو واحد من مليار ترليون ترليون من السنتيمتر)، تشوه اضطرابات ميكانيك الكم والفضاء والزمن إلى حد أن المفهوم التقليدي لليسر واليمين والخلف والأمام، والأعلى والأسفل والقبل والبعد يصبح لا معنى له، ويعتقد غرين ان العالم مشرف على ثورة كبرى، ستكشف النقاب عن الطبيعة الجوهرية للزمن والفضاء، هذه ستتخلص عن صوغ لقانون طبيعي جديد بكل معنى الكلمة سيُلزم العلماء على التخلي عن مصفوفة الفضاء - الزمن التي كانوا يتعاملون معها لقرون، مقابل عالم مجرد من الفضاء والزمن.

يعتقد المؤمنون بهذه النظرية بأن هنالك إمكانية حول انبثاق الجوهر من فيزياء الأبعاد الإضافية أكثر من أبعاد الفضاء الثلاثة المعهودة ويتكوّن هنا على نظرية الأوتار، التي تنتبأ بوجود عشرة أبعاد، أربعة منها هي أبعادنا الثلاثة المعروفة مضافاً إليها الزمن. أما الستة المتبقية فينبغي أن تكون خفية. وهناك بديل آخر، هو تطوير لنظرية الأوتار، وذلك بإضافة بعد آخر إلى العشرة، ليصبح عدد الأبعاد أحد عشر. وهذا كله بعد الاحتكام إلى الرياضيات لإيجاد حل مفترض للتنسيق بين نظرية النسبية العامة حول الجاذبية، ونظرية ميكانيك الكم التي تتعامل مع أجزاء الذرة.

### ٤-٣ نظرية الأوتار الفائقة

استناداً إلى نظرية الأوتار الفائقة فإن الكون ليس وحيداً، وإنما هناك أكوان عديدة متصلة ببعضها البعض، ويرى العلماء أن هذه الأكوان متداخلة ولكل كون قوانينه الخاصة به، بمعنى أن الحيز الواحد في العالم قد يكون مشغولاً بأكثر من جسم ولكن من عوالم مختلفة، وبحسب هذه النظرية فإن الكون ليس إلا سيمفونية أوتار فائقة التذبذب، فالكون عزف موسيقي ليس إلا ومن الممكن معرفة الكون ومما يتكوّن من خلال معرفة الأوتار ونغماتها، فالكون يتصرف على نمط العزف على الأوتار

| نظريات الأوتار |             |   |
|----------------|-------------|---|
| نوع النظرية    | عدد الأبعاد | موجز  |
| البوزونية      | 26          | حسب هذه النظرية فالوتر عبارة عن جسيمات تنقل القوة فقط وقد يكون الوتر مفتوحاً أو مغلقاً. لكن المشكلة الرئيسية هنا هو أن الوتر عبارة عن جسيم ذو كتلة افتراضية تخيلية وتم إطلاق تسمية تالكون على هذا الجسيم. <sup>[12]</sup> |
| I              | 10          | حسب هذه النظرية هناك تناظر فائق بين البوزون والفرميون أي أن لكل بوزون نظير فرميوني ولكل فرميون نظير بوزوني.   |
| IIA            | 10          | حسب هذه النظرية هناك تناظر فائق لكن الوتر هو من النوع المطلق فقط ولا تعترف بوجود جسيم ذو كتلة افتراضية (تالكون).  |
| IIB            | 10          | حسب هذه النظرية هناك تناظر فائق للوتر المطلق فقط بالإضافة إلى أن الوتر يتحرك باتجاه واحد فقط  |
| HO             | 10          | هناك تناظر فائق في الوتر من النوع المطلق فقط وهناك اختلاف في الوتر المتحرك ساراً عن الوتر المتحرك يميناً.   |
| HE             | 10          | نفس التناظر السابق مع اختلاف طفيف في تناسق الوتر والصيغة الرياضية للتناسق.  |

كان هنالك اعتقاد في السابق بأن كل نظرية من النظريات المذكورة أعلاه مستقلة عن بعضها البعض لكنه تم التوصل إلى اكتشاف نوع من العلاقة بينها وسميت هذه العلاقة بالثنائيات ومعناها أن كل نظرية يمكن تحويلها إلى نظرية أخرى.

### ٥-٣ العلاقة مع النظرية النسبية

النظرية النسبية العامّة هي نظرية نشرها ألبرت أينشتاين في عام ١٩١٥. وهي تمثل الوصف الحالي للجاذبية في الفيزياء الحديثة. كما أنها تعميم للنظرية النسبية الخاصة، حيث توحد بين النسبية الخاصة وقانون نيوتن للجاذبية، وتصف الجاذبية كخاصة لهندسة المكان والزمان، أو ما يعرف بالزمكان.

وأضافت النظرية النسبية العامة فكرة تقعر الفراغ بوجود المادة، وهو الأمر الذي يعني أن الخطوط المستقيمة تتشوه بوجود الكتلة، وأثبتت النظرية النسبية العامة عندما تحقق تنبؤ أينشتاين بالتباعد الظاهري لنجمين في فترة كسوف الشمس وذلك يعود إلى تشوه مسار الضوء القادم من النجمين بسبب مرورهما قرب الشمس ذات الكتلة العالية نسبيًا وبالتالي تقوس خط سير الضوء القادم من النجمين.

### ٦-٣ العلاقة مع نظرية الكم

ميكانيكا الكم نظرية فيزيائية أساسية، جاءت كتعميم وتصحيح لنظريات نيوتن التقليدية في الميكانيكا. وخاصةً على المستوى الذري ودون الذري. تسميتها بميكانيكا الكم يعود إلى أهميّة الكم في بنائها (وهو مصطلح فيزيائي يستخدم لوصف أصغر كمية يمكن تقسيم الأشياء إليها، ويستخدم في الإشارة إلى كميات الطاقة المحددة التي تنبعث بشكل متقطع، وليس بشكل مستمر). كثيرًا ما يستخدم مصطلحي فيزياء الكم والنظرية الكمومية كمرادفات لميكانيكا الكم. وبعض الكتاب يستخدمون مصطلح ميكانيكا الكم للإشارة إلى ميكانيكا الكم غير النسبية.

### ٧-٣ الصعوبات الرئيسية في الفكرة

استنادًا إلى جون شوارتز، أستاذ الفيزياء بمعهد كاليفورنيا التقني (كالتيك)، هناك العديد من الصعوبات التي تواجه نظريات الأوتار، منها:

- ذلك الجسيم عديم الكتلة (الوتر عبارة عن جسيم ذو كتلة افتراضية تخيلية وأطلقت تسمية تاكيون على هذا الجسيم) الذي تفرزه الرياضيات إلزاميًا ولا ينتمي إلى مجموعة الجسيمات التي يصادفها المرء في العمليات النووية.
- إن تماسك النظرية رياضياً يتطلب أن يكون الزمكان ذا أبعاد أكثر من أربعة.
- عشرة أبعاد إضافية مسألة خطيرة جدًا في مجال توصيف الجسيمات النووية، ذلك أنه من المعلوم حق العلم أنه يوجد ثلاثة أبعاد مكانية وواحد زمني، وأن الموقف لا يحتمل مطلقًا أبعادًا إضافية.
- إحدى المسائل البارزة في برنامج الأوتار الفائقة هي مسألة تحديد الشكل الخاص الذي تتخذه الأبعاد الإضافية في التفافها على نفسها.

- النظرية ليست مفهومة فهماً كاملاً والمشكلة الكبرى تكمن في محاولة فهم لماذا يجب أن يكون واحد من هذه الحلول أفضل من سواها. لا يوجد في المرحلة الراهنة أية طريقة للاختيار بين هذه الحلول سوى القول بأن أحدها يتفق مع الطبيعة بشكل أفضل من غيره لكن لا يوجد معيار رياضي لاختيار الأفضل.
- التعويل على فكرة أن العالم قائم حقا على مبادئ رياضية وأنه يوجد تفسير منطقي لكل شيء، والرياضيات طريقة لوصف الأشياء بشكل منطقي.
- صعوبة، بل استحالة، اختبار النظرية بصورة عملية في المختبر بسبب الحيز الذي هو عبارة عن مسافات بالغة الصغر

## المصادر

1-

[https://ar.m.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D8%B8%D8%B1%D9%8A%D8%A9\\_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%88%D8%AA%D8%A7%D8%B1](https://ar.m.wikipedia.org/wiki/%D9%86%D8%B8%D8%B1%D9%8A%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D8%A3%D9%88%D8%AA%D8%A7%D8%B1)

٢ - <https://www.almrsal.com/post/1007875>

٣- <https://www.nuclear-power.net/nuclear-power/reactor-physics/atomic-nuclear-physics/atomic-theory/thomson-model-of-the-%20%20atom-plum-pudding-model>

٤-"Gas Laws", schools.nbisd, Retrieved 2/10/2021. Edited

٥- G. E. Uhlenbeck, S. Goudsmit: Ersetzung der Hypothese vom unmechanischen Zwang durch eine Forderung bezüglich des inneren Verhaltens jedes einzelnen Elektrons. In: Naturwissenschaften. Bd. 13 Nr. 47, 1925, S