Geologyعلم الأرض

المحاضرة الثالثة: **د. حازم جمعة محمود**

نشوء العناصر الكيميائية Genesis of chemical elements

اللبنات الأساسية للمادة

يمكن إرجاع تكوين المادة إلى بداية الانفجار الكبير. مع توسع الكون وتبريده بسرعة بدأ من بلازما جسيمات دون ذرية عندما بدأت الجسيمات في الاندماج، مما أدى إلى ظهور اللبنات الأساسية للمادة: البروتونات والنيوترونات. هذه الجسيمات دون الذرية هي المكونات الأساسية التي تشكل نواة الذرة، وتلعب دوراً حاسماً في تكوين العناصر والتنوع الذي نلاحظه في الكون اليوم.

التخليق النووي (تكوين العناصر)

يؤدي اتحاد البروتونات والنيوترونات، من خلال عملية تسمى التخليق النووي(Nucleosynthesis)، إلى تكوين عناصر مختلفة. العنصر الأكثر وفرة في الكون، الهيدروجين، يتكون فقط من بروتون واحد. ومع ذلك، فإن اندماج البروتونات والنيوترونات داخل البيئات الساخنة والكثيفة للنجوم يؤدي إلى ظهور عناصر أثقل مثل الهيليوم والكربون والأكسجين وما بعده. وتحدث هذه العملية من خلال التفاعلات النووية، مثل اندماج نوى الهيدروجين لتكوين الهيليوم في قلب النجوم. إن وفرة العناصر وتوزيعها في جميع أنحاء الكون هي نتيجة مباشرة لعمليات التخليق النووي هذه.

عند النظر في دور البروتونات والنيوترونات باعتبارها اللبنات الأساسية للمادة، يصبح من الواضح أن تفاعلها أمر بالغ الأهمية لوجود الكون كما نعرفه. إن وجود كل من البروتونات والنيوترونات في النوى الذرية يضمن استقرار المادة، مما يسمح بتكوين مجموعة متنوعة من العناصر. وبدون التوازن الدقيق بين القوة النووية القوية الجاذبه والقوة الكهروستاتيكية التنافرية، لن تتماسك النوى الذرية معاً، وسيفتقر الكون إلى التعقيد الذي نلاحظه اليوم.

التخليق النووي البدائي: أصل العناصر بعد الانفجار الكبير

يشير التخليق النووي البدائي، المعروف أيضاً باسم التخليق النووي للانفجار الكبير، إلى تكوين العناصر الخفيفة في الكون المبكر. خلال الدقائق القليلة الأولى بعد الانفجار الكبير عندما كانت درجة الحرارة والكثافة مرتفعة للغاية. في هذه الظروف القاسية، تتحد البروتونات والنيوترونات لتشكل نوى العناصر الخفيفة، وخاصة الهيدروجين والهيليوم.

المحاضرة الثالثة: **د. حازم جمعة محمود**

لعبت التفاعلات النووية دورا حاسما في تكوين العناصر الخفيفة. فبعد ان تكونت البروتونات التي تمثل نواة ذرة الهيدروجين، كان التفاعل الأكثر أهمية خلال عملية التخليق النووي البدائي هو اندماج البروتونات لتكوين الديوتيريوم، والذي اتحد بعد ذلك مع البروتونات لتكوين الهيليوم-3. بعد ذلك، اندمجت نوى الهيليوم-3 معاً لإنتاج الهيليوم-4، وهي النظائر الأكثر وفرة للهيليوم. حدثت هذه التفاعلات النووية بسرعة بسبب ارتفاع درجات الحرارة والكثافة في الكون المبكر.

تعتمد وفرة الهيدروجين والهيليوم على درجة حرارة وكثافة الكون المبكر. ساهمت درجات الحرارة والكثافة المرتفعة في تكوين عناصر أثقل، مثل الهيليوم، بينما ساهمت درجات الحرارة والكثافة الاقل في إنتاج عناصر أخف مثل الهيدروجين. التوازن الدقيق بين هذه العوامل يحدد الوفرة النهائية للهيدروجين والهيليوم.

الذرات الأثقل تكوَّنَت من الهيدروجين، لاحقًا، من خلال عملية تسمى بالتّخليق النَّوَوِيّ النجمي. هذه المرة يدور الحديث عن عمليَّة متواصلَة تمَّ فيها، خلال المراحِل المُختلفة من مسار حياة النجوم، دمج الهيدروجين والهيليوم، في اندماج نوَويّ داخل النجوم الَّتي كانت بمثابة أفران عملاقَة. هذه العملية مسؤولة عن وجود الكربون والكثير من العناصر التي تأتي بعدَه في الجدول الدَّورِيّ. منتوجات هذه العمليَّة انتشَرَت من النجوم إلى الغاز البَيْنَ نجميّ وشَكَّلَت السُّدُم.

معظم الذَرَّات الأثقل تتكوّن من خلال التّخليق النّوَوِيّ للمستعرات الأعظمية (Supernova). هنا أيضًا، يدور الحديث عن اندماج نوَوِيّ، لكنَّ هذه العمليَّات تحتاجُ إلى طاقةٍ هائلةٍ تتوفَّرُ في النجوم الضَّخمة الموجودة في مرحلة الـ "سوبرنوفا"، فقط؛ المرحلة الَّتي ينفجر فيها نجمٌ ضخمٌ عندما يستنفد الاندماجُ النّوَوِيُّ، الَّذي يحدثُ فيه، ولا يعودُ قادِرًا على منع النجم من الانهيار داخِلَ نَفسِهِ بسبب جاذِبيَّتِهِ الذَّاتيَّة.

هناك ذَرَّاتٌ أخفُّ من الكربون، لكنَّها أكبَرُ من الهيدروجين والهيليوم، تتكوَّنُ في رَذَاذ الأشِعَّة الكَوْنِيَّة. في هذه العمليَّة تُسَبِّبُ الأشِعَّةُ الكَوْنِيَّةُ ضَرَرًا لنوى العَناصِر الأثقل وتُفَكِّكُها، بحيثُ تَتَشَكَّل نوًى أخفّ، مثل البريليوم، اللّيثيوم والبورون.

النّوى الأثقَل الموجودة في أسفل الجدول الدَّورِيّ هي من صنع الإنسان. لقد تكَوَّنَت بشكل اصطناعي عن طريق تسارع نوًى ثقيلةٍ نسبيًّا في مُسَرِّعات الجسيمات، وتصادمها بسرعةٍ هائلةٍ وبقُوَّةٍ كبيرةٍ. نتيجة هذا التَّصادُم تتكوَّنُ نوًى ثقيلة تَكُون عادةً غير مستقرة وتتَفكك في غُضون أجزاء من الثَّانيَة.

المحاضرة الثالثة: **د. حازم جمعة محمود**

ويمكن تلخيص اهم مراحل تخليق العناصر الكيميائية بالتفاعلات التالية:

1- احتراق الهيدروجين
2- احتراق الهليوم (triple α)
3- احتراق الكاربون والاوكسجين (α-process)
4- احتراق السليكون
5- اقتناص النيترونات البطيئة
6- اقتناص النيترونات السريعة
7- اقتناص البروتونات

العناصر والنظائر والايونات والمركبات (Elements, Isotopes, Ions, and Compounds)

تركيب الذرة(Atomic Structure)

جميع المواد الطبيعية ومعظم المواد الاصـــطناعية على وجه الأرض متكونة من حوالي تســـعين عنصـــرًا كيميائيًا موجودًا بشكل طبيعي. الذرة هي أصـغر جسيم يمكن تقسيم العنصـر إليه مع الاحتفاظ بالخصـائص الكيميائية لذلك العنصـر (انظر الشـكل). تحتوي النواة، الموجودة في مركز الذرة، على جسـيم واحد أو أكثر مشـحونة بشـحنة كهربائية موجبة (protons)، وعادةً ما تحتوي على بعض الجسـيمات ذات الكتلة المماثلة والتي ليس لها شـحنة (neutrons). تدور حول النواة إلكترونات(electrons) سـالبة الشـحنة. البروتونات والنيوترونات متشـابهة في الكتلة، وتشـكل معًا معظم كتلة الذرة. الشـحنة السـالبة لإلكترون واحد تعادل تمامًا الشحنة الموجبة لبروتون واحد.

يحدد عدد البروتونات الموجودة في النواة نوع العنصـــر الكيميائي لتلك الذرة. تحتوي كل ذرة هيدروجين في نواتها على بروتون واحد؛ تحتوي كل ذرة أكسـجين على ثمانية بروتونات؛ كل ذرة كربون سـتة؛ كل ذرة حديد ستة وعشرون. وهكذا لبقية العناصر.

المحاضرة الثالثة: **د. حازم جمعة محمود**

العناصر والنظائر(Elements and Isotopes)

باستثناء أبسط ذرات الهيدروجين، تحتوي جميع النوى على نيوترونات، وعدد النيوترونات مماثل أو أكبر إلى حد ما من عدد البروتونات. عدد النيوترونات في ذرات عنصر معين ليس متساوي دائما. مجموع عدد البروتونات وعدد النيوترونات في النواة هو عدد الكتلة الذرية للذرة. إن ذرات عنصر معين لها أعداد كتل ذرية مختلفة – وبعبارة أخرى، الذرات التي لها نفس عدد البروتونات ولكن بأعداد مختلفة من النيوترونات – هي نظائر لذلك العنصر. تحتوي بعض العناصر على نظير واحد فقط، بينما قد يحتوي البعض الآخر على عشرة نظائر أو أكثر. (وترجع أسباب هذه الظواهر إلى مبادئ الفيزياء النووية وطبيعة العمليات التي يتم من خلالها إنتاج العناصر في باطن النجوم، ولن نخوض فيها هنا!)

عندما يتم تعيين نظير معين، يتم ذلك عن طريق تسمية العنصر (الذي يحدد حسب التعريف بالعدد الذري، أو عدد البروتونات) وعدد الكتلة الذرية (البروتونات بالإضافة إلى النيوترونات). الكربون، على سبيل المثال، لديه ثلاثة نظائر طبيعية. والأكثر وفرة على الإطلاق هو الكربون 12، وهو النظير الذي يحتوي على ستة نيوترونات في النواة بالإضافة إلى البروتونات الستة المشتركة بين جميع ذرات الكربون. النظيران النادران هما الكربون 13 (ستة بروتونات بالإضافة إلى سبعة نيوترونات) والكربون 14 (ستة بروتونات بالإضافة إلى ثمانية نيوترونات). كيميائيا، كل هذه النظائر تتصرف بشكل متشابه. فجسم الإنسان، على سبيل المثال، لا يستطيع التمييز بين السكر الذي يحتوي على الكربون 12 والسكر الذي يحتوي على الكربون 13.

ومع ذلك، فإن الاختلافات الأخرى بين النظائر قد تجعل نظيرًا معينًا مفيدًا لبعض الأغراض الخاصة. بعض النظائر مشعة، مما يعني أنه مع مرور الوقت فان نوى هذه العناصر سوف تتحلل إلى نوى عناصر أخرى، مما يؤدي إلى إطلاق الطاقة. سوف يضمحل كل نظير مشع بمعدله الخاص، مما يسمح لنا باستخدام هذه النظائر لتأريخ المواد والأحداث الجيولوجية، والمثال المألوف هو الكربون 14، الذي يستخدم لتأريخ المواد التي تحتوي على الكربون، بما في ذلك البقايا الأثرية. كالقماش، والفحم، والعظام. إن حقيقة أن العناصر المشعة سوف تتحلل بشكل لا محالة –محررة الطاقة– بمعدلاتها الثابتة، هي جزء مما يجعل التخلص من النفايات المشعة مشكلة صعبة للغاية، لأنه لا توجد معالجة كيميائية أو فيزيائية يمكن أن تجعل نظائر النفايات هذه غير مشعة وخاملة.

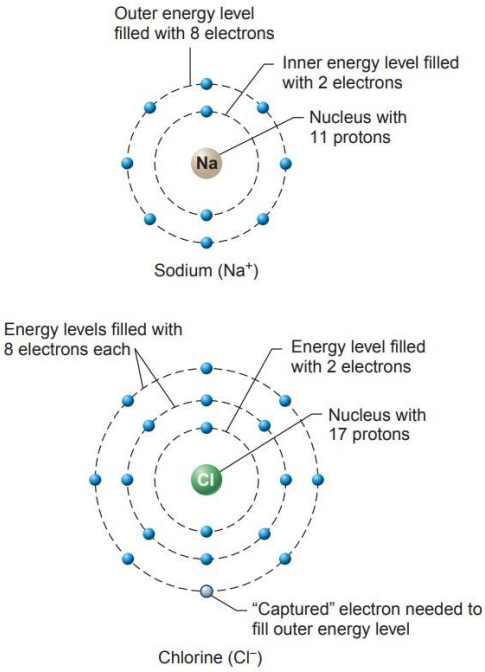
الأيونات (Ions)

المحاضرة الثالثة: **د. حازم جمعة محمود**

في الذرة المحايدة كهربائيًا، يكون عدد البروتونات وعدد الإلكترونات متساويًا؛ الشحنة السالبة لإلكترون واحد تساوي تماما الشحنة الموجبة لبروتون واحد. ومع ذلك، يمكن أن تكتسب أو تفقد معظم الذرات بعض الإلكترونات. وعندما يحدث ذلك، تحمل الذرة شحنة كهربائية موجبة أو سالبة وتسمى أيونًا. إذا فقد إلكترونات فإنه يصبح موجب الشحنة، لأن عدد البروتونات تتجاوز عدد الإلكترونات. وإذا اكتسبت الذرة إلكترونات تصبح أيون مشحون بشحنة سالبة. تسمى الأيونات الموجبة والسالبة، على التوالي، الكاتيونات (cations) والأنيونات(anions). ان كل من المواد الصلبة والسوائل، بشكل عام متعادلة كهربائيًا، حيث يكون إجمالي الشحنات الموجبة والسالبة للكاتيونات والأنيونات متوازنة. علاوة على ذلك، لا توجد أيونات حرة في المواد الصلبة اما في السوائل قد ترتبط الكاتيونات والأنيونات معًا، وقد توجد أيونات فردية حرة وتتحرك بشكل مستقل. تتحلل العديد من المعادن إلى أيونات عندما تذوب في الماء. ويمكن أن تمتص النباتات الأيونات الفردية كمواد مغذية أو قد تتفاعل هذه الايونات مع مواد أخرى.

المركبات (compounds)

المركب عبارة عن مزيج كيميائي من عنصرين كيميائيين أو أكثر، مرتبطين معًا بنسب معينة، وله مجموعة متميزة من الخواص الفيزيائية (غالبًا ما تكون مختلفة جدًا عن تلك الخاصة بأي من العناصر الفردية الموجودة فيه). تكون معظم الروابط في المعادن اما أيونية أو تساهمية، أو مزيج من الاثنين. في الرابطة الأيونية، تعتمد الرابطة على الجذب الكهربائي بين الأيونات المشحونين بشحنة متعاكسة. قد تتشكل الروابط بين الذرات أيضًا إذا كانت الذرات تتشارك في الإلكترونات، وهذا ما يعرف بالترابط التساهمي. يقدم ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) مثالاً شائعًا للترابط الأيوني (الشكل). الصوديوم، وهو فلز قلوي، يفقد إلكترونه الخارجي إلى الكلور، وهو الهالوجين. وهكذا يملأ العنصران أغلفة الإلكترونات، لكن بقي الصوديوم بشحنة صافية +1، والكلور −1. وتترابط الأيونات برابطة ايونية لتكوين كلوريد الصوديوم، وهو مركب يشكل بلورات عديمة اللون لا تشبه أيًا من العناصر المكونة.



المحاضرة الثالثة: د. حازم جمعة محمود