الفصل الثالث
النظائر

نظائر العناصر الكيميائية

هي أشكال من العنصر الكيميائي لذرتها نفس العدد الذري Z ، ولكنها تختلف في الكتلة الذرية بسبب اختلاف عدد النيوترونات. وكلمة نظير، تعنى نفس المكان، وذلك لأن كل النظائر المختلفة للعنصر تشغل نفس المكان بالجدول الدوري. الرقم الذري يساوى عدد البروتونات الموجودة في الذرة. وعلى هذا فإن نظائر عنصر محدد تحتوى على نفس عدد البروتونات. والإختلاف يكون في الكتلة الذرية والذى ينتج من إختلاف عدد النيوترونات في نواة الذرة.

ولا تختلف الخواص الكيميائية للذرة ونظيرها، ذلك لأن الخواص الكيميائية للذرة تعتمد عل عدد البروتونات في النواة وبالتالي على عدد الإلكترونات التي تدور في الغلاف النووي وتوزيعها، أما الخواص الفيزيائية فهي تختلف لكلاهما اختلافا كبيرا حيث تعتمد على عدد البروتونات والنيوترونات وتوزيعهما في النواة. فمثلا إذا نظرنا إلى ذرة الكربون-12 وهي تحتوي على 6 بروتونات و 6 نيوترونات في نواتها فهي مستقرة (خاصة فيزيائية). أما الكربون-14 فتحتوي نواته على 6 بروتونات و 8 نيوترونات وهو نظير مشع أي ذو نشاط إشعاعي(خاصة فيزيائية) ويتحلل من ذاته عن طريق تحلل بيتا.

كما أن نظائر أى عنصر تشكل مجموعة النيوكليدات. والنيوكليد هو نوع معين من نواة الذرة، وللتعميم فإنه عبارة عن تكتل البروتونات والنيوترونات. ولمزيد من الدقة فإن من الأصح القول بأن عنصر مثل الفلور يتكون من نيوكليد واحد ثابت بدلا من القول بأن له نظير واحد ثابت.

عند تطبيق عملية التسمية العلمية فإن النظير (النيوكليد) محدد بإسم العنصر متبوعا بشرطة ثم عدد النيوكليونات nucleons (الذي هو مجموع عدد البروتونات زائد عدد النيوترونات) الموجودة في نواة الذرة. أمثلة: الهيليوم-3 وتحتوي نواته على برتونين و 1 نيوترون، كربون-12 وتحتوي نواته على 6 بروتونات و 6 نيوترونات، كربون-14، حديد-57 وتحتوي نواته على 26 بروتونات و 31

من النيوترونات، ورمز يورانيوم-238 .(وعند استخدام الاختصارات فإنه يتم وضع رقم النوكليونات أعلى رمز العنصر (3He, 12C, 14C, 57Fe, 238U) .

تاريخ المصطلح

المصطلح نظير isotope صيغ في عام 1913م من قبل مارگريت تود، الطبيبة الاسكتلندية، أثناء محادثة مع فردريك سودي (التي كان يربطها به صلة نسب بعيدة. سودي، الكيميائي في جامعة جلاسگو)، والذي كان يشرح لها أنه يبدو له من أبحاثه كما لو أن العديد من العناصر تشغل نفس الموقع في الجدول الدوري. لذلك اقترحت "تود" المصطلح اليوناني لمعنى "في نفس المكان" كاسم مناسب. اتخذ سودي المصطلح وواصل عمله ليحصل على جائزة نوبل في الكيمياء عام 1921م لعمله في المواد المشعة.

إختلاف الخواص بين النظائر

فى النواة المتعادلة، عدد الإلكترونات يساوى عدد البروتونات. وعلى هذا فإن النظائر المختلفة يكون لها نفس عدد الإلكترونات ونفس الشكل الإلكتروني. ونظرا لأن تصرف الذرة كيميائيا يتم تحديده بالتركيب الإلكتروني، فإن النظائر تقريبا تسلك نفس السلوك الكيميائي. الإستثناء الأساسي أنه نظرا لوجود إختلاف في كتلتها، فإن النظائر الثقيلة تميل لأن تتفاعل بصورة أبطأ من النظائر الأخف لنفس العنصر. (تسمى هذه الظاهرة تأثير حركة النظائر).

وتأثير الكتلة يلاحظ بشدة عند النظر للبروتيوم (H1) مقابل ديتيريوم (H2), نظرا لأن الديتريوم له ضعف كتلة البروتيوم. أما بالنسبة للعناصر الأثقل فإن تأثير الكتلة النسبي بين النظائر يقل ويكاد ينعدم كلما زاد ثقل العنصر.

وبالمثل، فإنه لجزيئين يختلفان فقط في طبيعة النظير المكون لكل "متناظرين" منهما سيكون لهما تقريبا نفس التركيب الإلكتروني، وعلى هذا سيكون لهما خواص فيزيائية وكيميائية متشابهة. الأشكال الإهتزازية للجزيء يتم تحديدها بشكل الجزيء وكتلة الذرات المكونة له. وبالتالى فإن هذان المتناظران سيكون لهما شكلان إهتزازيان مختلفان، حيث أن الشكل الإهتزازي يسمح للجزيء بإمتصاص الفوتونات الملائمة لطاقة هذا الإهتزاز، ويتبع ذلك أن يكون للمتناظرين خواص ضوئية مختلفة في المنطقة تحت الحمراء.

وبالرغم من أن النظائر لها تقريبا نفس الخواص الإلكترونية والكيميائية، فإن سلوكها الجزيئي مختلف تماما. تتكون النواة الذرية من بروتونات ونيترونات مرتبطة معابقوى نووية قوية.

ونظرا لأن البروتونات لها شحنة موجبة، فإنها تدفع بعضها البعض. وتقوم النيوترونات بعمل بعض الفصل بين الشحنات الموجبة، مما يقلل من التنافر الكهرستاتيكي، وتساعد على ثبات النواة. وبزيادة عدد البروتونات، تزداد الحاجة لنيوترونات أكثر لعمل ثبات للنواة. فمثلا، على الرغم من أن نسبة نيوترون/بروتون في He3 هي 2/1، فإن نيوترون/بروتون في U238 أكبر وتصل إلى 2/3. وفى حالة وجود نيوترونات أقل أو أكثر من المفترض، فإن النواة تكون غير مستقرة، وينتج الإضمحلال النووي.

التواجد في الطبيعة

يمكن لعدة نظائر لنفس العنصر أن تتواجد في الطبيعة. ونسبة التواجد لنظير تتناسب بشدة مع ميله ناحية الإضمحلال النووي، النيوكليدات التى تعيش لفترة قصيرة تضمحل سريعا، بينما تعيش مكوناتها. وهذا لا يعنى أن هذه الأصناف تختفى تماما، نظرا لأن كثير منها يتكون أثناء إضمحلال الأصناف ذات العمر الأطول. يتم حساب الكتل الذرية للعناصر بعمل متوسط للنظائر التى لها كتل مختلفة.

وفي الحقيقة، فإن كل النيوكليدات ما عدا نظائر الهيدروجين والهيليوم نتجت من النجوم والسوبرنوفا. ويكون تواجدها الطبيعي ناتجا من الكميات الناتجة أثناء تلك العمليات الكونية، وأيضا توزيعها في المجرة، ومعدلات إضمحلالها. وبعد الإندماج المبدئي للنظام الشمسي، توزعت النظائر طبقل لكتلها (شاهد أصل النظام الشمسي. تركيب نظائر العناصر يختلف على كل كوكب، مما يجعل من الممكن تحديد أصل النيازك.

تطبيقات النظائر

هناك كثير من التطبيقات التى يتم إستخدام الخواص المختلفة للنظائر فيها.

إستخدام الخواص الكيميائية

أحد أهم التطبيقات هو التسمية بالنظائر، بإستخدام النظائر غير العادية كأثر أو علامة في التفاعلات الكيميائية. وفى الحالات الطبيعية، فإن ذرات عنصر معين لا يمكن تمييزها عن بعضها. ولكن بإستخدان النظائر التى لها كتل مختلفة يمكن تمييزها بواسطة سبكترومتري الكتلة أو مطياف الأشعة تحت الحمراء. ولو تم إستخدام نظائر نشيطة إشعاعيا، يمكن تحديدها عن طريق الأشعة التى تنبعث منها، وهذا ما يسمي بالنظائر المشعة.

وهناك تقنية أخرى مشابهه للتسمية بالنظائر المشعة وهى حساب الزمن بالإشعاع. (وأشهرها حساب الزمن بالكربون المشع) ويمكن إستخدامها لدراسة الخواص الكيميائية التى لا يمكن للتجارب العادية ملاحظتها، بإستخدام أثار النظائر.

كما يمكن إستخدام إستبدالات النظائر لتحديد ألية التفاعل خلال تأثير النظير الحركي.

إستخدام الخواص النووية

تعتمد كثير من تقنيات المطياف على الخواص النووية المتفردة للنظائر. فمثلا "مطياف الرنين النووي المغناطيسي "NMR" يتم إستخدامه فقط للنظائر التى لها قيمة دوران غير صفرية. وأكثر النظائر إستخداما مع مطياف رنين نووي مغناطيسي H1، D2، C13، P31.

مطياف موس باوير يعتمد أيضا على الإنتقالات النووية لنظائر معينة مثل Fe57.

كما أن النيوكليدات الإشعاعية لها إستخدامات مهمة نظرا لأن تطوير كل من القوة النووية والأسلحة النووية تتطلب كميات كبيرة من النظائر. كما أن فصل النظائر تمثل تحدي تقني معقد.

النظائر

تختلف العناصر فيما بينها في العدد الذري (عدد البروتونات) إلا أن هنالك عناصر تتشابه في العدد الذري وتختلف فيما بينها في العدد الكتلي وتعرف هذه العناصر بالنظائر.

وتعني كلمة نظير (المكان نفسه) أي أن لها نفس المكان في الجدول الدوري، إذ أنها لا تختلف فيما بينها في العدد الذري. وعادة ما يتم التعبيرعن النظائر بدلالة كتلها الذرية، لأن أعدادها الذرية ثابتة.

فالنظائر: "ذرات العنصر الواحد التي تتساوى في العدد الذري، وتختلف في العدد الكتلي". أي أن لها نفس الخواص الكيميائية ولكنها تختلف في الخواص الفيزيائية

فالهيدروجين يوجد فى ثلاث صور: (${}_{1}^{1}H$, ${}_{1}^{2}H$, ${}_{1}^{3}H$)، والكلور يوجد في صورتين (${}_{17}^{35}Cl$, ${}_{17}^{37}Cl$)

أما الكوبلت فله تسعة نظائر. وقد أثبتت الدراسات أنه يوجد في الطبيعة ما يقرب من 280 نظيراً مختلفاً. ويمكن تصنيع بعض النظائر. وتكون النظائر عادة مستقرة إلا أنها بعضها تكون مشعة وتسمى النظائر المشعة.

وقد وجد أن نظائر العنصر الواحد لا تتواجد فى الطبيعة فى أية عينة من العنصر بنسب متساوية، فالكلور مثلاً يتواجد نظيرا ${}_{17}^{35}Cl$ (،) ${}_{17}^{35}Cl$ على الترتيب بنسبة 1 : 3 في أية عينة منه.

مثال 1

للهيدروجين (العدد الذري للهيدروجين= 1) ثلاثة نظائر مشهورة، تشترك جميعها في احتوائها على نفس العدد من البروتونات (العدد الذري). وتختلف فيما بينها في عدد النيوترونات (العدد الكتلي).

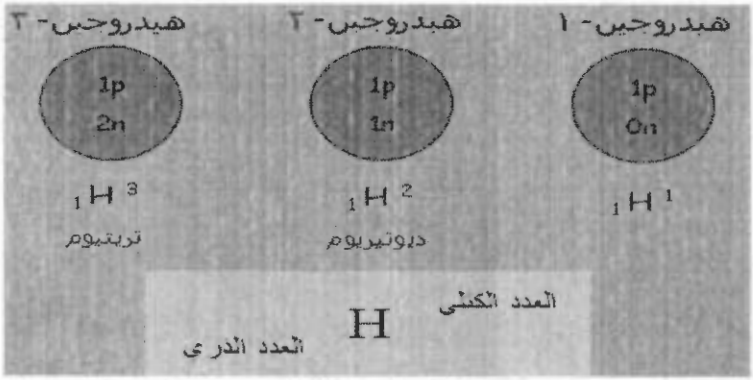
يسمى كل نظير نسبة إلى عدده الكتلي:

. يسمى النظير الأول للهيدروجين (هيدروجين – 1).

. يسمى النظير الثاني للهيدروجين (هيدروجين – 2) أو الديوتيريوم.

. يسمى النظير الثالث للهيدروجين (هيدروجين – 3) أو التريتيوم.

لاحظ أن جميع نظائر الهيدروجين تتشابه في عدد البروتونات وتختلف في عدد النيوترونات.

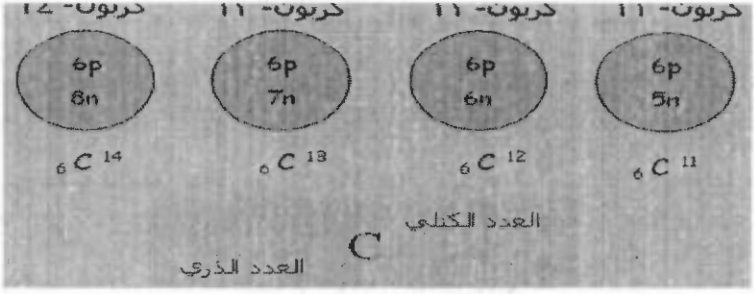


نظائر الهيدروجين

مثال 2

للكربون (العدد الذري للكربون = 6) أربعة نظائر معروفة تعرف بالأسماء: (كربون– 11)، (كربون– 12)، (كربون – 13)، (كربون– 14).

ويشكل النظير (كربون– 12) 99% من نسبة الكربون الموجود في الطبيعة.



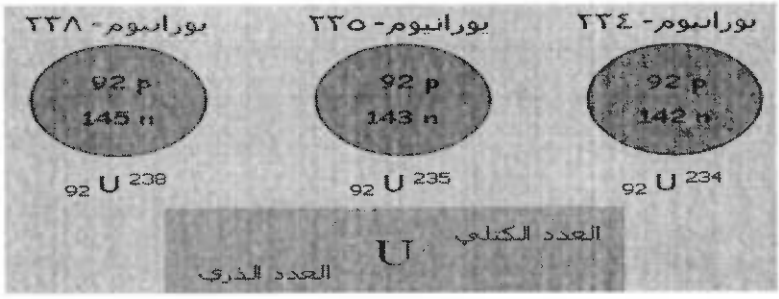
لاحظ أن جميع نظائر الكربون تتشابه في عدد البروتونات وتختلف في عدد النيوترونات.

ويستخدم "مطياف الكتلة" لتحديد كتل ذرات العناصر المختلفة. وتتلخص فكرة عمل هذا الجهاز في إخضاع ذرات العنصر إلى عملية تأيين، وذلك بتحويلها إلى أيونات موجبة، ثم تعرّض لمجالات كهربائية ومغناطيسية. وبدراسة المسارات

الناتجة ، يمكن تعيين كتلها من القياسات الناتجة من المطياف، وعندما نعيّن كتلة الأيون فإننا نكون قد عيّنا كتلة الذرة ، وذلك بسبب صغر كتلة الإلكترونات.
لوحظ من هذه القياسات أن ذرات نفس العنصر قد تختلف في الكتلة {تتساوى في عدد البروتونات، وتختلف في عدد النيوترونات}. هذا وقد سميت مثل هذه الذرات "النظائر".

مثال 3

لليورانيوم (العدد الذري لليورانيوم = 92) عدد من النظائر أشهرها :
(يورانيوم – 234)، (يورانيوم – 235)، (يورانيوم – 238)



ويشكل النظير (يورانيوم– 238) حوالي 99.3% من نسبة اليورانيوم الموجودة في الطبيعة، بينما يشكل النظيران (يورانيوم – 235) و (يورانيوم – 234) 0.7% من النسبة المتبقية تقريباً.

مثال 4

الحديد الطبيعي مؤلف من النظائر في الجدول التالي، احسب الكتلة الذرية للحديد الطبيعي.

النظير	وفرته %	ك (و.ك.ذ)
54Fe	5.82	53.9396
56Fe	91.66	55.9349
57Fe	2.19	56.9354
58Fe	0.33	57.9333

الحل :

الكتلة الذرية للحديد=

$$\frac{٥٣,٩٣٩٣ \times ٥,٨٢ + ٥٥,٩٣٤٩ \times ٩١,٦٦ + ٥٦,٩٣٥٤ \times ٢,١٩ + ٥٧,٩٣٣٣ \times ٠,٣٣}{٥,٨٢ + ٩١,٦٦ + ٢,١٩ + ٠,٣٣}$$

= 55.1473 و.ك.ذ

الخصائص الكيميائية والفيزيائية للنظائر

تتشابه نظائر العنصر الواحد فيما بينها في السلوك الكيميائي، أي أنها تتفاعل مع غيرها بنفس الطريقة والآلية والسرعة، ويعود ذلك لتشابهها في العدد الذري والذي يمثل عدد الإلكترونات كما هو يمثل عدد البروتونات، وأنت تعلم أن التفاعل الكيميائي تشارك فيه الإلكترونات وليس للنواة علاقة به.

السلوك الفيزيائي لنظائر العنصر الواحد فهو مختلف كدرجات الغليان والانصهار والكثافة وغيرها، ويعود ذلك إلى كتل أنويتها، فكل نظير من نظائر العنصر الواحد يختلف عن سواه في عدد النيوترونات مما يؤدي إلى اختلافها في الكتلة.

حساب معدل الكتلة الذرية للنظائر

لحساب معدل الكتلة الذرية للنظائر تضرب الكتلة الذرية لكل نظير في النسبة المئوية لوجوده في الطبيعة، ثم تجمع معاً لتشكل الكتلة الذرية للعنصر والتي تثبت ككتلة ذرية للعنصر في الجدول الدوري.

مثال 5

للنحاس نظيران الأول كتلته الذرية 62.93 وحدة كتلة ذرية ونسبة وجوده في الطبيعة 69%، والكتلة الذرية للثاني 64.93 وحدة كتلة ذرية ونسبة وجوده في الطبيعة 31%.

الحل

$$\text{معدل الكتلة الذرية للنحاس} = \frac{٦٢,٩٣ \times ٦٩}{١٠٠} + \frac{٦٤.٩٣ \times ٣١}{١٠٠}$$

= ٦٣,٥٥ وحدة كتلة ذرية .

النظائر المشعة ماهيتها وتطبيقاتها

تعد النظائر المشعة من أبرز اكتشافات العلم الحديث، ومن أهم ما حققه الفكر الإنساني في الغوص إلى عالم الصغائر، وللإجابة عن تساؤلات الحضارات المتلاحقة حول المادة وسر تكونها، فقد جرت الإجابة عن الكثير من التساؤلات، وأعطت النظائر المشعة بعض الإجابات الوافية والشافية عن تكوين الذرة والغوص في عمق النواة، وما زالت تساؤلات أخرى يطمح العقل البشري إلى الإجابة عنها كي يتعرف بصورة موثوقة ومؤكدة على قوانين الطبيعة، التي تتحكم في الكون من أصغر الصغائر (الذرة) إلى أكبر الكبائر (الكون بما فيه وبمن فيه).

ما هي النظائر المشعة؟

تحوي المادة المكونة للطبيعة على اثنين وتسعين عنصراً طبيعياً، نظمها العالم (مندلييف) في جدول دوري، ورتبها في بيوت حسب رقمها الذري من الهيدروجين (1) إلى اليورانيوم (92)، وأضيف إليها أكثر من عشرين عنصراً جرى ويجري تصنيفها واكتشافها وتحديد مكانها في جدول العناصر بعد اليورانيوم. وقد كانت النظرية السائدة أن كل ذرات العنصر الواحد متماثلة في الخاصيات، وتعطي النتائج نفسها في التفاعلات الكيميائية، ثم تبيَّن من خلال دراسة العناصر بطريقتي القطوع وبالمحلل الطيفي للكتلة، أن أغلب العناصر تعطي أكثر من مقطع واحد ومن طيف واحد، وهذا يتناقض مع نظرية التماثل والتجانس التي تستوجب وجود قطع واحد وطيف واحد. واستنتج من التجارب أن ذرات العنصر الواحد غير متماثلة في الكتلة، وبالتالي فهي مزيج ذو خاصيات كيميائية واحدة وفيزيائية مختلفة. وبما أن ذراته متوازنة كهربائياً فهي تضم في مداراتها الإلكترونات ذات الشحنة السالبة، التي يساوي عددها العدد نفسه من البروتونات ذات الشحنة الموجبة الموازنة في النواة.

وبينت التجارب على الأكسجين الطبيعي أنه مزيج من ثلاث نظائر مستقرة O16)، والأوكسجين/O17) ، والأوكسجين/O18) وأن الزئبق مزيج من تسعة نظائر.. إلخ. وقد أعطى اكتشاف النترون عام 1932 تفسيراً جديداً لتركيب النواة، وصار التعريف الجديد للنظائر هو الذرات التي تضم العدد نفسه من الإلكترونات والبروتونات، لكنها تختلف في عدد نيتروناتها.

وكان للاختلاف في عدد النيترونات نتائج هامة في الفيزياء النووية، إذ تتغير بنية النواة، وتتبدل خصائصها واستقرارها بإضافة نيترون واحد أو حذفه منها، فتصبح فاقدة للاستقرار. وفي حالة الإثارة، تصدر إشعاعات تختلف نوعيتها حسب درجة الإثارة، وتسمى هذه الذرات المثارة بالنظائر المشعة. وتتكون الإشعاعات التي تصدرها الذرات المشعة طبيعياً، أو الذرات المستقرة التي حصل تهييجها وإثارتها في المفاعلات أو بالمسرعات من إشعاعات ذات طاقة مرتفعة (جاما)، أو من جزيئات مادية مشحونة بالكهرباء السالبة والموجبة، مثل: جزيئات (بيتا) و(ألفا)، وكذلك إشعاعات أخرى صُنفت في مجموعات، هي: الفوتونات، واللبتونات، والميزونات.

إنتاج النظائر المشعة

يتم إنتاج النظائر المشعة المختلفة عن طريق تعريض (أى تشعيع) النظائر المستقرة لسيل من الجسيمات النووية كالنيوترونات أو البروتونات أو الدّيوترونات (الديوترون عبارة عن نواة تتكون من بروتون ونيوترون) أو جسيمات ألفا أو غيرها. وتستخدم لهذا الغرض المفاعلات النووية أو مولدات النيوترونات كمصدر للنيوترونات فى حين تستخدم المعجلات النووية كمصدر للجسيمات المشحونة كالبروتونات والديوترونات وجسيمات ألفا وغيرها.

يتم إنتاج النظائر المشعة بواسطة مايلي:

<u>المفاعلات ومولدات النيوترونات</u>

تتكون النظائر المشعة عند التشعيع بالنيوترونات من خلال التفاعل المعروف باسم تفاعل الأسر النيوترونى حيث تأسر النواة المستقرة (النواة الهدف) أحد النيوترونات الساقطة عليها فتتكون نواة النظير الجديد.

ومن امثلة هذا التفاعل أسر نواة الصوديوم 23 المستقر للنيوترون وتكون الصوديوم 24 المشع , وأسر نواة الفسفور 31 المستقر للنيوترون مكونة نواة الفسفور 32 المشع , وكذلك أسر نواة الكوبلت 59 المستقرة للنيوترون وتكون الكوبلت 60 المشع.

وبتم إنتاج عدة مئات من النظائر المشعة المختلفة بالتشعيع النيوترونى لنظائر مستقرة. ومن أمثلة النظائر المنتجة بهذا الأسلوب (الصوديوم 24, الفسفور 32,

الكروم 51, الكوبلت 60, البروم 82, الفضة 111, اليود 125, اليود 131, الزئبق 197 الذهب 198) وغيرها.

كذلك تستخدم التفاعلات النووية المستحثة بالنيوترونات والتى تنطلق عنها جسيمات مشحونة مثل البروتونات أو جسيمات ألفا أو غيرها في الحصول على العديد من النظائر المشعة.

ومن الأمثلة على ذلك تجهيز نظير الصوديوم 24 المشع نتيجة قصف المغنيسيوم 24 بالنيوترونات وأسرها وانطلاق البروتون طبقاً للتفاعل الآتي:

مغنيسيوم 24 + نيوترون <-------- صوديوم 24 + بروتون

وتنتج عشرات النظائر المشعة باستخدام التفاعلات النووية المستحثة بالنيوترونات والتى تنتج عنها انطلاق جسيمات مشحونة.

وفضلاً عن ذلك يستخدم التفاعل الإنشطارى للحصول على عدد من النظائر المشعة. فعند تعرض المواد الإنشطارية أو القابلة للإنشطار للنيوترونات تنشطر المادة الإنشطارية أو القابلة للإنشطار تحت ظروف معينة الى نواتين جديدتين متوسطتى الكتلة. وبتم إنتاج عدد من النظائر المشعة نتيجة لانشطار نوى اليورانيوم والثوريوم بالنيوترونات. ومن أمثلة النظائر المنتجة بهذا الأسلوب (المولبيبدينيوم 99, الفضة 111) وغيرها.

وتعد مفاعلات الأبحاث متوسطة القدرة والتى يتراوح الفيض النيوترونى فيها بين (100000000000 و 1000000000000000 نيوترون/سم2. ثانية) من أنسب المفاعلات لإنتاج معظم النظائر المشعة من خلال التشعيع النيوترونى. وتعد المفاعلات من نوع البركة السابحة (Swimming Pool Reactors). والمفاعلات المشابهة من أكثر المفاعلات ملاءمة لإنتاج النظائر حيث تتميز تلك المفاعلات بسهولة عمليات إدخال واخراج العينات الخاضعة للتشعيع وبالتالى سهولة التحكم فى زمن التشعيع الذى يعد من العناصر الهامة فى عملية إنتاج النظائر. إلا أنه فى حالة انتاج النظائر المشعة ذات النشاط النوعى المرتفع اللازمة لعمليات التعقيم والعلاج وبعض الأغراض الصناعية الأخرى فإن الأمر يتطلب وجود مفاعلات يصل فيها الفيض النيوترونى إلى (10000000000000000 نيوترون/ سم2. ثانية) بل وأكثر من ذلك. وفي

بعض الأحيان تستخدم مولدات النيوترونات بدلاً من المفاعلات كمصدر للنيوترونات, وتعطى المولدات عدداً من النيوترونات يصل إلى حوالى (10000000000 -100000000000نيوترون/ثانية). لذا، فإنه يمكن استخدام هذه المولدات فى تشعيع النظائر المستقرة التى تتميز بمقطع عرضى كبير للتفاعل. ومعنى المقطع العرضى للتفاعل هو احتمال حدوث هذا التفاعل عند سقوط جسيم واحد على نواة هدف واحدة موجودة في وحدة المساحة.

المعجلات

تنتج العديد من النظائر المشعة بقصف النظائر المستقرة بحزمة من الجسيمات المشحونة المسرعة فى المعجلات النووية لطاقة تتراوح ما بين 10 الى 40 م.أ.ف تبعاً لنوع النظير وللمقطع العرضى للتفاعل المعين.

ويعد معجل السيكلوترون متغير الطاقة من أنسب المعجلات لإنتاج أكبر عدد من النظائر المشعة باستخدام عملية قصف النظائر المستقرة بالجسيمات المشحونة. ولزيادة معدل الإنتاج ينبغى أن يتميز المعجل بتيار كبير من الجسيمات المشحونة بحيث يصل الى حوالى 100 ميكرو أمبير بل ويزيد وذلك لإمكانية الحصول على النظائر التي تتميز المقاطع العرضية المؤدية لها بقيم صغيرة.

وتجدر الإشارة الى أنه يمكن إنتاج مئات العينات من نفس النظير أو من النظائر المختلفة فى آن واحد داخل المفاعل وذلك بوضع جميع العينات المراد تشعيعها داخل المفاعل فى نفس الوقت. إلا أنه بالنسبة للمعجلات لا يوجد سوى حزمة واحدة من الجسيمات المعجلة يتم توجيهها للنظير المستقر المطلوب تحضير نظير مشع منه.

يندر استخدام النظائر المشعة المنتجة على المعجلات إلا فى حالات الضرورة كعدم ملاءمة الخصائص النووية للنظير المنتج فى المفاعل للدراسة أوعدم إمكانية أنتاج النظير المطلوب فى المفاعل أو بُعد المفاعل عن المكان الذى سوف يستخدم فيه النظير المشع خاصة إذا كان النظير من النوع ذي العمر النصفى القصير.

ومن النظائر التى تنتج باستخدام المعجلات (الصوديوم 22, المنجنيز 52, الكوبلت 57, الزنك 65, الجاليوم 67).

مراحل إنتاج النظائر

تمر عملية إنتاج النظائر بمراحل عديدة. وتعنى المرحلة الأولى بإعداد النظير المستقر المطلوب تشعيعه بحيث يكون على درجة عالية من النقاوة. ويعبأ النظير سواء كان فى شكل منفرد أو فى شكل مركب كيميائى داخل وعاء التشعيع الذى ينبغى أن يستوفى بعض المتطلبات, وبوفر وصول الجسيمات فيه المساهمة في التفاعل الى النظير المستقر الموجود داخله.

وتتم بعد ذلك عملية التشعيع سواء فى المفاعل أو على المعجل وتستمر لفترات متفاوتة تفاوتاً كبيراً تبعاً لنوع النظير وللمقطع العرضى للتفاعل وللنشاط الإشعاعى اللازم. وقد تستمر عملية التشعيع لدقائق محدودة كما قد تمتد لعدة أيام بل لعشرات الأيام. وبعد التشعيع داخل المفاعل أو على المعجل تبدأ مرحلة المعالجات المختلفة للنظير المشع. وتتضمن هذه المرحلة عمليات فصل النظير المشع عن النظير المستقر الذى تبقى بعد التشعيع أو عن النظائر الأخرى التى تتكون كعمليات جانبية. وبتم فى نهاية هذه المرحلة الحصول على النظير المشع المطلوب فى الصورة الكيميائية المناسبة للإستخدام للغرض المعين وبالنقاوة المطلوبة. وقد يتطلب الأمر إجراء بعض عمليات التعقيم للنظير المشع فى الحالات التى يستخدم فيها النظير داخلياً للأغراض الطبية. وفى نهاية المرحلة تجرى العمليات الخاصة باختيار جودة المنتج وتحديد مدى صلاحيته للإستخدام وتحديد الشدة الإشعاعية النوعية له وتعبئته فى العبوات الملائمة ووضعه داخل الدروع الإشعاعية الواقية وغير ذلك من الأعمال الأخرى.

وهكذا فإنه لتنفيذ برنامج متكامل لإنتاج النظائر المشعة يتطلب الأمر توفر قاعدة تقنية تقوم على مفاعل أبحاث متوسط القدره ومعجل متغير الطاقة للجسيمات المشحونة تصل طاقته الى حوالى (30 – 40 م .إ.ف) ويصل تيار حزمة الجسيمات فيه الى حوالى 100 ميكرو أمبير. وفضلاً عن ذلك يتطلب الأمر توفر بعض الوحدات الرئيسة الأخرى التى تعنى بإعداد المادة المطلوب تشعيعها وتنفيذ عمليات الفصل والمعالجات الكيميائية والتقنية واجراء اختبارات الجودة والصلاحية واجراء القياسات الإشعاعية وتنفيذ الدروع وغير ذلك من الأعمال المرتبطة بالإنتاج.

تطبيقات النظائر المشعة

جرى الكشف عن النظائر المشعة في البداية بوساطة جهاز بسيط مكون من وريقات ذهب، وأول من فكر في استعمال المكشاف لاقتفاء أثر المادة المشعة هو العالم (هيفزي)، الحاصل على جائزة نوبل عام 1943م عندما كان مدرساً في جامعة مانشستر. وقد جرى اكتشاف بعض العناصر المشعة في الطبيعة، مثل: الراديوم، لكن أكثر الذرات المشعة تنتج في المفاعلات النووية أو في المسرعات. وقد تمكن العلماء من تحضير نظائر مشعة لأغلب العناصر الطبيعية وفصلوها عن مزيجها. وأهم تطبيقات النظائر المشعة هو اقتفاء حركة بعض الذرات وتعقب مسارها في الغازات والسوائل وفي الكائنات الحية الحيوانية والنباتية، وتشمل هذه الحالات مجالات عديدة ومختلفة تمس مباشرة حياة الإنسان وترتبط بتحسين معيشته في بيئة سليمة من التلوث، وبتوفير في الماء والغذاء وفي المعالجة الصحية الناجعة.

استعملت النظائر المشعة في مجال البيئة للكشف عن ملوثات البيئة وتحليلها ومراقبتها المستمرة، كي لا تتأثر مياه الشرب بكمية غير مسموح بها من النترات المتسربة من الأسمدة أو مبيدات الحشرات أو من الفضلات السائلة، إضافة إلى استعمال الأشعة في تطهير مياه الصرف الصحي وفي معالجة الفضلات الصناعية.

واستعملت النظائر المشعة في مختلف اختصاصات الطب: للتشخيص، والتصوير، والمعالجة، والتكهن بتطور المرض، وفي تعقيم الأدوات الطبية والضمادات، وفي تطوير اللقاح لحماية الكائنات من الأمراض، إضافة إلى المعالجة الدقيقة لمرض السرطان بأشعة اليود وأشعة الكوبالت حسب مكان الورم.

واستعملت النظائر المشعة في مجال الغذاء والزراعة لتحسين الإنتاج الزراعي من خلال تحديد كمية الأسمدة اللازمة، ولإنتاج أصناف تعطي محصولين أو ثلاثة في العام، وفي مكافحة الحشرات الضارة والناقلة للعدوى. وكذلك استعملت في مراقبة الهرمونات التي تتحكم في تكاثر الحيوانات بتقصير المدة بين الولادات، والزيادة في عددها، وتحسين نوعيتها، إضافة إلى استعمالها في تعقيم الأغذية (حبوب، فواكه، لحوم، أسماك)، وحفظها من التفكك والتعفن والتلف لمدة طويلة. وأما في مجال مكافحة الحشرات الضارة بالإنتاج الزراعي، والتي تنقل العدوى، مثل ذبابة تسي تسي والبعوض، فقد أمكن للنظائر المشعة أن تعطي نتائج هامة في هذه

المكافحة أفضل من نتائج المبيدات الكيميائية، التي أصبحت لا تؤثر على بعض الحشرات المكتسبة للمقاومة. إضافة إلى أنها تترك آثاراً سامة وخطيرة على جسم الإنسان، وتحدث تلوثاً للبيئة إلى درجة أن بعض المواد الكيميائية منع استعمالها.
كما استعملت النظائر المشعة في مجال المياه لقياس السيلان السطحي لمياه الأمطار والثلوج، ولمعرفة الجريان في الأودية والأنهار، ولقياس تسرب المياه من السدود والبحيرات، وكذلك في دراسة المياه الجوفية من خلال تحديد مصدرها وعمرها وسرعة جريانها واتجاهها، وكذلك لمعرفة الاتصال بين الأحواض المائية وقابلية ترشحها.

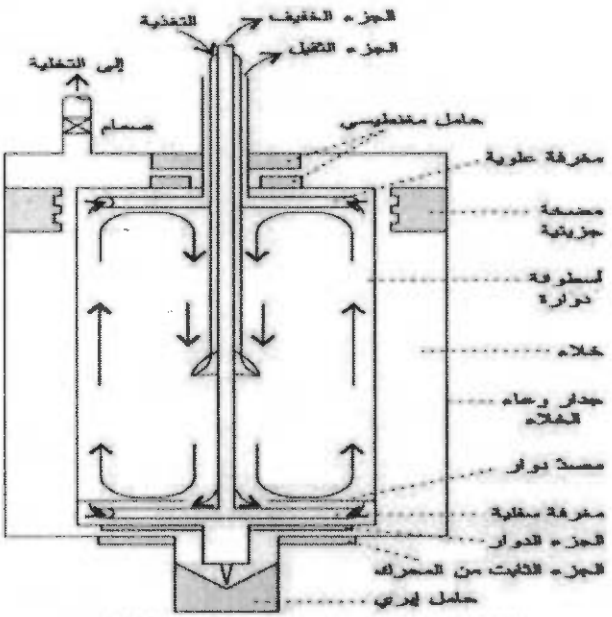
فصل النظائر

تستخدم طرائق متعددة لفصل النظائر منها طريقة الطرد المركزي للغاز gas centrifugation، والتقطير المجزأ fractional distillation، والانتشار الحراري thermal diffusion والتحليل الكهربائي(التحليل الكهركيميائي) electrolysis، والانتشار الغازي gaseous diffusion، والفصل الكهرمغنطيسي electromagnetic separation، وأخيراً الفصل الليزري laser separation. ولا بد للحصول على تركيز ذي شأن للنظير المرغوب فيه أي على (تخصيب)، من إعادة إجراء عملية الفصل على الجزء المخصب وتكرارها في مراحل متتالية. فالجزء المخصب الناتج من أي مرحلة يصبح المادة الأولية للمرحلة التالية. وتصمم الأجهزة المناسبة لجعل جريان المواد من مرحلة إلى أخرى آلياً ومستمراً. وفيما يأتي شرح موجز لأهم هذه الطرق.

الطرد المركزي والتقطير

يجري الغاز في جهاز الطرد المركزي من الأسفل إلى الأعلى في الجزء الخارجي من الأسطوانةالدوّارة ومن الأعلى إلى الأسفل في المنطقة المركزية، كما هو مبين في الشكل (1). يكون تأثير القوة النابذة أكبر على الجزيئات الثقيلة منه على الجزيئات الخفيفة فيزداد نتيجة لذلك تركيز النظائر الثقيلة في الجزء الخارجي والخفيفة في المركز. ويعتمد معامل الفصل القطري لآلة الطرد المركزي الغازية على سرعة الدوران وعلى قطر الأسطوانة الدوارة وعلى درجة الحرارة. فيكون هذا المعامل لأسطوانة دوارة قطرها 6سم وسرعة دورانها أربعون ألف دورة في الدقيقة

عند درجة حرارة مطلقة 300 كلفن مساوياً 1.0387.



الشكل (1) جهاز طرد مركزي للغازات

وتتناسب مقدرة الفصل تقريباً عكسياً مع درجة الحرارة المطلقة، ولذلك يفضل تشغيل الآلة عند درجات معتدلة أو منخفضة. أما في الفصل بالتقطير المجزأ فتنزع جزيئات النظير ذات نقطة الغليان الأخفض (وهي جزيئات النظير الأخف) إلى أن تتركز في تيار البخار فتُجمع.

الانتشار الحراري

يستفاد في هذه الطريقة من أن جزيئات السائل أو الغاز الأخف تتركز في المنطقة الأكثر سخونة في حين تتركز الجزيئات الأثقل في المنطقة الأقل سخونة. ويتألف شكل مبسط من جهاز انتشار حراري من أنبوب طويل شاقولي مع سلك في مركزه يُسَخَّن بالكهرباء إلى نحو 500 درجة مئوية فيولد تدرجاً في درجة الحرارة بين مركز الأنبوب وجدرانه.

تميل النظائر الأثقل إلى التجمع في الأجزاء الخارجية من الأنبوب في حين تتجمع النظائر الأخف في المنطقة المركزية. وفي الوقت نفسه يرتفع السائل أو

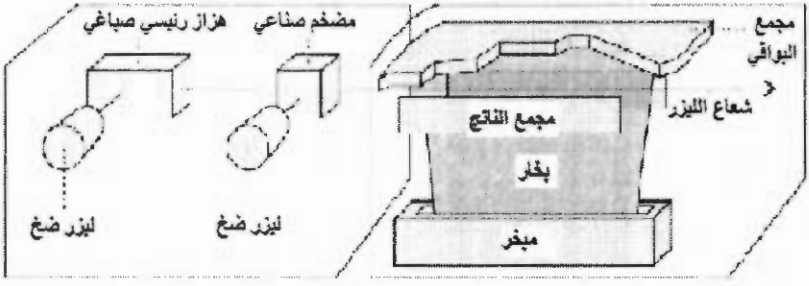
الغاز القريب من السلك بسبب الحَمل الحراري وينزل الجزء الخارجي الأقل سخونة، وتكون النتيجة الإجمالية أن تتجمع النظائر الأثقل في أسفل الأنبوب وتتجمع النظائر الأخف في الأعلى.

التحليل الكهربائي

تحليل الماء كهربائياً هو أقدم طرائق إنتاج الماء الثقيل. وتعتمد هذه الطريقة على أن نظير الهدروجين الخفيف هو الذي ينطلق أولاً لدى تحليل الماء مخلفاً ماءً مخصباً بالنظير الأثقل.

الانتشار الغازي

يُستفاد في هذه الطريقة من اختلاف سرعة انتشار الغازات ذات الأوزان الجزيئية المختلفة. إذ تتناسب سرعة انتشار غاز ما عكساً مع الجذر التربيعي للكتلة. فتنتشر الجزيئات الخفيفة من خلال حاجز مسامي أسرع من تلك الأثقل منها. ففي فصل نظائر اليورانيوم يُستخدم مركّب اليورانيوم، سادس فلوريد اليورانيوم UF_6 (وهو المركب الغازي الوحيد لليورانيوم). فيُضخ هذا الغاز من خلال الحواجز المسامية ضخاً مستمراً. وبما أن الفرق في الوزن بين اليورانيوم 235 واليورانيوم 238 أكبر قليلاً من 1% فإن الفرق بين المركّبين الغازيين لهذين النظيرين أقل قليلاً من 1%. ويبلغ معامل التخصيب . الذي يعتمد على الجذر التربيعي للفرق السابق نظرياً 0.43% لعملية آنية و 0.30% لعملية مستمرة. أما عملياً فلا يبلغ معامل التخصيب سوى نحو 0.14% لكل مرحلة. ولذلك لا بد لإنتاج يورانيوم 235 مخصَّب بنسبة 99% ابتداء من اليورانيوم الطبيعي من 4000 مرحلة.



فصل النظائر للبخار الذري بواسطة الليزر

الفصل الكهرمغنطيسي

كانت هذه الطريقة هي الأولى التي استخدمت لإثبات وجود النظائر. تعتمد الطريقة على المطياف الكتلي [ر]. فتمرر حزمة أيونية من المركّب . سبق تسريعها بوساطة حقل كهربائي . عبر حقل مغنطيسي. وحيث إن نصف قطر انحناء مسار الأيونات في الحقل المغنطيسي يعتمد على كتلة الأيون تصل الأيونات ذات الكتل المختلفة إلى مواضع مختلفة توضع فيها مجمّعات لمختلف النظائر.

الفصل الليزري

توجد ثلاث تقنيات تجريبية لفصل نظائر اليورانيوم بوساطة الليزر [ر: الليزر والميزر]: فصل النظائر للبخار الذري بوساطة الليزر **atomic vapor laser isotope separation** (واختصاراً **AVLIS**)، وفصل النظائر لسادس فلوريد اليورانيوم الجزيئي بوساطة الليزر **uranium hexafluoride <dir=LTR molecular laser isotope separation** (واختصاراً **MLIS**)، وفصل النظائر بوساطة الإثارة الليزرية **separation** lang=AR-SY style='font- **of isotopes by laser excitation** <"size:14.0pt;font-family:"Simplified Arabic (واختصاراً **SILEX**).

وتعدّ الطريقة الأولى **AVLIS** (الشكل 2) الأكثر تقدماً من الناحية التجريبية، وهي تستفيد من كون مستويات الطاقة الإلكترونية للنظير U^{235} مختلفة قليلاً عن تلك للنظير U^{238x}، ولذلك يمتص النظيران أطوالاً موجية مختلفة قليلاً. تُوَلَّف الليزرات في هذه الطريقة بصورة تصدر معها أطوالاً موجية تمتصها ذرة ^{235x} **U<dir=LTR** فقط فتصدر من ثم إلكتروناً وتصبح متأينة، ذات شحنة كهربائية موجبة، وهذا يتيح فصلها باستخدام حقول كهرمغنطيسية. ويمكن بهذه الطريقة تخصيب اليورانيوم الطبيعي إلى 4% من ^{235x} **U<dir=LTR** في مرحلة واحدة. هذه الطريقة صعبة إضافة إلى كونها باهظة الكلفة، لكن مراحل قليلة تكفي لإنتاج يورانيوم عالي التخصيب.

جدول النظائر

جدول النظائر، مقطوع هنا إلى ثلاثة أقسام من أجل العرض المناسب. وهو يبدأ بالجزء العلوي يسارا (أسود)، وينتهي بالجزء السفلي يمينا (أصفر).

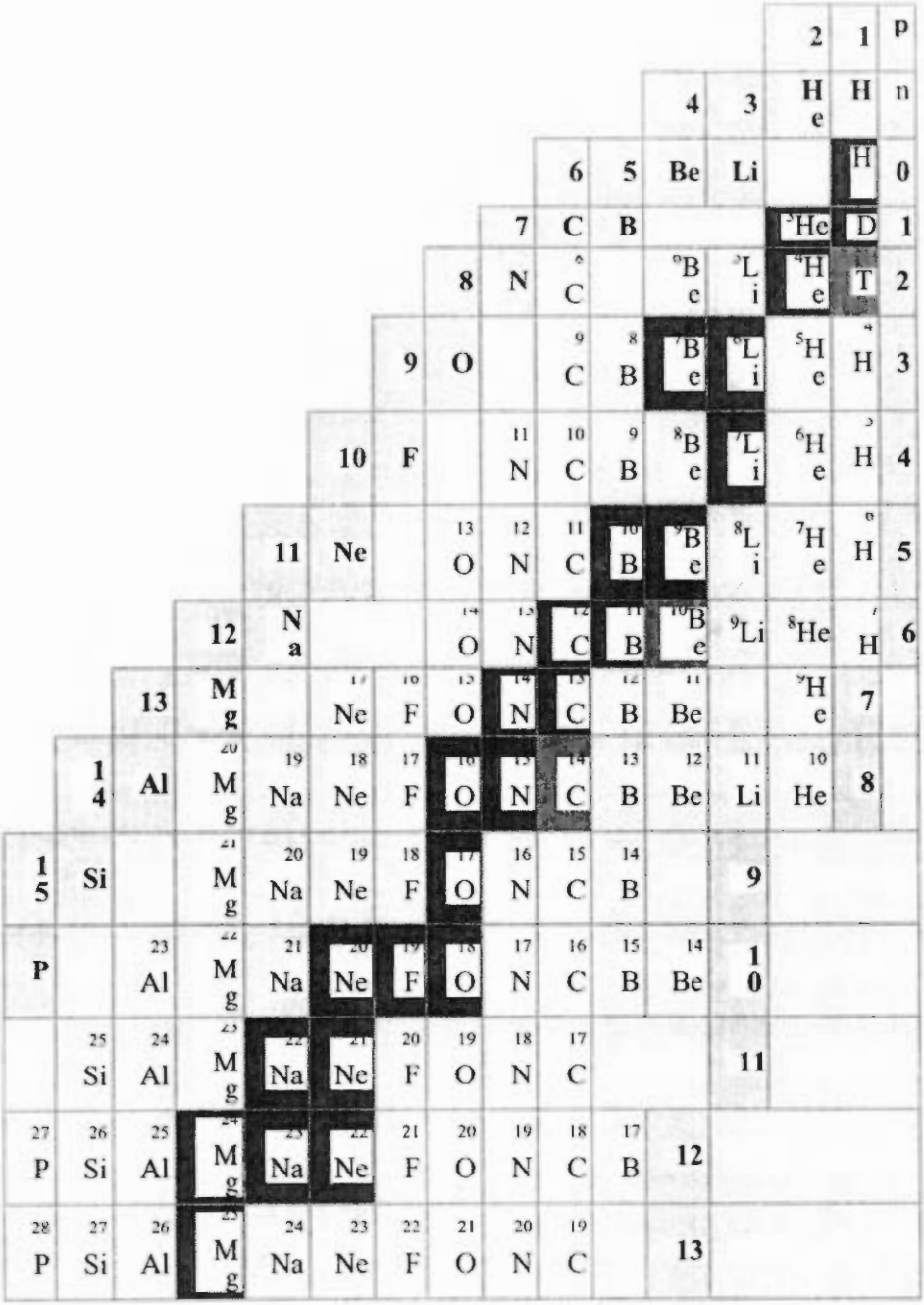
جدول النظائر أو **جدول النوكليدات** في الفيزياء (بالإنجليزية: table of nuclides أو chart of nuclides) هو جدول ذو بعدين ويحتوي على مربعات للنظائر. يرتب المحور الرأسي عدد النيوترونات الموجودة في نواة ذرة النظير، ويعطي المحور الأفقي عددالبروتونات فيها. يعرّف كل مربع في الجدول نظير معين، ويعطي عدد مكونات نواته من بروتونات ونيوترونات، كما يبين لون المربع نوع النشاط الإشعاعي. ويتميز هذا الجدول بإعطائه معلومات متعمقة عن الخواص النظائر الإشعاعية للفيزيائي، وهو بمثابة الجدول الدوري الذي يستخدمه الكيميائي لمعرفة ترتيب العناصر وخواصها. جدول النظائر يعطي معلومات عن خواص نواة الذرة، أما الجدول الدوري فيعطي معلومات عن الغلاف الإلكتروني للذرة والتكافؤ.

وصفه واستخدامه

تعني كلمة "نوكليد" نواة الذرة وتأتي هذه التسمية من مكونات النواة وهي البروتونات والنيوترونات، ويُطلق على كل منهما اسم نوكليون. ويبين الجدول التالي جزءا صغيرا من الجدول الكامل، ويتحتوي على الخمسة عشر عنصر الأولين من الجدول الكامل، بغرض التوضيح.

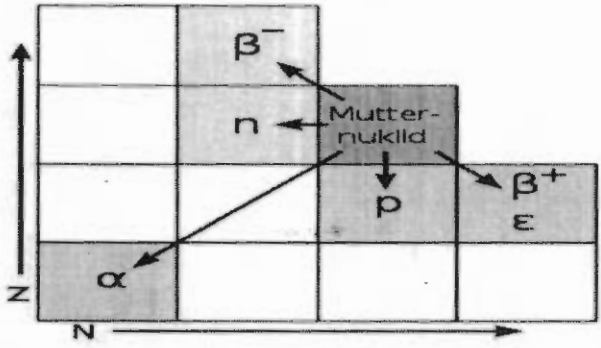
يصف **جدول النوكليدات** الخصائص النووية لجميع نظائر العناصر بمعنى أنه يعطي خصائص فيزيائية لنواة الذرة مثل النشاط الإشعاعي ونوعه. ويتكون كل عنصر كيميائي من عدة نظائر، يتساوى فيها عدد البروتونات ويختلف عدد النيوترونات فيها.**والنظائر الذرية** كما تسمى أحيانا قد تكون مستقرة (أي لا تتغير من نفسها) أو يمكن أن تكون نظائر مشعة وهذه غير مستقرة، بل تتحلل إما ب تحلل ألفا أو تحلل بيتا أو تصدر أشعة جاما. ويقارب جدول النوكليدات الجدول الدوري من وجهة ترتيب العناصر، فيعطي الجدول الدوري ترتيب العناصر بحسب خصائصهم الكيميائية حيث لا تختلف الخواص الكيميائية للنظائر المختلفة لعنصر معين. ويرتب **جدول النظائر** النظائر على

المحور الرأسي بحيث نجد نظائر عنصر معين تحت بعضها، مثلما في الشكل بالنسبة للبور-8 (B-8)، و بور-9 وبور-10 وبور-11 وبور-12.
يعطي الترتيب الأفقي عدد البروتونات في النواة، ويبلغ عددهم في عنصر البور 5. لهذا نجد نظائر البور في عامود رقم 5. ويأتي بعد البور عنصر الكربون وعدد بروتوناته 6، وهنا نجد في العمود رقم 6 نظائر الكربون تحت بعضها كربون-11 وكربون-12 وكربون-13 وكربون 14 وغيرها.
عندما نتتبع الأعمدة في اتجاه اليمين حيث تقل أعداد البروتونات في أنوية الذرات المختلفة إلى 4 البيريليوم و 3 الليثيوم و 2 الهيليوم وعلى عمود كل منها ما ينتمي إليه من نظائر. بذلك نصل إلى أبسط العناصر الموجودة في الكون والذي تحتوي نواته 1 بروتون وهو الهيدروجين. وهو ترتيبه "الأول".
ومن الجدول يتبين لنا أن للهيدروجين المستقر نظيرين آخرين : ديوتيريوم وهو يحتوي على 1 بروتون و 1 نيوترون، وتريتيوم وهو يحتوي على 1 بروتون و 2 نيوترون.
المربعات ذات اللون الأحمر تمثل النظائر المستقرة. وتشكل المربعات تحتها (أبيض) نظائر مشعة تتحلل طبقا لتحلل بيتا(-)، أما النظائر التي تشغل المربعات البيضاء فوق السلسة الحمراء فهي أيضا نظائر مشعة ولكنها تتحلل طبقا ل تحلل بيتا(+). وفي كلتا الحالتين يحاول النظير المشع الوصول إلى الاستقرار، أي الوصول إلى مربع أحمر قريب يكفل له الاستقرار.
فعلى سبيل المثال : يتحلل الكربون-14 (C-14) بتحلل بيتا(-) حيث يتحول أحد نيوتروناته إلى بروتون وإصدار إلكترون فيصبح نيتروجين-14 (N-14).
كما يعطي لون المربع بالتقريب عمر النصف وهو بالنسبة للكربون-14 4730 سنة، ولهاذا فلون مربعه بني فاتح.
البريليوم-7 (بنفسجي) هو نظير غير مستقر وللوصول إلى حالة الاستقرار فهو يؤدي ما يسمى اصتياد إلكترون من غلافة الإلكتروني فيتحول أحد البروتونات في نواته إلى نيوترون وبذلك يتحول البريليوم-7 إلى ليثيوم-7 [أحمر) ويصبح مستقرا.


2 1 p
4 3 n
6 5 0
7 1
8 2
9 3
10 4
11 5
12 6
13 7
14 8
15 9
16 10
17 11
18 12
19 13
20 14
21 15
22 16
23 17
24 18
25 19
26 20
27 21
28 22

النشاط الإشعاعي والتفاعلات النووية على جدول النظائر

قام بابتكار هذه الطريقة البيانية للنشاط الإشعاعي العالم الفيزيائي إميليو سيغري: (لاحظ أن المحور الأفقي في هذا الشكل يعطي عدد النيوترونات، بينما يعطي المحور الرأسي عدد البروتونات).



أنشطة أشعاعية مختلفة لأحد النواة الأم Mutternuclid. حيث Z عدد البروتونات، و N عدد النيوترونات، مع ملاحظة تزايد النيوترونات من السار إلى اليمين، كما تتزايد النيوترونات من أسفل إلى أعلى في هذا الشكل.

عندما تتحلل النواة عن طريق تحلل ألفا يحمل جسيم ألفا معه 2 بروتون و 2 نيوترون منطلقا خارج النواة. وعلى ذلك تنتقل النواة الجديدة عمودين إلى اليسار من النواة الأم وصفين تحتها.

في تحلل بيتا(−) يتحول أحد نيوترونات النواة الأم إلى بروتون. ونجد أن النواة الجديدة تنتقل خطوة إلى اليسار وإلى أعلى.

في تحلل بيتا(+) يتحول أحد البروتونات إلى نيوترون. وتنتقل النواة لجديدة خطوة إلى اليمين وإلى أسفل. (كما يحدث ذلك أيضا عندما تمتص النواة الأم إلكترونا خارجيا).

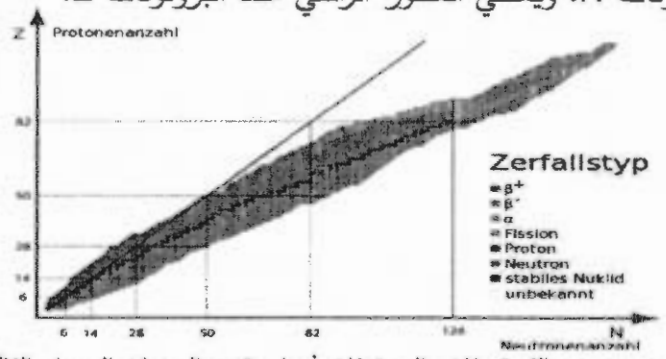
عندما تشع النواة شعاع جاما فلا يتغير وضعها على الجدول.

بالنسبة إلى تفاعل نووي فمعظم التفاعلات تكون مصحوبة بانتقال معين للنواة الداخلة في التفاعل. وعلى سبيل المثال: تنتقل نواة داخلة في تفاعل من نوع (n,p)–Reaction خطوة إلى اليمين (حيث تمتص 1 نيوترون n وتطرد 1 بروتون p خلال التفاعل) وتصبح نظيرا لعنصر آخر. كما توجد تفاعلات نووية تمتص خلالها النواة 1 نيوترونوتُصدر 2 نيوترونات – [ويرمز لهذا التفاعل

[(n,2n)-Reaction] – وعندئذ تنتقل النواة خطوة إلى اليسار، أي تظل نفس العنصر حيث لم يتغير عدد البروتونات فيها، وهكذا.

أنواع التحلل الإشعاعي

يبين الشكل توزيع نظائر العناصر حيث يعطي المحور الأفقي عدد النيوترونات N، ويعطي المحور الرأسي عدد البروتونات Z.



توزيع النظائر بحسب عدد النيوترونات والبروتونات فيها. وتبين المربعات السوداء النظائر المستقرة، ويبين المربعات البرتقالية النظائر المشعة والتي تتحلل طبقا تحلل بيتا(+) والمربعات الزرقاء النظائر المشعة التي تتحلل طبقا بيتا(−)

وكما يبين الجدول تشغل النظائر المستقرة المربعات السوداء. أما المربعات البرتقالية اللون والزرقاء فهي نظائر مشعة غير مستقرة، وتصل إلى حالة الاستقارا عن طريق التحلل. تبين المربعات البرتقالية النظائر المشعة التي تتحلل طبقا تحلل بيتا(+)والمربعات الزرقاء النظائر المشعة التي تتحلل طبقا تحلل بيتا(−)، وأما المربعات الصفراء فتشغلها نظائر تتحلل بتحلل ألفا. ويلاحظ أن تحلل ألفا من خواص العناصر الثقيلة مثل اليورانيوم وغيره.

ويلاحظ ما يلي:

يمثل الخط النظري موقع النظائر المستقرة حيث يتساوى عدد البروتونات وعدد النيوترونات في نواة الذرة. وهو يبين أن النظائر التي تحتوي على أكثر من 20 بروتون تحتاج إلى عدد أكبر من النيوترونات لكي تكون مستقرة.

تحتاج النظائر ذات عدد من البروتونات أكثر من 20 بروتون إلى عدد أكبر من النيوترونات بسبب زيادة التنافر بين أعداد متزايدة من البروتونات، وهي موجبة الشحنة. فتعمل النيوترونات الموجودة في النواة على تخفيف حدة ذلك التنافر. والقوة التي تتحكم في ربط النيوكليونات في النواة تسمى تأثر قوي.

لا توجد في الطبيعة نظائر تتعدي عنصر اليورانيوم ويحتوي اليورانيوم على 92 بروتون. وضلك بسبب التنافر الشديد بين البروتونات. ولكي يكون اليورانيوم-238 مستقرا نوعا ما (عمر النصف نحو 5 و4 مليار سنة) فهو يحتوي إلى جانب 92 بروتون على 146 من نيوترونات. وهو يتحلل طبقا ل تحلل ألفا.

جميع النظائر التي تتعدى اليورانيوم في جدول النظائر تحضر صناعيا بواسطة المفاعلات النووية أو معجلات الجسيمات، وهي جميعها تتحلل بالنشاط الإشعاعي.