الفصل الثانى

تركيـــب المـــادة

١) نبذة تاريخية :

بداية، تطورت النظرية الفلسفية عن المادة، على يدى الفيلسوف اليونانى ديمقراطيس الذى عاش بين نهاية القرن الخامس وبداية القرن الرابع قبل الميلاد (٤٧٠ – ٣٧٠ ق.م) وهذه النظرية ليس لها أى سند من الحقائق التجريبية بقدر ما كانت محاولة لفهم الكون من وجهة النظر الفلسفية فى هذه النظرية، افترض «ديمقراطيس» أن جميع المواد تتكون من جسيمات متناهية الصغر غير قابلة للانقسام وقد أُطلق اسم الذرة (Atom)على هذا الجسيم متناهى الصغر. وبناء على ذلك، فإن أى عينة من العنصر النقى يمكن تجزئتها إلى أجزاء صغيرة ثم إلى أجزاء أصغر حتى نصل إلى الحد الذى يصبح الجزء غير قابل للإنقسام. وكما افترض ديمقراطيس أن جميع الذرات

obeikandl.com

متشابهة وتصنع من المادة الأساسية، وأن ذات العناصر يكون لها أشكال وأحجام مختلفة. وتحدد خواص المادة طبقاً لأشكال وأحجام ذراتها. على سبيل المثال، تكون الذرات فى الموائع ملساء لدرجة تمكنها من الإنزلاق فوق بعضها البعض، أما ذرات المادة الصلبة فتكون خشنة ومتقاربة لدرجة تمكنها من الالتصاق بعضها مع بعضها، بالإضافة إلى تكون المادة من ذرات متناهية الصغر، افترض ديمقراطيس أن تكون المادة عبارة عن فضاء فارغ. واعتقد قدماء الإغريق بأن الذرات والفضاء الفارغ اللذان يكونان المادة هما الحقيقة الأخيرة لفهم الكون.

١ - ١) ميلاد النظرية الذرية الحديثة :

سادت فروض ديمقراطيس عن ماهية الذرة، حتى بداية القرن التاسع عشر الميلادى، عندما تمكن العلماء بعد مرحلة من الكفاح من وضع نظرية ذرية حديثة تمكنهم من فهم كم يكون عدد الذرات فى العنصر الواحد الذى يتواجد فى أشكال صلبة أو سائلة أو غازية.

وكانت أعمال الكيميائى الإنجليزى «جون دالتون» فى

بداية القرن التاسع عشر أول دليل علمى حول الطبيعة الحقيقية للذرات. لقد درس دالتون كيفية إرتباط كميات من العناصر المختلفة لتكوين مادة أخرى، مثل إتحاد عنصرى الهيدروچين والأوكسچين لتكوين الماء.

وفى كتابه الشهير بعنوان «نظام جديد لفلسفة الكيمياء» الذى صدر عام ١٨٠٨ م، وضع دالتون فرضيان أساسيان حول الذرات هما:

(١) تتشابه ذرات العنصر الواحد ولكنها تختلف بإختلاف العناصر.

(٢) تتشكل المواد الأكثر تعقيداً باتحاد ذرات العناصر المختلفة.

وبناء على ذلك فإن الذرات تتحدد الخواص الكيميائية والفيزيائية للمادة مهما كان شكلها، على سبيل المثال، ذرات الكربون قد تتواجد على هيئة الماس الصلد أو على هيئة جرافيت مرن. وطبقاً للنظرية الذرية اليونانية لديمقراطيس، فإن ذرات الألماس تختلف عن ذرات الجرافيت، أما فى نظرية دالتون تكون الذرات متشابهة فى كلتا الحالتين الألماس والجرافيت لأنهما مركبان من نفس العنصر الكيميائى.

والجدير بالذكر أن دالتون لاحظ أكثر من طريقة يمكن أن تتحد بها العناصر المختلفة، على سبيل المثال يعرف حالياً العلماء المعاصرين أن أول وثانى أكسيد الكربون هما أحد مركبات اتحاد الكربون والأوكسچين. وقد توصل دالتون إلى أن كميات العنصر المطلوب معرفتها لتشكيل مركبات أخرى تكون دائماً عدد صحيح مضروب بعضه البعض، فمثلاً نحتاج إلى مقدار الضعفين من عنصر الأكسچين لتكوين لتر واحد من أول أكسيد الكربون. هذه المركبات الوليدة أطلق عليها العلماء المعاصرين اسم الجزيئات.

١ - ٢) حالات المادة :

فى حينه، وضع العلماء فرضاً صحيحاً، بأن الذرات وهى فى الحالة الصلبة تتجاذب مع بعضها بقوة تكون كافية لتماسك الصلب معاً. فى ذلك الوقت لم يستطيعوا فهم لماذا لا تتجاذب ذرات المادة وهى فى الحالة السائلة أو الحالة الغازية بشدة. بعض العلماء ارتأى فى هذا الشأن أن تكون القوة بين الذرات تجاذبية عندما تكون المسافات التى تفصل بينها كبيرة

(كما هو الحال فى السوائل والغازات). وفى الحقيقة واجه العلماء صعوبة بالغة فى معالجة إمكانية تواجد المادة فى حالاتها المختلفة الصلبة والسائلة والغازية، وذلك لعدم فهمهم لطبيعة الحرارة بدرجة كافية. وفى الوقت الحالى، نعرف أن الحرارة هى شكل من أشكال الطاقة وأن اختلاف مقدار الطاقة فى المادة يؤدى إلى تواجدها فى حالات مختلفة.

وفى القرن التاسع عشر إعتقد الناس أن الحرارة هى من مكونات المادة وأطلقوا عليها اسم «السعرية» ويمكنها أن تنتقل من جسم إلى آخر. هذا التفسير أطلق عليه اسم «النظرية السعرية». لقد استخدم دالتون هذه النظرية وفرض أن جزئ الغاز يكون محاط بواسطة السعرية والتى يتولد عنها قوة تنافر تفصله عن الجزيئات الأخرى. وبناء على نظرية دالتون، وعند تسخين الغاز تضاف سعرات إليه، مما يزيد من قوة التنافر بين الجزيئات وتبعاً للتجارب المعملية وجد أن بزيادة السعرات يزداد ضغط الغاز على جدران الوعاء. والجدير بالذكر أن هذا التفسير المبكر عن الحرارة وحالات المادة قد تحطم عندما بينت التجارب التى أجريت فى منتصف القرن التاسع عشر أن الحرارة تغير من طاقة

الحركة. وطبقاً للقوانين الفيزيائية فإن كمية الطاقة فى النظام لا تزداد، حينئذٍ تقبل العلماء أن الحرارة هى شكل من أشكال الطاقة وليست إحدى مكونات المادة.

١ - ٣) سلوك الغازات :

فى بداية القرن التاسع عشر تمكن الكيميائى الإيطالى «أميديو افاجادرو» من فهم كيفية سلوك الذرات والجزيئات فى الغاز. لقد بنى أفاجادرو عمله مستنداً على نظرية دالتون التى فرضت أن مركبات الغاز التى تتشكل باتحاد أعداد متساوية من ذرات عنصرين يكون لها نفس عدد الجزيئات التى تتساوى مع عدد ذرات العناصر الأساسية، على سبيل المثال، عند اتحاد عشر ذرات من عنصر الهيدروچين مع عشر ذرات من عنصر الكلورين فإنه يتكون عشرة جزيئات من غاز كلوريد الهيدروچين وفى عام ١٨١١ وضع أفاجادور قانوناً فيزيائياً يبدو متناقضاً مع نظرية دالتون، وينص على: عند إضافة حجمين متساويين من الغازات المختلفة، فإنها تحتوى على نفس عدد الجسيمات (ذرات أو جزيئات) إذا كان كلا الغازين عند نفس درجة الحرارة والضغط.

ففى تجربة دالتون، فإن حجم الأوعية الأساسية التى تحتوى على غازى الهيدروچين والكلور مساوى لنفس حجم الوعاء الذى يحتوى على غاز كلوريد الهيدروچين، عندئذ كان الضغط الغازى للهيدروچين والكلور الأساسى متساوياً بينما كان ضغط غاز كلوريد الهيدروچين مساوياً لضعف ضغط أى من الغازين الأساسيين. وطبقاً لقانون أفاجادرو فإن زيادة الضغط إلى الضعف يعنى أن عدد جزيئات غاز كلوريد الهيدروچين زاد إلى الضعف بالمقارنة بعدد الجزيئات لكل من الهيدروچين والكلور قبل اتحادهما. ومن أجل التقريب بين وجهتى النظر لكل من دالتون وأفاجادرو، فقد تم دفع أفاجادرو لكى يتضمن فى نتائج تجربته أن الأوعية الأساسية للهيدروچين أو للكلور تحتوى فقط على نصف عدد الجسيمات التى كان يفكر بها دالتون. ومهما كان، لقد عرف دالتون الوزن الكلى لكل غاز مما تواجد فى الوعاء. وقد أدرك أفاجادرو حقيقة تواجد ضعف عدد الذرات كلما تواجدت الجسيمات فى الوعاء وذلك بفرض أن غازى الهيدروچين والكلور مصنوعان من جزيئات وكل جزئ يتكون من ذرتين من الهيدروچين أو الكلور: وبناء على ذلك فإن عينة

من غاز كلوريد الهيدروچين تحتوى على ضعف عدد الجسيمات لأى من الهيدروچين أو الكلور، لأن جزيئان من كلوريد الهيدروچين يتشكلان عندما يتحد جزئ من الهيدروچين مع جزء من الكلور.

١ - ٣) القوى الكهربية فى الذرات :

فى عام ١٨٣٠ أخذ الفيزيائى الإنجليزى «مايكل فاراداى» أول خطوة ذو مغزى نحو التعبير عن أهمية القوى الكهربائية فى المركبات. فقد وضع فاراداى قطبين كهربائيين يتصل كل منهما بأحد أقطاب بطارية فى محلول من الماء يحتوى على مركب مذاب. ولاحظ فاراداى أنه بزيادة شدة التيار الكهربائى المار فى المحلول يتحلل إلى مركبات الأصلية ويترسب أحد عناصره على أحد القطبين بينما يترسب العنصر الآخر على القطب الآخر وقد اكتشف فاراداى أن كمية كل عنصر مترسب على كل قطب تتناسب طردياً مع مقدار شدة التيار الذى يمر فى المحلول. فكلما ازدادت شدة التيار، ازدادت كمية المادة المترسبة. وقد أدى هذا الاكتشاف بكل وضوح أن القوى الكهربائية هى المسئولة عن ارتباط الذرات فى المركب.

وبالرغم من الإكتشافات الهامة، فإن أكثر العلماء لم يتقبلوا بسهولة وصف الذرات لدالتون أو أفاجادرو أو فاراداى وأنها هى المسئولة عن سلوك المادة «فيزيائيا» أو «كيميائيا» وقبل نهاية القرن التاسع عشر اعتقد كثير من العلماء أن جميع الخواص الفيزيائية والكيميائية يمكن التحكم بها عن طريق القواعد الحرارية. هذا التصور يقرب الفهم عن ماهية الذرات من التصور الفلسفى اليونانى القديم : وكان لتطور علم الديناميكا الحرارية والتعارف على أن الحرارة هى إحدى أشكال الطاقة. وبناء على ذلك اعتبر العلماء أن الديناميكا الحرارية من أهم فروع الفيزياء وأكثرها شأنًا خاصة فى ظل الحيرة والبلبلة فى تفسير العلاقة بين الحرارة Heat ودرجة الحرارة Temperature وقد أمكن التوصل للربط بينهما من خلال وضع مفاهيم جديد لميكانيكا الشغل والطاقة والنظرية الجديدة للحرارة تسمى «النظرية الديناميكية» تقول أن الذرات أو الجزيئات فى أى مادة تتحرك أسرع عندما تكتسب طاقة حركة، ويتم ذلك كلما تم إضافة حرارة إلى المادة. وبالرغم عن ذلك، تبقى مجموعة صغيرة من العلماء غير مقتنعين بقبول فكرة

وجود الذرات. وأن هؤلاء اعتبروا أن الذرات ما هى إلا وسيلة رياضية لشرح كيمياء المركبات، وبالتالى فهى ليس لها أى كيان ذاتى حقيقى. وفى عام ١٩٠٥ أجرى الكيميائى الفرنسى «چين – باپتست پيرين» تجربة نهائية ساعدت فى إثبات النظرية الذرية للمادة، فقد شاهد پيرين إهتزازات غير منتظمة لحبوب اللقاح المعلقة فى السائل هذه الظاهرة تسمى «الحركة البرونية»، وقد فسرت الإهتزازات على أنها نتيجة لتصادم ذرات المائع مع حبوب اللقاح. وقد بينت هذه التجربة صحة فكرة أن المواد تتكون من ذرات حقيقية تكون فى حالة حركة حرارية. ومنذ ذلك الوقت بدأ العلماء فى قبول النظرية الذرية، وتحول الباحثين لبذل مزيد من الجهد لفهم الخصائص الكهربائية للذرة. ومن أبرز هؤلاء العالم الإنجليزى «سير ويليام كروكز» الذى درس تأثير مرور التيار الكهربائى خلال الغاز. فى هذه التجربة يتم وضع كمية صغيرة من الغاز فى أنبوبة زجاجية محكمة الغلق. ويتواجد على طرفى الأنبوبة قطبين كهربائيين. وعندما يتم إمرار التيار الكهربائى، فإن تياراً من الجسيمات المشحونة كهربائياً ينساب من أحد القطبين. هذا

القطب يسمى الكاثود وهذه الجسيمات سميت بأشعة الكاثود وهذه الجسيمات سميت بأنشطة الكاثود.

فى بداية الأمر، اعتقد العلماء أن هذه الأشعة تتكون من ذرات أو جزيئات مشحونة، إلا أن التجربة بينت أن أشعة الكاثود يمكنها أن تخترق شرائح رقيقة من المادة والتى لا يمكن لجسيمات كبيرة مثل الذرة أو الجزئ من افتراقها. وقد تمكن الفيزيائى الإنجليزى سير «جوزيف چون طومسون» من قياس سرعة أشعة الكاثود وتبين أن مقدار هذه السرعة أكبر من سرعة الذرات أو الجزيئات. فلا نعرف أى من القوى التى يمكن أن تعجل جسيم ثقيل مثل الذرة أو الجزئ بمثل هذه السرعة العالية. وأيضاً تمكن طومسون من قياس النسبة بين شحنة وكتلة أشعة الكاثود. وكانت قيمة هذه النسبة حوالى ألف مرة أكبر من أى قياسات سابقة من تلك القياسات التى ارتبطت بشحنة الذرات أو الجزيئات، مما يدل على أن جسيمات متناهية الصغر خلال أشعة الكاثود تحمل كميات كبيرة نسبياً من الشحنة.

لقد درس طومسون غازات مختلفة وكان دائماً يحصل

على نفس النسبة بين مقدار الشحنة إلى الكتلة. وقد لخص مشاهداته بإكتشاف نوع جديد من الجسيمات تحمل شحنة كهربائية سالبة ولكنها أخف فى القدرة بمقدار ألف مرة من كتلة الذرة المعروفة فى ذلك الوقت. وقد استنتج أن هذه الجسيمات هى مكونات لجميع الذرات. واليوم يعرف العلماء هذه الجسيمات «بالإلكترونات».

١ - ٥) نواة الذرة لراذرفورد :

لقد أدرك العلماء أنه إذا كانت جميع الذرات تحتوى على إلكترونات ولكنها فى نفس الوقت فهى متعادلة كهربائياً، فلابد أيضاً أن تحتوى تلك الذرات على عدد متساوٍ من الشحنات الموجبة للاتزان مع عدد الإلكترونات ذو الشحنة السالبة. بالإضافة إلى أنه إذا كانت كتلة الإلكترونات ضئيلة بالمقارنة مع أخف الذرات، إذاً فإن الشحنة الموجبة يجب أن تعوض الكتلة الباقية من الذرة.

لقد وضع طومسون نموذجاً لتفسير هذه الظاهرة وفرض أن الذرة هى كرة من الشحنة الموجبة التى ينغمس فيها

الإلكترونات السالبة مثل انغماس حبات الزبيب فى رغيف الخبز.

فى عام ١٩١١ وضع العالم الإنجليزى أرنست راذرفورد اختباراً لفرض طومسون بواسطة قذف شعاع من الجسيمات المشحونة نحو الذرات فى هذه التجربة اختار راذرفورد جسيمات ألفا لشعاعه، حيث أن هذه الجسيمات تكون ثقيلة وتحتوى على ضعف الشحنة الموجبة. وحالياً نعرف أن جسيمات الفا هى نوى ذرات الهليوم التى تحتوى على بروتونين ونيوترونين.

لقد نجح راذرفورد فى إجراء تجربته الشهيرة لدراسة تشتت جسيمات الفا الثقيلة موجبة الشحنة عند سقوطها على شريحة معدنية رقيقة من الذهب. وكانت مفاجئة كبيرة عندما وجد راذرفورد أن قليلاً من جسيمات الفا فقط قد انحرف عند المرور خلال الشريحة. أما العدد الأعظم منها فقد نفذ بسهولة من الشريحة دون أى تأثير. من هنا وضع «راذرفورد» نموذجاً جديداً للشكل الذرى، فتتكون الذرة فى هذا النموذج من مركز ثقيل يحتوى على شحنة موجبة ويحوم حول هذا المركز وفى مدارات خاصة الإلكترونات سالبة الشحنة، وتستقر الإلكترونات فى

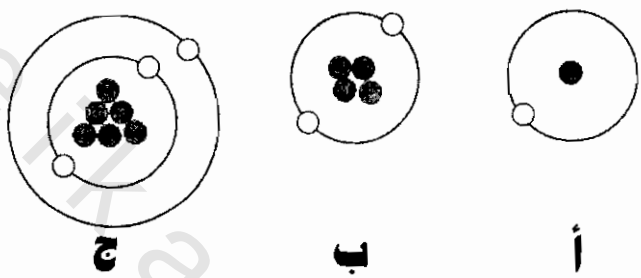
مداراتها بفعل القوة الكهربائية بينها وبين الشحنات الموجبة فى المركز. ويشبه هذا النموذج بالنظام الشمسى الذى يتماسك معاً بفعل قوة الجاذبية. فعلى امتداد مائة عام من عصر دالتون إلى عصر راذرفورد، كانت الفكرة الأساسية حول التركيب البنائى للذرات تتطور من القواعد الرئيسية لكيفية اتحاد الذرات معاً إلى محاولة فهم مكونات الذرات التى تتشكل من نواة ذات شحنة موجبة تحاط بالإلكترونات ذوات الشحنة السالبة. وهذا التصور عن تركيب الذرة احتاج إلى مزيد من الدراسة لمعرفة التفاعلات بين النواة والإلكترونات. وكان من الطبيعى على الفيزيائيين دراسة هذا النموذج الذرى، حيث تدور الإلكترونات متناهية الصغر فى مدارات حول النواة الثقيلة، كما هو الحال فى نظام المجموعة الشمسية، حيث تدور الكواكب فى مدارات حول الشمس الثقيلة. ولذلك اعتبر نموذج راذرفورد لوصف الذرة بأنه نظام شمسى متناهى الصغر.

١ - ٦) نموذج بور (Bohr)

لقد استعمل الفيزيائى الدنماركى «نيل بور» معارف جديدة حول الانبعاث الإشعاعى من الذرات لتطوير النموذج الذرى والذى إختلف بوضوح عن نموذج راذرفورد. ففى القرن التاسع عشر إكتشف العلماء انبعاث الضوء من ذرات الغاز المتواجد داخل أنبوبة زجاجية محكمة الغلق، ويتم ذلك عند مرور شحنة كهربائية داخل الغاز. ويحدث هذا الإشعاع عند طول موجى محدد يعتمد على نوع الغاز والعناصر المختلفة المكونة له. لقد عمل «بور» فى معمل راذرفورد لوضع مفهوم حول الإنبعاث الإشعاعى عند الأطوال الموجية التى تعتمد على النموذج النووى للذرات. وبإستخدام نموذج راذرفورد الذرى كما لو أنه مجموعة شمسية متناهية الصغر، تمكن «بور» من تطوير نظرية مكنته من التنبؤ بنفس الأطوال الموجية التى يستطيع العلماء قياسها للانبعاث الإشعاعى من الذرات بواسطة إلكترون وحيد. وعندما نتصور هذه النظرية، نجد أن «بور» وضع إستنتاجات مبدئية، نظراً لانبعاث الضوء من الذرات عند أطوال موجية منفصلة، وهذا يحتم دوران الإلكترونات فى مدارات

نموذج طومسون للذرة
إلكترونات مشحونة بشحنة سالبة مرصعة نواة هلامية
مشحونة بشحنة موجبة

obeikandl.com



نموذج بوهر للذرة
إلكترونات مشحونة بشحنة سالبة تحوم فى مدارات حول
النواة المشحونة بشحنة موجبة

أ) ذرة الهيدروجين (إلكترون يحوم حول النواة المكونة من بروتون واحد)

ب) ذرة الهليوم (إلكترونين يحومان حول النواة المكونة من برتونين ونيوترونين .

ج) ذرة الليثيوم (ثلاث إلكترونات تحوم حول النواة المكونة من ثلاثة بروتونات وثلاثة نيوترونات .

obeikandl.com

محددة أنصاف أقطارها حول النواة. وأن الضوء ينبعث فقط عندما يقفز إلكترون بين هذه المدارات. وقد تعارض هذان الاستنتاجان مع مفهوم الفيزياء الكلاسيكية الذى كان سائداً فى ذلك الوقت والذى لم يضع أى قيود حول حجم مدارات الذرة. ومن أجل استعمال هذه النظرية وضع «بور» قواعد خاصة مخالفة لقواعد الفيزياء الكلاسيكية، فقد استخلص أنه على المقياس الذرى، فإن المدارات المفضلة للحركة تكون مستقرة، أى أن الإلكترونات التى تدور فى هذه المدارات لا ينتج عنها أى انبعاث إشعاعى (وهذا يتناقض مع قوانين الكهرومغناطيسية).

والجدير بالذكر أنه وأثناء تطوير العالمان «بور» وراذرفورد للنموذج النووى للذرة، قد بينت بعض التجارب المشابهة فشل الفيزياء الكلاسيكية. هذه التجارب شملت الانبعاث الحرارى للإشعاع من الأجسام الساخنة والمتوهجة وانبعاث الإلكترونات من أسطح المعادن عند تشخيصها بالضوء فى المدى الطيفى فوق البنفسجى، وهذا ما عرف بالتأثير الكهروضوئى. ولم تستطع الفيزياء الكلاسيكية تفسير هذه المشاهدات، ولذلك أدرك

العلماء حاجتهم إلى مسلك آخر. وهذا المسلك الجديد أطلقوا عليه اسم «ميكانيكا الكم»، وتطورت الرياضيات الأساسية لهذه الميكانيكا فى حقبة العشرينات من القرن الماضى. فإن قوانين الفيزياء الكلاسيكية تعمل بدقة على المقياس اليومى للأجسام. ولكن على المقياس الذرى متناهى الصغر فإن قوانين ميكانيكا الكم هى التى تسود.

١ - ٧) نظرية الكم للذرات :

فى الفترة من ١٩٢٤ – ١٩٣٠ م اهتم الفيزيائيون بتطوير منهج ديناميكى نظرى للمساعدة فى دراسة سلوك الأجسام دون الذرية. وفى عام ١٩٢٤ م، فرض الفيزيائيان «لويس ڤكتور» و «دى برولى» أن الأجسام المادية لها خاصية موجية مثل الأشعة الكهرومغناطيسية. هذا الفرض كان مدخلاً لما يسمى الآن «بميكانيكا الكم» أو «ميكانيكا الموجات». وبناء على ذلك فإن الطول الموجى لما يسمى موجات المادة يعطى بالعلاقة $\lambda = \frac{h}{p}$، حيث أن $\bar{P} = m\bar{v}$ تمثل كمية الحركة للجسم الذى كتله m وسرعته $\bar{v}$. وموجات المادة تمثل موجات

إرشادية عن حركة الجسم. وقد إهتم الفيزيائيون الألمان «ويرنر هيزنبرج» و«ماكس بورن» و«ارنست باسكوال» والنمساوى «ايروين شرودنجر» بالنتيجة التى توصل إليها «دى برولى» عن الخاصية الإزدواجية (الجسيمية / الموجية) للأجسام. وقد ساهم هؤلاء جميعاً فى تطوير فكرة «دى برولى» بطريقة رياضية قادرة على التفاعل مع عدد من الظواهر الفيزيائية التى لم تعالج بقواعد الفيزياء الكلاسيكية. وبفضل ميكانيكا الكم، أمكن التأكد من نجاح نموذج «بور» للذرة عن طريق تكمم مناسيب الطاقة المدارية بالذرة. وكان لتطوير «مبدأ الاستثناء» الذى وضعه الفيزيائى الأمريكى (نمساوى المولد) «وولف جانج بولى» عام ١٩٢٥ م بالغ الأثر فى تطبيق قواعد ميكانيكا الكم، ومبدأ الإستثناء ينص على أنه لا يمكن لإلكترونين فى الذرة أن يكون لهما نفس درجة التميز. وفى سياق التوحيد بين ازدواجية العلاقة الجسمية والموجية ومبدأ باولى للإستثناء تم وضع قواعد لملء مدارات الذرة بالإلكترونات. وأن الطريقة التى تمتلى بها المدارات تحدد عدد الإلكترونات المتبقية التى تحتل القشرة المكافئة للذرة. هذه الإلكترونات تسمى «إلكترونات

التكافؤ» وهى المسئولة عن تحديد الخواص الكيميائية والفيزيائية للذرات، مثل كيفية تفاعل الذرات والتوصيل الكهربائى. هذه القواعد فسرت كيف تختلف خواص الذرات التى تحتوى على نفس عدد الإلكترونات وكيف تتكرر الخواص الكيميائية بانتظام فيما بين العناصر.

٢) الذرة :

مما سبق يتضح لنا أن الذرة هى أصغر وحدة بناء أساسية للمادة. وجميع المواد على الأرض تتكون من تركيبات مختلفة من الذرات. الذرات هى جسيمات متناهية الصغر للعنصر الكيميائى التى تحمل كل خصائصه الكيميائية. ويمثل صف مكون من مائة مليون ذرة طول قدره واحد سنتيمتر. وفهم الذرات يمثل المفتاح الرئيسى لمعرفة العالم الفيزيائى. ويتواجد فى الطبيعة أكثر من مائة عنصر، وكل عنصر له ذراته الفريدة. وذرات العناصر المختلفة تتحد معًا بطرق مختلفة وينتج عنها عدد من المركبات الكيميائية، وعندما تتحد ذرتين أو أكثر فيتشكل ما يسمى «بالجزئ».

ومنذ خلق الكون حتى الآن، نرى أن النظم البيولوجية تتألف من ذرات وفهم التركيب الذرى وخصائصه يلعب دوراً رئيسياً فى مجالات الفيزياء والكيمياء والطب وفى العلم المعاصر تكون المعارف الذرية هامة للربط بين العالمين الفيزيائى والبيولوجى فى النظم المعقدة. كما تلعب المعارف الذرية دوراً هاماً فى جميع العمليات التى تحدث على الأرض وفى الفضاء. وجميع الكائنات لديها مجموعة من المركبات الكيميائية والتفاعلات التى تساعدها على هضم الغذاء ونقل إنتاج الطاقة أما فى الفضاء. فالنجوم مثل الشمس تعتمد على تفاعلات نوى ذراتها لإنتاج الطاقة. وفى الحقيقة يعمل العلماء على تكرار هذه التفاعلات فى معاملهم على الأرض للتعلم حول العمليات التى تحدث فى هذا الكون. والآن نعلم أن الذرات تحتوى على جسيمات أصغر تسمى الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات. والذرة تتكون من سحابة من الإلكترونات تحيط حول نواة كثيفة من البروتونات والنيوترونات، والإلكترونات والبروتونات لهما خصائص الشحنة الكهربائية التى تؤثر فى طريقة تفاعلهما معاً ومع الجسيمات المشحونة الأخرى.

فالإلكترونات تحمل شحنة سالبة، بينما تحمل البروتونات شحنة موجبة، والشحنة السالبة تكون معاكسة للشحنة الموجبة بالمثل كما يحدث فى الأقطاب المغناطيسية المختلفة هذه الشحنات المتعاكسة تجذب أحدهما الأخرى. وعلى العكس فالشحنات المتشابهة (سالبة مع سالبة) أو (موجبة مع موجبة) فتطرد أحدهما الأخرى. ومن المعروف أن قوة التجاذب بين إلكترونات الذرة ونواتها تجعل الذرة متماسكة، وعادة تكون الذرات متعادلة كهربائياً وهذا يعنى أن عدد الإلكترونات بها يكون مساوياً لعدد البروتونات فى نواتها. ونواة الذرة تحتوى بالتقريب على مقدار كتلة الذرة ولكنها تحتل جزء ضئيل من الفضاء داخل الذرة. وقطر النواة فى حدود ١ × ١٠$^{-١٤}$ متر وهذا يمثل ١ : ١٠٠٠٠٠ جزء من القطر الداخلى للذرة. والسحابة الإلكترونية بالذرة هى التى تحدد حجمها على سبيل المثال إذا تمددت الذرة لكى يصبح حجمها مساوى لحجم ستاد رياضى تصبح النواة فى حجم حبة العنب.

٢ - ١) الإلكترونات :

الإلكترونات هى جسيمات متناهية الصغر مشحونة بشحنة

سالبة، وتشكل سحابة حول نواة الذرة. وكل إلكترون يحمل وحدة أساسية وحيدة من الشحنة الكهربائية السالبة أو ببساطة -١ . والإلكترون هو أخف الجسيمات ذو كتلة معرفة. فقطرة من الماء تزن حوالى بليون البليون البليون مرة من وزن الإلكترون، ويعتقد الفيزيائيون أن الإلكترونات هى أحد الجسيمات الأساسية فى الفيزياء، وهذا يعنى أن الإلكترونات غير قابلة للإنقسام إلى مكونات أصغر منها، كما يعتقد الفيزيائيون أن الإلكترونات ليس لها أى حجم حقيقى وبدلاً عن ذلك فهى تمثل نقاط فى الفضاء. أى أن الإلكترون له نصف قطر يساوى صفراً. وفى الوقت الحالى يسلك الإلكترون سلوك الجسيم كما يمكنه أن يسلك سلوك الموجات، وفى الحقيقة تمتلك جميع الأجسام هذه الخاصية، ولكن السلوك الموجى للأجسام الكبيرة مثل حبات الرمال، أو كرات البلياردو أو حتى الناس يكون صغيراً ولا يمكن قياسه.

وفى حالة الجسيمات الصغيرة يكون السلوك الموجى قابلاً للقياس وهاماً، والإلكترونات تسير حول النواة فى الذرة ونظراً لسلوكها الموجى، فيكون مسارها غير محدد كما هو الحال فى

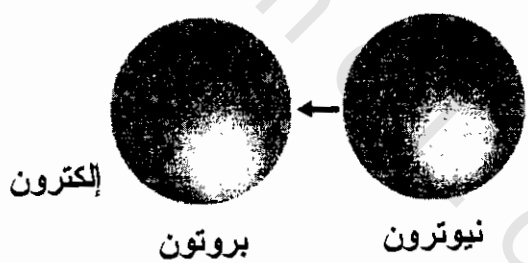
دوران الكواكب حول الشمس، وبدلاً عن ذلك فهى تشكل مناطق من الشحنة الكهربائية السالبة حول النواة. هذه المناطق تسمى «مدارات» وهى تناظر الفراغ الذى يرغب أن يتواجد فيه الإلكترون، كما سوف تناقشه فيما بعد فإن المدارات فى الذرة لها أحجام وأشكال مختلفة تعتمد على مقدار طاقة الإلكترونات التى تحتلها.

٢ - ٢) البروتونات والنيوترونات :

البروتونات تحمل شحنة موجبة +١ تماماً عكس الشحنة الكهربائية للإلكترون، وعدد البروتونات فى النواة يحدد الكمية الكلية للشحنة الموجبة فى الذرة. وفى الذرة المتعادلة كهربائياً يكون عدد الإلكترونات مساوياً لعدد البروتونات، حيث أن الشحنات الموجبة والسالبة تتعادل وتصبح مقدارها صفراً، والبروتون هو جسيم صغير ولكنه ثقيل بالمقارنة بالجسيمات الأخرى التى تصنع منها المادة، وكتلة البروتون تقدر بحوالى ١٨٤٠ مرة ضعف كتلة الإلكترون.

والنيوترونات لها نفس حجم البروتونات تقريباً ولكن كتلها

تكون أكبر منها قليلاً، وبدون تواجد النيوترونات بنواة الذرة لأطاحت قوة التنافر بين الشحنات الموجبة للبروتونات بالنواة وطارت بعيداً. فإذا لم تحتوى النواة على أى نيوترونات لأصبحت نواة غير مستقرة نظراً لقوة التنافر بين البروتونات، على سبيل المثال نواة ذرة الهليوم تحتوى على واحد أو اثنين من النيوترونات لكى تكون مستقرة.



تحول النيوترون وانتاج أشعة بيتا السالبة

ومعظم الذرات المستقرة تتواجد على فترات زمنية طويلة، إلا أن بعض الذرات الغير مستقرة سرعان ما تتحطم ذاتياً وإلى أجزاء وتتغير أو تضمحل إلى ذرات أخرى. وبعكس الإلكترونات التى تمثل جسيمات أولية، فإن البروتونات والنيوترونات مكونة من جسيمات أصغر منها تسمى «كواركات». ويعرف الفيزيائيون عدد ستة كواركات مختلفة، فالنيوترونات والبروتونات تتألف من كواركات علوية وسفلية. وهما اثنين من أنواع الكواركات الستة المختلفة. وهذه الأسماء التخيلية عن الكواركات ليس لها أى علاقة مع خصائصها فالأسماء مجرد علامات بسيطة للتمييز بين كوارك وآخر وتنفرد الكواركات دون الأجسام الأولية الأخرى، بأنها تمتلك شحنات كهربائية تمثل أجزاء من الشحنة الأساسية. وجميع الجسيمات الأخرى لها شحنات كهربائية إما صفر أو عدد صحيح مضروب فى مقدار الشحنة الأساسية، فالكواركات العلوية لها شحنة كهربائية مقدارها شيئاً موجباً، والكواركات السفلية لها شحنات مقدارها شيئاً سالباً، والبروتونات يتكون من كواركين علويين وكوارك سفلى واحد، لذا فإن شحنته تكون

شيئاً موجباً + شيئاً موجباً – شيئاً سالباً ليعطى شحنة كلية مقدارها +١. ولكن النيوترون يتكون من كوارك علوى وكواركين سفليين، لذا فإن شحنته الكهربائية تكون شيئاً موجباً – شيئاً سالباً – شيئاً سالباً ليعطى شحنة كلية مقدارها صفر. ويعتقد الفيزيائيون أن الكواركات هى جسيمات أولية ليس لها أى تركيب داخلى وبالتالى فهى غير قابلة للانقسام.

٣) الخصائص الذرية :

تمتلك الذرات عدة خصائص تساعد على التمييز بين أنواعها ويمكن معرفة العوامل المؤثرة على التحولات الذرية.

٣ - ١) العدد الذرى :

كل عنصر له عدد مميز من البروتونات فى ذراته، هذا العدد يسمى العدد الذرى ويرمز له بالرمز Z، ونظراً لأن الذرة تكون متعادلة كهربائياً، فإن العدد الذرى يحدد أيضاً عدد الإلكترونات التى تمتلكها الذرة، وعدد الإلكترونات يحدد بالتالى الخصائص الكيميائية والفيزيائية للذرة، فأخف الذرات وهى ذرة الهيدروجين يكون عددها الذرى يساوى واحد وتحتوى على

بروتون واحد وإلكترون واحد، إن أثقل الذرات وأكثرهم استقراراً هى ذرة البيزموث يكون عددها الذرة Z = 83 وهناك بالطبع ذرات أخرى ثقيلة ولكنها غير مستقرة وتتواجد فى الطبيعة ولكنها سرعان ما تتحلل مع الزمن وتتحول إلى ذرات أخرى. وقد نجح العلماء فى إنتاج عناصر ثقيلة غير مستقرة فى معاملهم.

٣ - ٢) العدد الكتلى :

يمثل مجموع عدد البروتونات والنيوترونات فى نواة الذرة العدد الكتلى ويرمز له بالرمز A. والعدد الكتلى للذرة يعادل تقريباً وزن الذرة، ونظراً لأن الإلكترونات تكون خفيفة جداً فهى لا تمثل فى العدد الكتلى، فالهليوم المستقر له عدد كتلى يساوى ثلاثة (بروتونين + نيوترون واحد) أو يساوى أربعة (بروتونين + نيوترونين)، أما عنصر البزموث الذى يكون عدده الذرى مساوياً ٨٣ بروتوناً فيتطلب عدد ١٢٦ نيوتروناً لكى يصبح مستقراً، وبالتالى يكون عدده الكتلى مساوياً ٢٠٩ (مجموع عدد البروتونات + عدد النيوترونات).

٣ - ٣) الكتلة والوزن الذرى :

عادة يقيس العلماء كتلة الذرة بوحدة أُطلق عليها وحدة الكتلة الذرية، وهذه الوحدة تعادل $\frac{1}{12}$ من كتلة ذرة الكربون التى تمتلك نواتها عدد ستة بروتونات وستة نيوترونات، على هذا المقياس الذرى للكتلة وجد أن كتلة البروتون تساوى 1.00728 وحدة كتلة ذرية، بينما وجد أن كتلة النيوترون تساوى 1.00866 من وحدة الكتلة الذرية، وبناء على ذلك، فإن كتلة الذرة المقاسة بوحدات الكتلة الذرية تساوى تقريباً العدد الكتلى للذرة.

ويستخدم العلماء جهاز يسمى «مطياف الكتلة» فى قياس الكتلة الذرية، وفكرة عمل هذا الجهاز هى إمكانية إزالة إلكترون أو أكثر من الذرة، والجدير بالذكر، أن إزالة بعض الإلكترونات من الذرة لا يغير كتلتها على الإطلاق، بعد ذلك يمكن إرسال هذه الذرات المتأينة خلال مجال مغناطيسى وتكون هناك منطقة يؤثر بها المجال المغناطيسى أو المجال الكهربائى على الجسيمات المشحونة، ونظراً لإزالة بعض

الإلكترونات من الذرة، فيكون عدد البروتونات بها أكثر من عدد الإلكترونات، وبالتالى تصبح الذرة أيوناً موجباً. فى هذه الحالة يعمل المجال المغناطيسى على إنحناء مسار هذا الأيون الموجب عندما يتحرك خلاله، ويعتمد مقدار إنحناء المسار على كتلة الذرة، فالذرات الخفيفة تتأثر بقوة أكبر من الذرات الثقيلة، وبقياس المنحنيات المرتبطة بالمسار الذرى، أمكن للعلماء تعيين كتلة الذرة، والكتلة الذرية التى تعتمد على أعداد البروتونات والنيوترونات فى الذرة ترتبط أيضاً بالوزن الذرى للعنصر، وعادة يعزى الوزن إلى تأثير قوة الجاذبية الأرضية على الجسم، ولكن الوزن الذرى ما هو إلا طريقة أخرى للتعبير عن الكتلة، فالوزن الذرى لعنصر ما يعطى بالجرامات، وهو يمثل كتلة واحد جزئ جرامى (واحد جزئ جرامى يحتوى 6.02×10^{23} ذرة) من هذا العنصر، وعددياً، فإن الكتلة الذرية تساوى الوزن الذرى للعنصر، ولكن الأول يقاس بوحدة الكتلة الذرية والثانى يقاس بالجرامات، لذلك، فإن الوزن الذرى لعنصر الهيدروجين يساوى واحد جرام، بينما كتلته الذرية تساوى واحد وحدة كتلة ذرية.

والذرات فى العنصر الواحد التى تختلف أعدادها الذرية أطلق عليها العلماء إسم «النظائر»، ونظراً لأن كل الذرات للعنصر المعطى يكون لها نفس الأعداد من البروتونات فى نواتها، فإن النظائر تختلف فيما بينها بإختلاف عدد النيوترونات بها، على سبيل المثال عنصر الهليوم، له عدد كتلى يساوى 2 لأنه يحتوى على بروتونين فى نواته، ولكن للهليوم نظيرين مستقرين، أحدهما عنده نيوترون فى النواة وبالتالى يكون عدده الكتلى مساوياً 3، والآخر عنده نيوترونين وبالتالى يكون عدده الكتلى 4.

وقد ربط العلماء اسم العنصر بالتمييز بنظائره ولهذا فإن الهليوم الذى يكون عدده الكتلى ثلاثة يسمى هليوم – ٣، والذى يكون عدده الكتلى أربعة يسمى هليوم – ٤، ومن المعروف الآن أن عنصر الهليوم يتواجد على الأرض فى شكله الطبيعى المكون من خليط من هذين النظيرين، وتسمى النسبة التى يتواجد بها النظير فى الطبيعة «بوفرة النظير». وقد وجد أن تواجد نظير الهليوم – ٣ فى الطبيعة يكون ضئيلاً جداً بنسبة ٠,٠٠٠١٤ بالمائة، ووفرة النظير هليوم – ٤ هى 99.9986

بالمائة، وهذا يعنى أن كل مليون من ذرات الهليوم تتواجد ذرة واحد من النظير هليوم – ٣ والباقى يكون هليوم – ٤. أما عنصر البزموث له نظير مستقر واحد هو بزموث – ٢٠٩ وتكون وفرته ١٠٠ ٪.

أما العنصر الذى له أكبر عدد من النظائر المستقرة فهو عنصر القصدير، حيث له فى الطبيعة عشرة نظائر مستقرة وجميع العناصر لديها نظائر غير مستقرة، هذه النظائر معرضة إلى الاضمحلال والتحطم بالمقارنة بالنظائر المستقرة للعنصر، وعندما تضمحل الذرات، فإن أعداد البروتونات بنوياتها يتغير، ونظراً إلى أن عدد البروتونات بالذرة يحدد نوع العنصر، فإن هذا الإضمحلال يغير العنصر ليصبح عنصراً أخراً، والجدير بالذكر، أن النظائر المختلفة تضمحل بمعدلات مختلفة، وإحدى طرق قياس معدل إضمحلال النظير هو إيجاد «نصف العمر»، ويعرف «نصف عمر» النظير بالزمن المستغرق حتى تضمحل نصف الكمية من عينة النظير.

وعادة لا يحدد العلماء الوزن الذرى لنظائر العنصر كل على حدة، بل يكون الوزن الذرى للعنصر هو متوسط الأوزان

الذرية لجميع النظائر لهذا العنصر أخذاً فى الاعتبار وفرة كل نظير، على سبيل المثال عنصر النحاس له فى الطبيعة نظيرين هما: نحاس – ٦٣ وكتلته الذرية ٦٢,٩٣ وحدة كتلة ذرية ووفرته ٦٩,٢ ٪ أما النظير الآخر نحاس – ٦٥ فيكون كتلته الذرية ٦٤,٩٢٨ وحدة كتلة ذرية ووفرته ٣٠,٨ ٪، وبناء على ذلك فإن متوسط كتلة عنصر النحاس فى الطبيعة هو مجموع الكتلة الذرية لكل نظير مضروبة فى وفرة النظير، لذلك بالنسبة للنحاس فإن متوسط كتلته = (٦٢,٩٣ وحدة كتلة ذرية × ٠,٩٦٢) + (٦٤,٩٢٨ وحدة كتلة ذرية × ٠,٣٠٨) = ٦٣,٨٤٥ وحدة كتلة ذرية، وبالتالى يكون الوزن الذرى للنحاس مساوى ٦٣,٥٤٥ جرام.

٣ - ٤) النشاط الإشعاعى:

يتواجد فى الطبيعة أكثر من ثلاثمائة من التراكيب الخاصة بالبروتونات والنيوترونات للنوى المستقرة، بالإضافة إلى نجاح العلماء فى إنتاج ثلاثة آلاف من النوى الجديدة فى معاملهم، هذه النوى المصنعة تكون غير مستقرة لأنها تحتوى على أعداد كبيرة من البروتونات والنيوترونات، ولا يمكنها أن

تمكث لفترات طويلة، والنوى غير المستقرة المتواجدة فى الطبيعة أو المنتجة بالمعمل نجد أنها تتحطم إلى أجزاء وتتحول إلى نوى مستقرة، ويتم ذلك خلال عمليات تسمى «اضمحلال النشاط الإشعاعى». بعض النوى التى لديها أعداد زائدة من البروتونات يمكنها أن تطرد بروتوناً بالمثل بالنسبة للنوى التى لديها أعداد زائدة من النيوترونات يمكنها أن تطرد نيوتروناً.

ومن عمليات النشاط الإشعاعى الأكثر شيوعاً هو إضمحلال النواة بطرد عنقود مكون من بروتونين ونيوترونين فى آن واحد، هذا العنقود ما هو إلا نواة عنصر الهليوم – ٤، وهذا الإضمحلال يسمى إضمحلال ألفا. وقبل أن يعرف العلماء أن الجسيم المنبعث من النواة ما هو إلا نواة عنصر الهليوم – ٤، أطلق على الجسيم المنبعث اسم «جسيم ألفا». هذا الاسم ما زال يتداول حتى الآن، والطريقة الشائعة التى تتخلص منها النواة من بروتوناتها أو نيوتروناتها الزائدة هى تحول بروتون إلى نيوترون أو تحول النيوترون إلى بروتون هذه العملية تسمى «إضمحلال بيتا»، ونظراً إلى أن مقدار الشحنة الكهربائية الكلية قبل وبعد الإضمحلال يجب أن يكون متساوياً، وحيث أن البروتونات

هى جسيمات مشحونة بشحنة موجبة والنيوترونات غير مشحونة، لذلك فإن عملية الإضمحلال يجب أن تضمن جسيمات مشحونة أخرى، على سبيل المثال عندما يتحول النيوترون إلى بروتون وينبعث إلكترونا وجسيم آخر يسمى «إلكترون ضديد لنيوترينو»، فالنيوترون ليس له شحنة وبالتالى فإن الشحنة الابتدائية للتفاعل تكون صفراً. أما البرتون فيكون له شحنة موجبة مقدارها +١ والإلكترون له شحنة سالبة مقدارها -١ وضديد النيوترينو هو جسيم متناهى الصغر، ليس له شحنة، وشحنة كل من البروتون والإلكترون تلغى بعضهما البعض وتكون محصلة الشحنة مساوية صفر. وفى عملية إضمحلال - بيتا، يكون من السهل رصد الإلكترونات المنبعثة، وقد أطلق العلماء على هذه الجسيمات الناتجة جسيمات بيتا وذلك قبل معرفتهم وتشخيصهم بالإلكترونات.

والجدير بالذكر، أن اضمحلال - بيتا، يحدث عند تحول البروتون إلى نيوترون. ونهاية هذا التفاعل يجب أن بولد شحنة مقدارها +١ للاتزان مع مقدار شحنة البروتون الإبتدائى، فى هذا التفاعل يتحول البروتون إلى نيوترون وضديد للإلكترون

«يسمى البوزيترون» وإلكترون نيوترينو، ومن المعروف أن البوزيترون هو جسيم مماثل تماماً للإلكترون فيما عدا أنه يحمل شحنة كهربائية مقدارها +١ ، والإلكترون نيوترينو هو جسيم متناهى الصغر، متعادل كهربائياً، والفرق بين ضديد النيوترينو فى إضمحلال النيوترون والنيوترينو فى إضمحلال البروتون غير واضح ويجب على العلماء أن يستدلوا على أى فرق بينهما.

ومن الملاحظ أنه وأثناء تخليق النوى غير المستقرة فى المعمل، هناك عدة أنشطة إشعاعية للنظائر المتواجدة فى الطبيعة. هذه الذرات تضمحل ببطء مقارنة بالنشاط الإشعاعى لأكثر النظائر المخلقة فى المعمل، فإذا تمت هذه الإضمحلالات بسرعة، فإنها لا تمكث إلى الوقت الذى يتمكن العلماء من رصدها، الثقيلة ذو النظائر الثقيلة ذوات النشاط الإشعاعى المتواجدة على الأرض قد تم اكتشاف أنها متواجدة بالنجوم منذ أكثر من خمسة بليون عام مضت، وتشكل هذه النظائر جزء من سحابة غازية أو أتربة فى مجموعتنا الشمسية، ومن المعروف أن الإضمحلال الإشعاعى للمواد يوفر الطاقة التى تعمل على تسخين قلب الأرض.

ومن النظائر المشعة الأكثر شيوعاً والتى تحدث فى الطبيعة هى البوتاسيوم –٤٠ والثوريوم – ٢٣٢ واليورانيوم – ٢٣٨. وذرات هذه النظائر مكثت فى المتوسط بلايين السنينن قبل أن تقذف بجسيمات ألفا أو جسيمات بيتا.

والجدير بالذكر، أن الإضمحلال المستقر لهذه النظائر والذرات الأخرى الأكثر استقراراً سمحت للعلماء بتعيين عمر المواد المعدنية، حيث تتواجد هذه النظائر. بدأ العلماء بتقدير كمية النظير الذى يتواجد عند تشكيل المعدن، ثم بعد ذلك تم قياس كم كان الاضمحلال، وبمعرفة معدل الإضمحلال للنظير يمكن تعيين الزمن الذى مر، هذه العملية تعرف باسم «تاريخ النشاط الإشعاعى»، مما سمح للعلماء بقياس عمر الأرض، بهذه الطريقة قدر عمر الأرض بحوالى ٤,٥ بليون عام، والجدير بالذكر أن العلماء فحصوا الصخور التى جلبت من القمر وأجسام أخرى فى المجموعة الشمسية ووجدوا أعماراً متشابهة.

٣ - ٥) القوى المؤثرة داخل الذرات :

فى علم الفيزياء، تعرف القوة بأنها مقدار الدفع أو السحب لأى جسم وفى الطبيعة توجد أربعة قوى أساسية ثلاثة منهم هم: القوة الكهرومغناطيسية والقوة الشديدة والقوة الضعيفة مسئولون على حفظ استقرار الذرات فى قطعة واحدة، وبواسطتهم يمكن تعيين الذرات غير المستقرة التى تضمحل، والقوة الكهرومغناطيسية تحافظ على إرتباط الإلكترونات بذراتها، والقوة الشديدة تجعل البروتونات والنيوترونات متماسكة فى النواة، أما القوة الضعيفة التى تتحكم فى إضمحلال الذرات عندما يكون لديها بروتونات أو نيوترونات زائدة. أما القوة الأساسية الرابعة وهى الجاذبية فتكون مؤثرة فى حالة الأجسام الأكبر من تلك الجسيمات دون الذرية.

١) القوة الكهرومغناطيسية :

تعتبر القوة الكهرومغناطيسية أكثر شيوعاً عند العمل داخل الذرة. هذه القوة هى نفس القوة التى تسبب إلتصاق شعر الناس فى الفرشاة أو مشط الشعر بفعل تزايد الكهربائية الإستاتيكية،

فالقوة الكهرومغناطيسية تجعل الشحنات المختلفة تتجاذب بعضها البعض وتسبب هذه القوة انجذاب الإلكترونات فى الذرة مع البروتونات المتواجدة فى النواة، هذه القوة تجعل الإلكترونات مرتبطة بالذرة، والجدير بالذكر أن مقدار هذه القوة يزداد كلما صغرت المسافة بين الشحنات وهذه الخاصية تجعل الشحنات المختلفة تقترب من بعضها البعض بدرجة ممكنة، ولسنوات عديدة، إندهش العلماء وتساءلوا لماذا لم ينغمس الإلكترون فى نواة الذرة بعد أن يتحرك حركة حلزونية ويقترب من البروتونات، وقد تعلم الفيزيائيون حقيقة أن جسيمات مثل الإلكترونات الصغيرة يمكنها أن تسلك سلوك الموجات، هذه الخاصية حافظت على تواجد الإلكترونات عند مسافات محددة من نواة الذرة، والخاصية الموجية للإلكترون سوف نتناولها فيما بعد.

والقوة الكهرومغناطيسية تجعل الشحنات المتشابهة تتنافر بعضها مع بعض والإلكترونات ذات الشحنة السالبة يطرد أحدهما الآخر، وتجعله يميل إلى الحركة متباعدين. أما النواة موجبة الشحنة فتؤثر بقوة كهرومغناطيسية للحفاظ على ارتباط الإلكترونات بالذرة، والبروتونات والنيوترونات يطردوا بعضهما

البعض إلا أن القوة النووية الشديدة تتغلب على القوة الكهرومغناطيسية داخل النواة مما يمسك بالبروتونات معاً.

ب) القوة الشديدة :

تعمل هذه القوة على تماسك البروتونات والنيوترونات فى نوى الذرات، ويجب أن تتغلب هذه القوة على قوة تنافر البروتونات الكهرومغناطيسية فى النواة والتى تجعل البروتونات تتباعد عن بعضها، والقوة الشديدة تحدث بين البروتونات فقط. هذه القوة تكون غير كافية لتماسك هذه البروتونات معاً. ولابد من إضافة جسيمات أخرى إلى هذه القوة الشديدة لجعل النواة مستقرة، هذه الجسيمات التى تزيد من القوة المضافة هى النيوترونات غير المشحونة والتى تزيد من قوة التنافر الكهرومغناطيسى.

مدى القوة الشديدة :

تعمل القوة الشديدة فى مدى قصير للغاية حوالى اثنين فيمتومتر (٢×١٠^{-١٥} متر) ويستعمل الفيزيائيون كلمة فيرمى كوحدة قياس الطول تخليداً للفيزيائى الأمريكى (إيطالى

المولد) «انريكو فيرمى». وخاصية المدى القصير التى تتمتع به القوة الشديدة جعلها مختلفة عن القوى الكهرومغناطيسية والجاذبية والقوتان الأخيرتان يضعفان كلما إزدادت المسافة ولكنهما يظلان مؤثران على الأجسام التى تفصل بينهما مسافة تقدر بملايين من السنين الضوئية وعلى العكس تماماً، فإن القوة الشديدة لها مدى محدد بعدها لا يشعر بها جميع البروتونات أو النيوترونات، ونظراً لأن قطر نواة الذرة يتراوح بين ٥ إلى ٦ فيرمى لذلك فإن البروتونات والنيوترونات يشعرون فقط بتأثير القوة الشديدة الناتجة عن أقرب جيران لهما، والجدير بالذكر، أن اختلاف القوة الشديدة عن القوى الكهرومغناطيسية والجاذبية له بعداً آخر متمثلاً فى الطريقة التى تتغير بها القوة مع تغيير المسافة، فالقوى الكهرومغناطيسية والجاذبية تزيد من تجاذب الجسيمات كلما اقتربوا من بعضهما البعض، وليس من المهم كيفية الاقتراب، وهذا بالطبع يجعل الجسيمات تقترب من بعضها إلى أقرب نقطة ممكنه، ومن ناحية أخرى، فإن القوة الشديدة تظل ثابتة تقريباً كلما اقتربت البروتونات أو النيوترونات معاً لمسافة حوالى ٢ فيرمى، فإذا جعلنا هذه الجسيمات تقترب

إلى مسافة أقل من ذلك، فإن قوة التجاذب النووى تتحول فجأة إلى قوة تنافر.

هذه الخاصية جعلت النوى تتشكل بنفس متوسط الفراغ (حوالى ٢ فيرمى) الذى يفصل بين البروتونات والنيوترونات، وليس من الضرورى معرفة كم عدد البروتونات أو عدد النيوترونات المتواجدين فى النواة. والطبيعة الفريدة للقوة الشديدة يجعل من الممكن تعيين العدد النسبى للبروتونات والنيوترونات داخل النواة. فإذا كانت النواة تحتوى على عدد أكثر من البروتونات فإن القوة الشديدة لا يمكنها التغلب على القوة الكهرومغناطيسية، وتتنافر البروتونات، أما إذا كانت النواة بها عدد أكثر من النيوترونات، فإن القوة الشديدة الزائدة تعمل على ربط البروتونات والنيوترونات بشدة يقربهما بشدة معاً، ولذلك نرى أن أكثر النوى الذرية استقراراً يقع بين هذين الحدين، فالنوى الخفيفة مثل الكربون -١٢ والأوكسچين -١٦ يصنعون من ٥٠٪ بروتونات و٥٠٪ نيوترونات. أما النوى الثقيلة مثل بزموث ٢٠٩ فتحتوى النواة على ٤٠٪ بروتونات و ٦٠٪ نيوترونات.

البايونات :

لقد استطاع الفيزيائيون شرح سلوك القوة الشديدة عن طريق تقديم جسيم دون ذرى آخر أطلق عليه اسم «البايون»، والبروتونات والنيوترونات تتفاعل داخل النواة بتبادل «البايونات»، وتبادل البايونات يجعل البروتونات والنيوترونات تتجاذب معاً. ويمكن تشبيه ذلك بعملية إمساك فردين بكرة ثقيلة، وكل فرد مقيد بواسطة سلك زنبركى. فإذا قذف أحدهما بالكرة نحو الآخر، فإن السلك الزنبركى يسحبه نحو الكرة، فإذا استطاع اللاعبان تبادل الكرة بسرعة كافية، فإن الكرة والزنبرك يصبحان غير واضحان بالنسبة للمشاهد، ويبدو المنظر كما لو أن اللاعبان يسحب بعضهما للآخر.

وهذا ما يحدث فى نوى الذرات، فيشبه البروتونات والنيوترونات باللاعبين والبايونات تمثل الكرة، والقوة الشديدة تمثل الزنبركات التى تمسك بالأشياء معاً، وكما نوضح فيما بعد عند مناقشة الجسيمات الأولية فى المادة، فإن البايونات تتواجد فى النواة لأقصر فترة زمنية لا تتعدى ١×١٠^{-٢٢} ثانية، وخلال هذه الفترة القصيرة من تواجدها فهى تعمل على

التجاذب الكافى الذى يسمح بتماسك النواة. ويمكن للبايونات أن تتواجد حرة خارج نواة الذرة، وقد نجح العلماء فى تخليق البايونات عندما تتصادم البروتونات المعجلة بسرعات عالية مع بعضها البعض. وأيضاً يمكث البايون الحر، فترة زمنية قصيرة تقدر بمقدار ١ × ١٠$^{-٨}$ ثانية.

جـ) القوة الضعيفة :

القوة النووية الضعيفة هى أضعف من القوى الكهرومغناطيسية والنووية الشديدة، وهى تؤثر فى مدى قصير للغاية يقدر بحوالى ٠,٠١ فيرمى. وهذه القوة الضعيفة تؤثر على جميع الأجسام فى الذرة، فبينما تؤثر القوة الكهرومغناطيسية على الإلكترونات والبروتونات فى الذرة والقوة النووية الشديدة تؤثر على البروتونات والنيوترونات بالنواة، فإن القوة الضعيفة تعمل على تغيير نوع من الجسيمات إلى النوع الآخر داخل النواة على سبيل المثال تعمل هذه القوة على تحويل النيوترون إلى بروتون وإنبعاث إلكترون ضديد الإلكترون نيوترينو، فى هذه الحالة فإن الشحنة الكهربائية ومقدار الطاقة الكلية يبقى كما هو قبل وبعد التغيير.

٣ - ٦) الذرات وميكانيكا الكم :

فى بداية القرن العشرين، نجح العلماء من شرح السلوك الذرى باستخدام المعارف المتاحة عن المادة، ومن أجل ذلك، طوروا وجهة نظر جديدة للمادة والطاقة على النحو الذى أمكن وصف السلوك الذرى بدقة. والنظرية الكمية وضعت المادة كما لو أنها مكونة من جسيمات أو كما لو أنها موجة، وفى حياتنا اليومية، فإن الطبيعة الموجية للأجسام المرئية الكبيرة من المادة تكون من الصغر بحيث لا يمكن ملاحظتها، أو ظهورها. أما على المقياس المجهرى للجسيمات الدقيقة فإن الطبيعة الموجية تصبح فى غاية الأهمية، وكما بينا من قبل فإن الإلكترونات فى الذرات تسلك سلوك الموجات، وهى تتواجد عليى هيئة سحابة من الشحنات السالبة حول النواة بدلاً من تواجد الإلكترونات كجسيمات منفردة نقطية مرصعة فوق النواة.

(أ) السلوك الموجى :

لكى نفهم النموذج الكمى للذرة، لابد أن نعرف بعض الحقائق الأساسية عن الموجات، فالموجات هى ذبذبات تتكرر

بانتظام مرات ومرات باستمرار، وأوضح مثال على ذلك هو الموجات التى تحدث عندما يتم ربط طرف من قبل عند جسم ثابت وتحريك الطرف الآخر إلى أعلى وأسفل. فأعلى نقطة يصل إليها الحبل تسمى قمة الموجة، وأقل نقطة يصل إليها الحبل تسمى قاع الموجة. وتتتابع قمم وقيعان الموجة فى سلسلة منتظمة والمسافة بين قمة الموجة والقمة التالية لها أو بين القاع والقاع الذى يليه بالطول الموجى، وعدد الموجات التى تعبر نقطة ما فى زمن محدد يسمى التردد الموجى.

فى الفيزياء، تعنى كلمة موجة النموذج الداخلى الذى يتكون من قمم وقيعان منفردة عديدة، على سبيل المثال، عندما يمسك الفرد بطرف الحبل الحر ويحركه إلى أعلى وإلى أسفل بسرعة كبيرة فتنشأ فى الحال العديد من القمم والقيعان.

والفيزيائى يستعمل كلمة موجة عندما تتلاقى موجتان مع بعضهما وينتج عن هذه العملية ما يسمى بالتداخل الموجى، فالتداخل يخلق نموذج جديد للموجة، فإذا كانت الموجتان المتداخلتان لهما نفس الطول الموجى ونفس التردد فيعتمد النموذج الناتج عن المواقع النسبية للقيعان الموجية المتولدة. أما

إذا انطبقت القمم والقيعان فى الموجتين المتداخلتين فتكون الموجة متحدة الطور وعندما تتداخل الموجات متحدة الطور معاً فينتج عن ذلك قمم مرتفعة جداً. وفى حالة أن تكون الموجات مختلفة قليلاً فى أطوارها، فيؤدى تداخلها إلى ما يسمى بالتداخل البناء فى بعض المناطق وتداخل إفناء فى بعض المناطق الأخرى مما ينتج عنه موجة جديدة أكثر تعقيداً.

ب) الإلكترونات كموجات :

فى الذرات يكون سلوك الإلكترونات إما على هيئة جسيمات أو على هيئة موجات. وهذه الخاصية تسمى الازدواجية الجسمية / الموجية، وهذه الخاصية تؤثر على جمييع الجسيمات وتجمعاتها ويشمل ذلك البروتونات والنيوترونات والذرات ذاتها. ولكن عند معرفة التركيب البنائى للذرة، فإن طبيعة التشبه الموجى للإلكترون تكون فى غاية الأهمية. وموجات الإلكترونات لها أطوال موجية وترددات والتى تعتمد على طاقة الإلكترون. ونظراً لأن طاقة الإلكترونات طاقة حركية (مرتبطة بحركة الإلكترون) فإن الطول الموجى

للإلكترون يعتمد على مدى سرعة حركته وكلما ازدادت طاقة الإلكترون، كلما قصر الطول الموجى، وموجات الإلكترون يمكنها أن تتداخل مع بعضها بالضبط كما يحدث فى الموجات المتولدة من حركة الحبل.

ونظراً للازدواجية الجسمية / الموجية للإلكترون، فإن الفيزيائيون لم يستطيعوا تحديد موقع الإلكترون بالذرة، فإذا كان الإلكترون مجرد جسيم، فيكون قياس موقعة بسيط نسبياً، وبالرغم من سرعة المحاولات التى بذلها الفيزيائيون لقياس موقع الإلكترون، نرى أن الطبيعة الموجية للإلكترون أكثر وضوحاً ولا يمكنها تحديد موضع الإلكترون بدقة. بدلاً عن ذلك فقد تمكن العلماء من حساب احتمالية تواجد الإلكترون فى المكان المحدد، وبإضافة هذه الاحتمالات، تمكن الفيزيائيون من رسم صورة للإلكترون تتشابه مع السحابة القائمة حول النواة، والجزء الأكثر كثافة فى هذه السحابة يمثل مكان الإلكترون الذى يرغب أن يتواجد به.

٤) المادة وجسيماتها الأولية :

بينما تبدو النوى تتكون من بروتونات ونيوترونات، فإن هناك بعض المشاهدات تشير إلى انبعاث جسيمات أولية أخرى من النوى تحت ظروف خاصة.

وفيما يلى سوف نلقى الضوء على هذه الجسيمات الأولية.

٤ - ١) ضديدات الجسيمات :

يعتبر الإلكترون هو الجسيمة الأولية الوحيدة التى يوجد لها نظرية متكاملة، وقد تم اكتشاف هذه النظرية عام ١٩٢٨ من قبل العالم الإنجليزى «پ. ديراك» الذى أعطانا معادلة موجية للإلكترون يتحرك فى مجال مغناطيسى، أخذاً فى الاعتبار النظرية النسبية الخاصة لأينشتين. وقد تبين أن الإلكترون يحمل كمية حركة خطية ذاتية، وأن برمه الذاتى حول نفسه يساوى نصف وبالتالى يكون للإلكترون عزم مغناطيسى يساوى ممغنط واحد (١ ممغنط = حاصل ضرب شحنة الإلكترون فى ثابت بلانك العام مقسوماً على ضعف

كتلة الإلكترون مضروبا فى ثابت باي). هذا الممغنط يطلق عليه ممغنط بور «Bohr magneton».

لقد تنبأت نظرية ديراك بوجود إلكترون موجب بالإضافة إلى الإلكترون السالب. وقد تم اكتشاف الإلكترون الموجب عام ١٩٣٢ بصورة قاطعة من بين جسيمات الأشعة الكونية القادمة للأرض. بصورة قاطعة من بين جسيمات الأشعة الكونية القادمة للأرض. وقد بينا سابقاً أن الإلكترون الموجب يسمى «بالبوزيترون». والجدير بالذكر أنه يمكن أن يتفاعل الإلكترون السالب مع البوزيترون ويتلاشا وينتج عنهما تولد فوتون بطاقة تكون مساوية أو أكبر من مقدار ١,٠٢ مليون إلكترون فولت. كما يمكن توليد زوج من الإلكترون السالب والبوزيترون عند إفناء أشعة جاما فى وقت قصير.

إن البوزيترون هو ضديد الإلكترون، ذلك لأنهما يفنى أحدهما الآخر، ونحن نعرف الآن، أن جميع الجسيمات الأولية الأخرى فيما عدا الفوتونات والميزونات لها جسيمات ضديدة، وضديد الجسيم له نفس كتلته وعمره النصف وبرمه الذاتى. ولكن شحنته (إن وجدت) تكون عكس شحنة الجسيمة

وكذلك فإن اتجاه العزم المغناطيسى بالنسبة للبرم لضديدة الجسيمة هو عكس ما هو عليه للجسيمة نفسها.

على سبيل المثال، إن التمييز ما بين النيوترينو وضديده يلفت النظر، ويكون برم النيوترينو عندما يشاهد من الخلف بالاتجاه المعاكس لاتجاه حركته، أى أن النيوترينو يدور عكس عقارب الساعة. ومن ناحية أخرى يكون برم ضديد النيوترينو عندما يشاهد من الخلف بنفس اتجاه حركته أى أنه يدور مع عقارب الساعة، لذلك يمكن تصور حركة النيوترينو تشبه حركة لولب يسارى، وأن حركة ضديد النيوترينو تشبه حركة لولب يمينى. وبناء على ذلك ليس هناك فرق بين النيوترينو وضديده عدا اتجاه برميهما، وبذلك فالنيوترينو وضديده هما جسيمان متشابهان، وترجع جذور هذا الافتراض إلى العالم «ليبتز» الذى عاصر العالم الإنجليزى «نيوتن» وهو الذى اكتشف بطريقة مستقلة علم «التفاضل والتكامل».

ويمكن توضيح أساس الافتراض على النحو التالى:

من الناحية الأساسية إن الظواهر الفيزيائية المشاهدة مباشرة تكافئ نفس الظواهر الفيزيائية المشاهدة المعكوسة من المرآة .

وطبقاً لهذا التعريف، فإن الظواهر الفيزيائية المختلفة يجب أن تتباين جوهرياً فيما بينها وإلا فإنها متشابهة. والفرق الوحيد بين الظواهر الفيزيائية المشاهدة مباشرة وتلك الظواهر المشاهدة بواسطة انعكاسها من المرآة هو تبديل اليسار باليمين واليمين باليسار. وبناء على ذلك، فإن نظرية «لايبنز» تنص على أن يسار ويمين جميع الأشياء والحوادث يجب أن تحدث بنفس الاحتمالية. والحقيقة أن هذه النظرية تكون محققة عملياً فى حالة التفاعلات النووية والكهرومغناطيسية. والجدير بالذكر، أنه لم يتم تطبيق هذه النظرية فى حالة التفاعلات التى ينتج عنها نيوترينات إلا عام ١٩٥٦ على يد العالمين الأمريكيين (صينى المولد) «ت. لى» و«سى. ن. يانج» اللذان اقترحا أنه يمكن إزالة كثير من التناقضات النظرية بافتراض أن النيوترينو وضديده لهما برمان متعاكسان، على الرغم أنهما لا يمثلان صورة مرآة بعضهما للآخر. وقد أثبتت التجارب صحة هذا الاقتراح وتبين أن النيوترينو وضديده جسيمان مختلفان، لهما برم يسارى وبرم يمينى على الترتيب. ويلاحظ أن عدم وجود تناظر يمين / يسار فى النيوترينات يظهر فقط فى حالة أن كتلة النيوترينو تساوى صفراً.

٤ - ٢) نظرية الميزون للقوى النووية :

لو كانت القوى النووية تجاذبية فقط، لكانت أحجام النوى المستقرة صغيرة جداً وذات نصف قطر حوالى ٢ فيرمى، بحيث أن كل نواة تتفاعل آنياً مع جميع النويات الأخرى الموجودة ونتيجة لذلك، فإن طاقة تربط كل نوية سوف يتناسب مع عدد النويات الموجودة فى النواة. لقد وجد تجريبياً أن حجم النوى يتناسب طردياً مع عدد النويات بالنواة أما طاقة ترابط كل نوية فهى ثابتة فى جميع النوى.

ونستنتج من ذلك، أن كل نوية تتفاعل مع عدد محدود من النويات المجاورة وأن هناك قوة تنافر بين النويات تمنع النواة من أن تتقلص إلى حجم صغير جداً، كما نستنتج أن القوى النووية لا تشبه قوة نيوتن للجاذبية أو القوى الكهربائية الاعتيادية. ويمكن تفسير الصفات النووية على أساس وجود مزيج من قوى اعتيادية وقوى تبادل. والسؤال الذى يطرح نفسه، ما هى الجسيمات المتبادلة بين النويات التى تسبب قوى التبادل ؟ فى عام ١٩٣٥ م اقترح العالم اليابانى «هيدكى يوكاوا» أنه يمكن تفسير القوى النووية بتبادل جسيمات أثقل

من الإلكترونات أطلق عليها اسم «الميزونات»، وحسب نظرية الميزون للقوى النووية، تتكون النويات من مراكز متشابهة تحيط بها سحابة من ميزون واحد أو أكثر. ويمكن أن يكون الميزون متعادلاً أو يحمل شحنة موجبة أو سالبة. والفرق الأساسى بين البروتون والنيوترون يكمن فى تركيب سحابة الميزون المحيطة. وبناء على ذلك، فإن القوة بين نيوترونين أو بروتونين هى نتيجة تبادل ميزونات تدعى ميزون باى المتعادل، على حين تكون القوة بين نيوترون وبروتون هى نتيجة تبادل ميزونات باى المشحونة بشحنة موجبة أو سالبة. على هذا الأساس، عندما يتحول النيوترون إلى بروتون ينبعث ميزون باى السالب وفى المقابل ينبعث ميزون باى الموجب عندما يتحول البروتون إلى نيوترون، والحقيقة هى أنه لا يمكن إيجاد صيغة رياضية سهلة لتوضيح قوى التبادل بين النويات. ومع هذا يمكن استيعاب هذه العملية بتشبيه مألوف. دعنا نتصور ولدين يتبادلان كرات السلة، فعندما قذف الكرات سيندفع الولدان إلى الخلف ويزداد ارتدادهما عند مسك الكرات المرمية عليهما. وعليه فإن هذا التبادل لكرات السلة سيؤدى إلى قوة تنافر بين الولدين. ولكن إذا اختطف

الولدان كرات السلة من بعضهما الآخر فيتكون ما يكافئ قوة تجاذب بينهما.

وهناك مسألة أساسية تطرح نفسها، إذا كانت النويات تبعث وتمتص ميزونات باستمرار، فلماذا تبقى كتل النيوترونات ثابتة، وجواب هذا السؤال يعتمد على مبدأ اللايقين الذى يحدد دقة قياس بعض الأزواج من هذه الكميات. ويمكن أن ينبعث ميزون من نوية مع بقاء كتلتها ثابتة وتمتص النوية ميزوناً منبعثاً من نوية مجاورة بعد وقت قصير جداً، بحيث لا يمكن الكشف عنها عملياً. وبناء على ذلك نجد أنه يمكن إفناء أو خلق طاقة على شرط أن الإخلال فى قانون حفظ الطاقة لا يستمر لفترة زمنية مقدارها يتناسب عكسياً مع مقدار هذه الطاقة.

٤ - ٣) البايونات والميونات :

بعد اثنتى عشرة سنة من وضع نظرية الميزون للقوى النووية، تم اكتشاف جسيمات طليقة خارج النواة ذات صفات تتفق مع الصفات المطلوبة لهذه النظرية، وتدعى هذه

الجسيمات اليوم بميزونات باى أو البايونات وهناك سببان لتأخر اكتشاف البايون الطليق، السبب الأول أن علينا توفير طاقة كافية إلى النوية لكى تبعث بايوناً مع تحقيق قانون حفظ الطاقة. فى هذه الحالة نحتاج إلى طاقة مقدارها ١٤٠ مليون إلكترون ڤولت لتحرير البايون. وهذا ما توفره جسيمات توجد فى الطبيعة على شكل حزم متشتتة تكون ما يسمى بالأشعة الكونية. ولهذا السبب تطلب اكتشاف البايون تطوير طرق دقيقة لدراسة تفاعلات الأشعة الكونية. وفى الآونة الأخيرة تم تشغيل المعجلات الذرية التى تستطيع تعجيل جسيمات إلى الطاقة اللازمة لتحرير البايون، وبذلك أمكن تكوين البايونات فى المختبر وبصورة سهلة. أما السبب الثانى لتأخر اكتشاف البايون عملياً، يعود إلى عدم استقرار هذه الجسيمات هو قصر فترة نصف العمر التى تتراوح بين ١,٨ × ١٠$^{-٨}$ ثانية للبايون الموجب ٧ × ١٠$^{-١٢}$ ثانية للبايون المتعادل.

والجدير بالذكر، أن البايونات المشحونة تنحل كلياً إلى ميزونات أخف منها تسمى «ميزونات ميو» أو «الميونات» ونيوترينات. وهذه النيوترينات تختلف عن تلك المنبعثة من

انحلال أشعة بيتا الذى ذكرت من قبل. ولذلك أطلق عليها نيوترينات ميو.

٤ - ٤) الكايونات والهايبرونات :

إن البايونات والميونات لا تمثل جميع الجسيمات الأولية التى كتلتها تكون بين مقدار كتلة الإلكترون وكتلة البروتون. لقد تم اكتشاف مجموعة ثالثة من الميزونات اطلق عليها اسم ميزونات كا أو «الكايونات». وتكون هذه الميزونات أما متعادلة أو مشحونة بشحنة موجبة أو سالبة. وأن فترة نصف العمر قصيرة للغاية، وبذلك تنحل هذه الكايونات إلى بايونات ثم إلى ميونات.

وبالإضافة إلى التفاعلات الكهرومغناطيسية مع المواد تظهر الكايونات تفاعلات نووية متفاوتة مع نوى الذرات على حين تتشتت ضديداتها أو تمتص بسهولة من قبل هذه النوى وتدعى الجسيمات الأولية ذات الكتل الأكبر من النيوترون أو البروتون «بالهايبرونات» وهناك أربعة أقسام للهايبرونات هى: هايبرونات أوميجا وكساى وسجما ولامدا. وجميع هذه

الهايبرونات غير مستقرة وذات أنصاف أعمار قصيرة جداً. ويطلق أحياناً على مكونات الهايبرونات بالشظايا الهايبرونية.

ومما سبق يمكن تصنيف الجسيمات الأولية المستقرة نسبياً، ويمكن أن نفرق فيما بينها طبقا للنوع وكتلة السكون وطاقة السكون ونصف العمر.

obeikandl.com