الفصل الرابع
ظاهرة النشاط الإشعاعي والعناصر المشعة

اكتشاف ظاهرة النشاط الإشعاعي

في الأول من مارس (آذار) عام 1896م، كان العالم الفرنسي هنري بيكريل يدرس خصائص بعض المعادن، وكان مهتماً بالتحديد بدراسة قابليتها على عكس الضوء المرئي عند تعرضها لضوء الشمس، ومن بين تلك المعادن عينة من خام اليورانيوم.

وبمحض الصدفة لاحظ بيكريل انبعاث أشعة غير مرئية من خام اليورانيوم دون أن يتعرض لأشعة الشمس، وقد أثرت هذه الأشعة بشكل غير متوقع على فلم فوتوغرافي بنفس الطريقة التي يؤثر فيها الضوء المرئي على الفلم الفوتوغرافي.

أما الصدفة التي أدت إلى هذا الكشف فقد كانت عندما تعرض فلم فوتوغرافي موضوع في أحد أدراج مكتب بيكريل للأشعة غير المرئية الناتجة عن أحد أملاح اليورانيوم الموضوع صدفة في الدرج نفسه، وعند تظهير الفلم بعد أربعة أيام لاحظ ظهور صورة مفتاح على الفلم، وقد كان المفتاح موضوع أصلاً على صفيحة الفلم الفوتوغرافي.

سميت ظاهرة إطلاق العناصر لأشعة غير مرئية بظاهرة النشاط الإشعاعي.

تعرف اليوم ظاهرة النشاط الشعاعي بأنها ظاهرة الانبعاث التلقائي للدقائق أو الطاقة من أنوية الذرات المشعة. وقد قاد اكتشاف بيكوريل إلى بدايات النظرية الذرية الحديثة، وإلى اكتشاف عناصر جديدة.

العناصر المشعة Radioactive Element

اكتشاف الراديوم

اهتم كل من بيير كوري Pierre Curie وزوجته ماري كوري Marie Curie بدراسة خصائص اليورانيوم وخاماته، وقد تبين لهما أن جميع خامات اليورانيوم تظهر نشاطاً إشعاعياً متوسطاً باستثناء أحد الخامات والمعروف بإسم خام "البتشبلند" المستخرج من بوهيميا، وقد أظهر هذا الخام نشاطاً إشعاعياً يفوق الخامات الأخرى بأربع مرات.

في عام 1898 اكتشف الزوجين كوري عنصرين مشعين جديدين في خام البتشبلند أسموهما البلوتونيوم والراديوم، ووجودهما في الخام هو سبب زيادة النشاط

الإشعاعي للخام. وقد عزل الزوجين مليغرامات قليلة من كلوريد الراديوم $RaCl_2$ ، وقد تطلبت عملية عزل تلك الكمية الضئيلة أكثر من 10.000 عملية بلورة وإعادة بلورة.

وللراديوم نشاط إشعاعي يزيد عن النشاط الإشعاعي لليورانيوم بنحو 1.000.000 مرة، ولم يتسنى لمدام كوري عزل عنصر الراديوم بشكل نقي إلا عام 1910م. استحق الزوجين كوري جائزة نوبل في الفيزياء بالمشاركة مع بيكريل عام 1903م لدورهما في النشاط الإشعاعي.

مصدر الراديوم

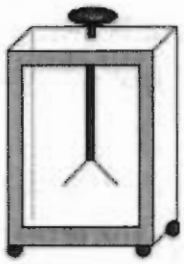
يوجد الراديوم في خامات اليورانيوم بنسبة لا تزيد عن جزء إلى 3.000.000 جزء من اليورانيوم، وتتطلب عملية استخلاصه جهداً مضنياً، وتستخرج خاماته من أوروبا وأفريقيا وشمال كندا.

يوجد الراديوم في خاماته على شكل كلوريد وبروميد وكربونات الراديوم، وهو مشع بشكله الحر أو على شكل مركبات.

خصائص الراديوم

ينتمي الراديوم لعناصر المجموعة الثانية في الجدول الدوري، وله خصائص مميزة فهو من أكثر العناصر اشعاعاً، ومن خصائصه:

1. تؤثر اشعاعات الراديوم على الأفلام الفوتوغرافية حتى لو عزلت بأوراق غير منفذة أو وضعت في الظلام، كما أن لها القدرة على اختراق الخشب والجلد والصفائح الفلزية الرقيقة.
2. للراديوم ومركباته القدرة على إزالة شحنة الكشاف الكهربائي والتأثير على عداد جايجر، فهو يؤين جزيئات الهواء بالقرب من قرص الكشاف فيفقد القرص شحنته، وتقاس فعالية نشاط أملاح الراديوم من خلال قدرتها على إزالة شحنة الكشاف الكهربائي.



3. لمركبات الراديوم القدرة على التوهج عند خلطها مع غيرها من المركبات. فمثلاً عند خلط كمية قليلة من بروميد الراديوم وكبريتيد الخارصين يتكون خليط يتوهج في الظلام كما تتوهج عقارب الساعة في الظلام.
4. لأشعة الراديوم القدرة على قتل أجنة البذور والبكتيريا وحتى الحيوانات الصغيرة، كما تسبب أشعة الراديوم حروقاً على جلد من يعملون به تحتاج لفترة طويلة للشفاء. ونظرا لقدرته على الإضرار بأنسجة جسم الإنسان فهو يستخدم لعلاج السرطان وأمراض الجلد.
5. تطلق أملاح الراديوم طاقة بشكل مستمر، وجزء من هذه الطاقة يظهر على شكل طاقة ضوئية وهو ما يسبب توهج الراديوم في الظلام، كما أن أملاحه تعطي طاقة بشكل مستمر، فخلال ساعة واحدة يعطي الجرام الواحد من الراديوم 120 سعر من الحرارة.
6. يبلغ عمر النصف للراديوم 1600 سنة، وهي الفترة الزمنة اللازمة لتحول نصف كميته إلى رصاص.

بعض العناصر المشعة الأخرى

كان عدد العناصر المشعة المعروفة لبيكريل عنصران هما اليورانيوم والثوريوم، ثم اكتشف الزوجان كوري اثنين آخرين هما البلوتونيوم والراديوم، ومنذ ذلك الوقت اكتشفت عناصر مشعة أخرى كثيرة كالرادون، وهو أحد العناصر النبيلة، وينتج من تحلل الراديوم. وعلى الرغم من خموله الكيميائي إلا أنه نشط اشعاعيا، وهو يجمع في أنابيب ويستخدم بدلا من الراديوم في علاج الأمراض.

وفي الحقيقة فإن كل نظائر العناصر التي تلي البزموث (العدد الذري 83) في الجدول الدوري هي عناصر مشعة طبيعياً، على الرغم من كون العديد منها محضرة صناعياً.

النشاط الإشعاعي

هو انبعاث جسيمات ألفا وجسيمات بيتا وأشعة جاما من نواة العنصر المشع. ويجدر هنا أن ننوه بما يلي:
1) العنصر المشع جميع مركباته مشعة.
2) العنصر المشع يكون مشعاً في جميع حالاته (صلبة – سائلة – غازية).

3) نواة العنصر المشع لا تصدر جسيمات ألفا وجسيمات بيتا معاً، ولكن قد تصدر ألفا أو بيتا، وقديصاحب كلاً منهما انطلاق اشعاعات جاما.
4) معدّل النشاط الإشعاعي لعينة مشعة لا يتأثر بالظروف الخارجية من ضغط أو درجة حرارة ولكنه يتوقف فقط على نسبة العنصر المشع في العينة.
5) انبعاث جسيم بيتا أو جسيم ألفا من نواة العنصر المشع يحولّها إلى نواة عنصر آخر.

طبيعة النشاط الإشعاعي

وفي العام 1934م أوضحت أيرين كيوري (إبنة بيير وماري كيوري) من خلال عملها المشترك مع زوجها فريدريك كيوري I. and F. J. Curie أن قذف البورون والألومنيوم بأشعة ألفا سوف يؤدي إلى ظهور خواص إشعاعية لهما. وكان هذا كشفا هاما لإمكانية تحويل النواة لتصبح مشعة بشكل صناعي كما نتج عن تجاربهما اكتشاف جسيم البوزترون positron: وهو جسيم له خصائص تشبه خصائص الإلكترون ولكن بشحنة موجبة. وكان قد تم اكتشاف البوزترون قبل ذلك كأحد مكونات الإشعاع الكوني.

المصادر الطبيعية للإشعاع الذري

الإشعاع الذري موجود قبل خلق الأرض بزمن طويل . وله ثلاث مصادر رئيسية على الأرض هي:

الأشعة الكونية Cosmic rays

المصدر الرئيسي لهذه الأشعة ناتج عن الحوادث النجمية في الفضاء الكوني البعيد ومنها مايصدر عن الشمس خاصة خلال التوهجات الشمسية التي تحدث مرة أو مرتين كل 11 سنة، مولدة جرعة إشعاعية كبيرة إلى الغلاف الغازي للأرض. وتتكون هذه الأشعة الكونية من 87% من البروتونات و 11 من جسيمات ألفا، وحوالي 1% من النوى ذات العدد الذري ما بين 4 و 26 وحوالي 1% من الإلكترونات ذات طاقة عالية جداً وهذا ما تمتاز به الأشعة الكونية. لذلك، فإن لها قدرة كبيرة على الاختراق. كما أنها تتفاعل مع نوى ذرات الغلاف الجوي مولدة بذلك إلكترونات سريعة وأشعة جاما ونيوترونات وميزونات.

يصل إلى الأرض كمية من الإشعاع المؤين قادمة من الفضاء الخارجي، ومن الشمس، وتحتوى هذه الأشعة على كميات مختلفة من الإشعاعات المؤينة التى منها النيوترونات، البروتونات وجسيمات-الفا ونسبة قليلة من الأنوية الخفيفة، مثل: الكربون والأكسجين وكذلك الفوتونات والإلكترونات. وعند مرور هذه الإشعاعات المؤينة عبر الغلاف الجوى المغلف للأرض فإنها تتفاعل مع مكوناته فتتغير محتوياتها وتضعف كمياتها إلى أن تصل إلى الأرض بكميات ضئيلة جداً ليس منها ضرر على الإنسان أو بيئته، ولهذا يُعتبر الغلاف الجوى واقياً من هذه الإشعاعات. وتتغير الجرعة الإشعاعية التى يتعرض لها الإنسان من هذا المصدر من الإشعاع بتغير موقعه على الكرة الأرضية. فالأشعة الكونية تقل عند خط الاستواء وتزداد باتجاه القطبين وعند الارتفاعات العالية من سطح البحر.

فعندما تخترق الأشعة الكونية الغلاف الجوي تتفاعل النيوترونات الكونية مع غاز النيتروجين- 14، وبهذا ينتشر الكربون 14-المشع المتكون في الغلاف الجوي حتى يصل إلى سطح الأرض بفعل الأمطار فيدخل في تركيب المواد الحية الموجودة على سطح الأرض

النشاط الإشعاعي الطبيعي في القشرة الأرضية

Natura radioactivity in The earth Sheff

إن من أهم العناصر المشعة في صخور القشرة الأرضية هي (البوتاسيوم 4-0-) و(الروبيدوم 87-) وسلسلة االعناصر المشعة المتولدة من تحلل (اليورانيوم - 238) و(الثوريوم -232) . وهناك مايقارب الأربعين من النظائر المشعة . وأعمار النصف للعناصر المشعة الأساسية في صخور القشرة الأرضية طويلة جداً، لهذا بقيت في الأرض إلى الآن منذ خلقها، فعمر النصف (للبوتاسيوم-40) يزيد على ألف مليون سنة وعمر النصف (الروبيدوم -87) يزيد على أربعين ألف مليون سنة وهذه النظائر المشعة تبعث أنواعاً مختلفة من الإشعاع الذريكجسيمات بيتا وألفا وأشعة جاما.

ومستوى النشاط الإشعاعي الطبيعي في القشرة الأرضية متقارب جداً في معظم الأماكن، حيث لا يوجد اختلاف يذكر عن مكان وآخر بصفة عامة. إلا أن هناك أماكن على الأرض يزداد فيها الإشعاع الطبيعي بشكل كبير نتيجة وجود تركيزات عالية من العناصر المشعة طبيعياً في صخور القشرة الأرضية.

المواد المشعة طبيعياً والموجودة في القشرة الأرضية منتشرة على مدى واسع منها. فقد وُجدَ أن الأتوية المشعة طبيعياً تتمركز في نوع من الصخور مثل صخور الجرانيت. أما الأحجار الجيرية والرملية فهي قليلة الإشعاع ولكن بعض أنواع من الطفل تكون مشعة بكثافة عالية.

وقد وُجد أنَّ اليورانيوم- والثوريوم- من أوسع العناصر المشعة-طبيعياً انتشارا في القشرة الأرضية. وعمر النصف لهذه العناصر يُقدر بملايين السنين وعند الاضمحلال فإنها تُنتج مواداً مشعة أصغر عمراً منها. ومما يزيد الأمر سوءاً أنَّ هذه المواد الصخرية والرملية لا يمكن الاستغناء عنها خصوصاً في البناء.

تختلف المواد المشعة الموجودة في الطبيعة باختلاف المكان وارتفاعه عن سطح البحر وطبيعة التربة ونوع المسكن.

النشاط الطبيعي داخل جسم الإنسان

يشع جسم الإنسان من الداخل عن طريق كل من الهواء الذي يتنفسه والغذاء والماء الذي يصل إلى جوفه، فالهواء هو المصدر الرئيسي للجرعة الإشعاعية الطبيعية التي تصل إلى داخل جسم الإنسان ومصدرها الأساسي غاز الرادون الموجود في جو الأرض والمتولد عن التحلل التلقائي لنظير «اليورانيوم -238» الموجود طبيعياً في صخور قشرةالأرض.

وكذلك فإن كلا من الغذاء الذي يتناوله الإنسان والماء الرئيسي لتلك المواد المشعة في النبات هو التربة التي تمتص منها النباتات تلك المواد مع غيرها من المواد الطبيعية فتدخل في بنائها. كما أن بعض الغبار الذي يتساقط على النبات يحوي آثاراً من تلك المواد المشعة، وتصل المواد المشعة إلى داخل جسم الإنسان عن طريقتناوله النباتات أو لحوم الحيوانات التي تتغذي على النباتات وتدخل المواد المشعة أيضاً مع الماء الذي نشربه حيث تحتوى المياه على آثار قليلة جداً منها.

لذلك تكون أجسامنا مشعة قليلاً من الداخل نظراً لوجود بعض العناصر المشعة فيها مثل البوتاسيوم- 40) والكربون 14، وتسلك المواد المشعة - عادة - طرقاً معقدة قبل دخولها جسم الإنسان

يحتوي جسم الإنسان على كميات ضئيلة من العناصر المشعة مثل الكربون- والبوتاسيوم- إضافة إلى ذلك فقد يتواجد كلاً من غازَيْ الراديوم والثوريوم

المشعين في جسم الإنسان (الناتجين عن تفكك أو اضمحلال الراديوم والثوريوم الموجودين في التربة طبيعياً) وذلك عن طريق الجهاز التنفسي. وكذلك يمكن دخول بعض المواد المشعة إلى جسم الإنسان عن طريق الغذاء الذي قد يكون حاوياً على كمية ضئيلة من المواد المشعة.

تعريف الإشعاع

الإشعاع عبارة عن إنبعاث وإنتشار للطاقة خلال الفضاء أو الوسط المحيط.

أنواع الإشعاع

ينقسم الإشعاع إلى نوعين إثنين:

1- الإشعاع الجسيمي

هو عبارة عن الإشعاع الذي تنتقل الطاقة فيه بواسطة الجسيمات الذرية.

2- الإشعاع الموجي

هو عبارة عن الإشعاع الذي تنتقل الطاقة فيه عن طريق تردد الموجات الكهرومغناطيسية.

الإشعاع النووي

هو عبارة عن إشعاع جسيمي أو موجي ينتج أثناء الإنحلال التلقائي للنواة غير المستقرة.

وهناك ثلاثة أنواع للإنحلال الإشعاعي (الإشعاع النووي) هي:

أولاً: دقائق الفا Particles– α

هي عبارة عن أنوية الهيليوم والمكونة من بروتونين ونيوترونين، وهي تكون ذرات الهيليوم عند اكتسابها إلكترونين، وكتلتها (4) أضعاف كتلة ذرة الهيدروجين، وسرعتها 10.000 إلى 20.000 ميل في الثانية، وقدرتها على الاختراق قليلة مقارنة بدقائق بيتا وأشعة جاما، فصفيحة رقيقة من الورق أو الألومنيوم تستطيع أن توقف تقدمها، ولها القدرة على حرق الجلد وتأيين الهواء بسرعة.

خصائص دقائق الفا

* أشعة ألفا عبارة عن نواة ذرة الهيليوم كتلتها تساوي 4 وحدة كتلة ذرية (a.m.u.) وهي تحتوي على 2 بروتون و 2 نيوترون وتحمل شحنة تساوي +2 .
* تسير ببطء (سرعتها تساوي عشر (10/1) سرعة الضوء).
* لها قدرة كبيرة على تأيين ذرات الوسط الذي تسير فيه (حيث يمكنها تكوين عشرات الألوف من الأيونات في السنتيمتر الواحد).
* مدى أشعة ألفا في الهواء قصير يصل إلى بضع سنتيمترات (من 3-5 سم).
* يمكن إيقاف أشعة ألفا بواسطة ورقة أو رقائق الومينيوم سمكها 1000/1 من البوصة.
* أثناء مرور دقائق ألفا بالمادة فإنها تحدث تصادمات غير مرنة مع إلكترونات جزيئات المادة مسببة الإثارة والتأين لذرات تلك المادة.
* تأخذ دقائق ألفا مسارا مستقيما وتفقد جزء قليل من طاقتها بفعل تلك التصادمات.
* جميع دقائق ألفا لها نفس المدى من الطاقة وتتراوح طاقتها بين 4-9 مليون إلكترون فولت وذلك لأن دقائق ألفا الصادرة من العنصر الواحد لها نفس الطاقة.

ثانياً: دقائق بيتا Particles – ß

وهي عبارة عن إلكترونات، وتحمل شحنة سالبة، وكتلتها 1837/1 من كتلة ذرة الهيدروجين، وتسير بسرعة 60.000 إلى 160.000 ميل في الثانية، ولها طاقة وقدرة على الاختراق تفوق طاقة وقدرة دقائق ألفا.

خصائص دقائق بيتا

أشعة بيتا عبارة عن الكترون ذو شحنة سالبة ينبعث من النواة غير المستقرة نتيجة لتحول النيوترونات إلى بروتونات.

خصائص دقائق بيتا

* تسير بسرعة تساوي تقريبا سرعة الضوء.
* تنبعث دقائق بيتا بطاقات مختلفة تأخذ قيما تتراوح بين الصفر إلى أعلى قيمة لها وتعتبر سرعتها صفة خاصة للعنصر المشع.

* تفقد دقائق بيتا معظم طاقتها عند مرورها من خلال المادة نتيجة التصادمات غير المرنة من إلكترونات تلك المادة، ونتيجة لذلك يكون مسار دقائق بيتا أكبر بكثير من مدى (مسار) إختراق دقائق ألفا لهذه المادة.
* يختلف مدى أشعة بيتا في الهواء حسب طاقتها، حيث يبدأ من بضعة سنتيمترات إلى متر تقريبا.
* يمكن إيقاف أشعة بيتا تماما بواسطة ورق سميك أو لوح من الزجاج أو من المعدن.
* يعتمد إمتصاص أشعة بيتا على طاقتها.
* لها قدرة على تأيين الهواء ولكنها أقل بكثير من قدرة أشعة (جسيمات) ألفا على تأيين الهواء وذلك لصغر وزنها الذي يتراوح (1838/1 a.m.u.) من ذرة الهيدروجين وشحنتها تساوي الوحدة.

ثالثاً: أشعة جاما γ- Rays

وهي عبارة عن أمواج كهرمغناطيسية مشابهه للضوء المرئي، ولكن طولها الموجي أقصر وترددها أعلى من الضوء المرئي، وسرعتها تساوي سرعة الضوء، ولا تحمل أشعة غاما شحنة وليس لها كتلة.
يعتقد أن أشعة جاما تنتج من النقلات داخل مستويات الطاقة داخل النواة.

خصائص أشعة جاما

*هي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ذات أصل نووي تشبه أشعة الضوء المرئي وموجات الراديو والأشعة السينية.
* طولها الموجي قصير جدا يتراوح (من 0.0003 إلى 0.03 نانوميتر) وهو يعادل وحدة الطاقة (من 40 Kev كيلو الكترون فولت إلى 4.0Mev مليون الكترون فولت).
* تنبعث أشعة جاما من المادة المشعة بشكل إشعاع أحادي الطاقة أو عدد قليل من طاقات منفردة مثل نظير، حيث يعطي نوعين من أشعة (طاقة) جاما γ وهي ذات الطاقة 1.332 و 1.173 مليون الكترون فولت.
* تفقد أشعة جاما معظم طاقتها خلال تداخل واحد مع المادة على عكس أشعة ألفا وبيتا اللتان تفقدان طاقتهما بصورة تدريجية.

* يمتص جزء من أشعة جاما الساقطة على المادة المحيطة إمتصاصا كاملا، أما الجزء العابر غير الممتص فيحتفظ بطاقته الابتدائية كاملة، فإذا كان I يمثل عدد فوتونات γ النافذة خلال المادة الممتصة ذات السمك x وكان Io يمثل عدد الفوتونات الساقطة و μ معامل الإمتصاص الكلي فإن المعادلة التي يمكن من خلالها معرفة عدد الفوتونات غير الممتصة من قبل المادة والتي تساوي (قانون بيير للإمتصاص):

$$Io\ e^{\mu x} = I$$

وليس لأشعة جاما مدى إختراق معروف في المادة المحيطة، وتستعمل قيمة السمك النصفي (Half Thickness Value) للتعبير عن ربط عدد الفوتونات مع سمك المادة الممتصة.

ويعرف السمك النصفي: بأنه سمك المادة الممتصة اللازم لإختزال شدة جاما (عدد الفوتونات النافذة) إلى النصف، ويمكن حسابه من المعادلة السابقة، إذا كانت قيمة معامل الإمتصاص الكلي كما يلي:

$$-\mu x = \Delta \ln I / Io$$

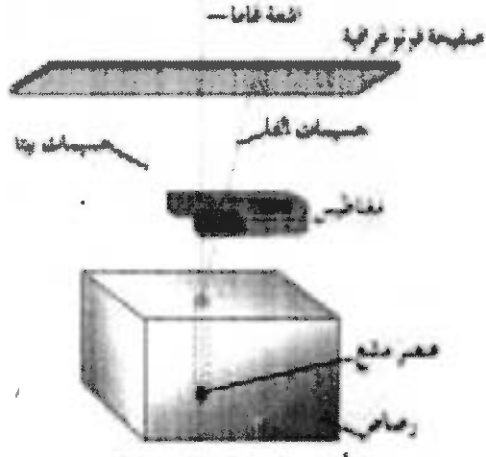
مقارنة خصائص دقائق الفا وبيتا وأشعة غاما

	α	β	γ
الطبيعة	أنوية الهيليوم	إلكترونات	أمواج كهرمغناطيسية
الشحنة	2+	1-	صفر
الكتلة	(4) أضعاف كتلة ذرة الهيدروجين 6.64×10^{-24} غ	كتلة الإلكترون 9.11×10^{-28} غ	صفر
القدرة النسبية على الاختراق	1	100	10.000
السرعة	أقل من بيتا	أقل من جاما	سرعة الضوء

دراسة خصائص الفا وبيتا وجاما

أولاً: التأثر بالمجال المغناطيسي

عند وضع مادة مشعة في وعاء من الرصاص مفتوح من الأعلى، وتسليط مجال مغناطيسي على مسار الأشعة الناتجة، فإن دقائق ألفا تنحرف ناحية القطب الجنوبي للمجال المغناطيسي دلالة على كونها موجبة الشحنة، وتنحرف دقائق بيتا ناحية القطب الشمالي دلالة على كونها سالبة الشحنة، بينما لا تعاني أشعة غاما من أي انحراف دلالة على كونها غير مشحونة.



التأثر بالمجال المغناطيسي

ثانياً: القدرة على الاختراق

الجدول الآتي يوضح القدرة التقريبية لأشعة جاما ولدقائق ألفا وبيتا على الإختراق:

	الهواء الجاف	أنسجة الحيوان	الرصاص
ألفا	4 سم	0.05 سم	صفر
بيتا	6- 300 سم	0.06- 4مم	0.005- 0.3 مم
جاما	400م	50 سم	30 مم

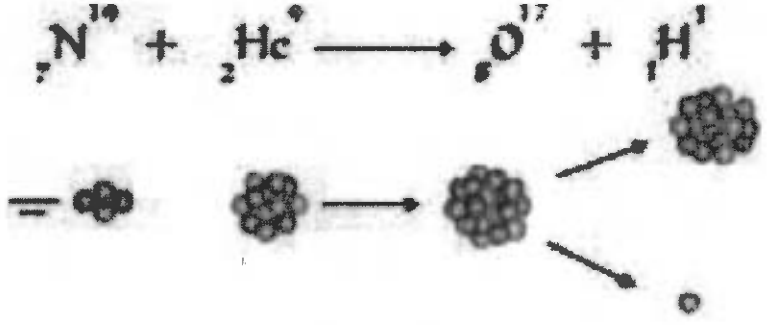
مصدر الطاقة في العناصر المشعة

تتحلل أنوية العناصر المشعة بشكل مستمر لتعطي طاقة وحرارة، وقد أثبتت التجارب أن مصدر الطاقة التي تصدرها العناصر المشعة ينشأ من التغيرات التي تحدث لنواة العنصر المشع، فهي تنشطر إلى نوى أخف.

رذرفورد يجري أول تحول نووي

بعد اكتشاف ظاهرة النشاط الإشعاعي وامكانية تحول العناصر طبيعياً إلى عناصر أخرى جديدة، تساءل العلماء عن إمكانية إضافة بروتونات أو نيوترونات إلى نواة العنصر لتحويلها إلى عنصر آخر جديد.

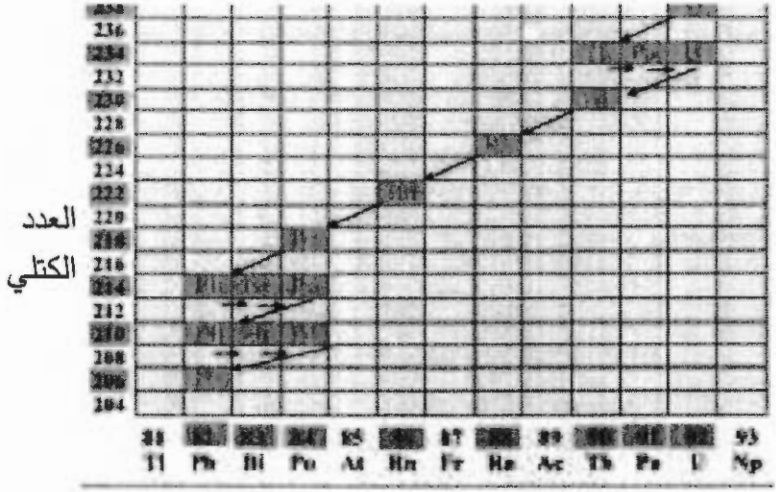
وقد تحقق ذلك لأول مرة عام 1919 على يد رذرفورد عندما قصف النتروجين بدقائق ألفا الصادرة عن تحلل اليورانيوم فأنتج بذلك نظيراً للأكسجين وبروتون:



سلاسل النشاط الإشعاعي Radioactive Series

جميع العناصر المشعة تنتمي إلى واحدة من ثلاث سلاسل تسمى كل واحدة منها سلسلة النشاط الإشعاعي، تبدأ السلسلة الأولى بنظير اليورانيوم (238)، والثانية بنظير اليورانيوم (235)، بينما تبدأ الثالثة بنظير الثوريوم (232). وتوضح هذه السلاسل مراحل تحلل العنصر المشع.

الشكل الآتي يوضح سلسلة تحلل اليورانيوم (238) إلى رصاص (206):



سلسلة تحلل اليورانيوم (238) الى رصاص (206) .

أولى خطوات هذه السلسلة تتضمن تحول نظير اليورانيوم (238) إلى نظير الثوريوم (234) وينتج بفعل هذا الانحلال انطلاق دقائق ألفا، ويتم تمثيل هذا التفاعل النووي على النحو التالي:

$$_{92}U^{238} \longrightarrow {}_{90}Th^{234} + {}_{2}He^{4}$$

يتم تمثيل دقائق ألفا الناتجة عن التفاعل بأنوية الهيليوم.

يسمى هذا النوع من التفاعلات والتي يظهر فيها كل من العدد الذري والعدد الكتلي وينتج عنها عناصر جديدة بالتفاعلات النووية.

يعتقد أن دقائق بيتا تنتج في النواة من تحول النيوترون إلى بروتون ودقيقة بيتا (الكترون).

وفي الخطوة الثانية يتحول الثوريوم إلى نظير البروتاكتينيوم مطلقاً دقيقة بيتا.

ويتم تحول الثوريوم وفق المعادلة النووية التالية:

$$_{90}Th^{234} \longrightarrow {}_{91}Pa^{234} + {}_{-1}e^{0}$$

الرمز يمثل الكترون (بيتا) مصدره النواة، شحنته (−1) وكتلته (صفر).

الخطوة الثالثة تتمثل في تحول البروتاكتينيوم إلى نظير اليورانيوم مطلقاً من جديد دقائق بيتا وذلك وفق المعادلة النووية التالية:

$$_{91}Pa^{234} \longrightarrow {}_{92}U^{234} + {}_{-1}e^{0}$$

تمثل الخطوة الرابعة تحول نظير اليورانيوم إلى نظير الثوريوم وتنطلق دقائق ألفا بفعل هذا التحول :

$$_{92}U^{234} \longrightarrow {}_{90}Th^{230} + {}_{2}He^{4}$$

ثم يعود الثوريوم في الخطوة الخامسة للتحول إلى نظير الراديوم وتنطلق دقائق ألفا:

$$_{90}Th^{230} \longrightarrow {}_{88}Ra^{226} + {}_{2}He^{4}$$

والآن يمكنك ملاحظة سبب وجود الراديوم في خام اليورانيوم.

وفي الخطوة السادسة يتحول الراديوم إلى نظير الرادون :

$$_{88}Ra^{226} \longrightarrow {}_{86}Rn^{222} + {}_{2}He^{4}$$

ثم يتحول الرادون في الخطوة السابعة إلى نظير البولونيوم:

$$_{86}Rn^{222} \longrightarrow {}_{84}Po^{218} + {}_{2}He^{4}$$

وهكذا تستمر سلسلة التحولات، وينتج في كل مرحلة منها نظير غير مستقر إلى أن يصل اليورانيوم في تحللاته إلى نظير الرصاص (206) المستقر في سلسلة من (14) خطوة.

يسمى هذا النوع من السلاسل بسلسلة النشاط الإشعاعي Radioactive Series أو سلسلة التحلل Decay Series.

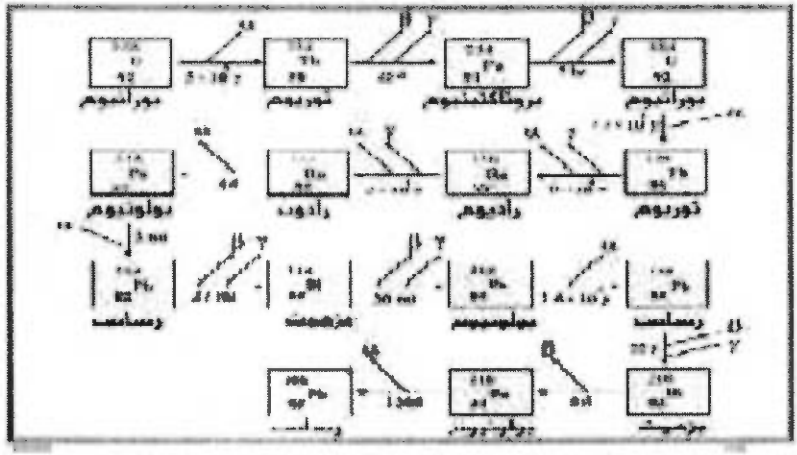
سرعة التحلل الإشعاعي Rate of Radioactive Decay

تتحلل أنوية العناصر غير المستقرة بسرعات مختلفة، فبعضها يحتاج لملايين السنين لكي يتحلل، والبعض الآخر بحاجة لثوان لفعل ذلك.

تسمى الفترة الزمنية اللازمة لتحويل كتلة معينة من العنصر غير المستقر إلى نصف تلك الكتلة بعمر النصف (life – half) ويرمز لها بالرمز ($t^{1}/_{2}$).

ولكل نظير غير مستقر عمر نصف محدد خاص به، فعلى سبيل المثال يبلغ عمر النصف للبزموث (214) (20) دقيقة ($t_{1/2}$ = 20 mi)، وهذا يعني أنه لو بدأنا بـ (10) غرام من البزموث ، سيبقى (5) غرام منه بعد مرور (20) دقيقة، ونحتاج لـ (20) دقيقة أخرى لتحويل الـ (5) غرام من البزموث إلى (2.5) غرام ... وهكذا

ولملاحظة سرعة كل خطوة والدقائق والأشعة التي تنتج من كل خطوة من خطوات سلسلة النشاط الإشعاعي، انظر للمخطط التالي:



الزمن المعطى بين الخطوات يمثل فترة نصف العمر

Y : سنة m : شهر d : يوم mi : دقيقة s : ثانية

سلاسل التحلل الإشعاعي

هي مجموعة التحولات التي تحدث لنواة العنصر المشع حتى تتحول في النهاية إلى نواة عنصر مستقر. ويوجد في الطبيعة ما يقرب الأربعين عنصراً مشعاً مختلفاً، وبثلاث سلاسل معروفة هي:

1. **سلسلة الثوريوم:** تبدأ بعنصر الثوريوم وتنتهي بنظير الرصاص -208 المستقر.
2. **سلسلة الأكتينيوم:** وتبدأ بعنصر الأكتينيوم وتنتهي بنظير الرصاص -207 المستقر.
3. **سلسلة اليورانيوم:** وتبدأ بعنصر اليورانيوم -238 وتنتهي بنظير الرصاص - 206 المستقر.

1) يتحول يورانيوم-238 إلى ثوريوم-234 بإطلاق جسيمات α ($^{4}_{2}He$) وبذلك ينقص العدد الكتلي 4 والعدد الذري 2. [هذا يقع على الرسم بنزول صف واحد والتحرك إلى اليسار عمودين].

2) بنفس الطريقة إطلاق β يتمثل في الحركة عمود واحد إلى اليمين في نفس الصف. ويصبح ثوريوم-234 بروتاكتينيوم Protactinium-234. [يزداد العدد الذري 1].

قانون الاضمحلال (الانحلال) Decay law:

تقوم النوى غير المستقرة بالاضمحلال تلقائياً وعشوائياً.

ولا تتم هذه العملية بسرعة، ولو كانت تتم بسرعة لما وجدت عناصر مشعة أثقل من عنصر الرصاص على سطح الأرض. وكلما زاد عدد النوى المشعة الغير مضمحلة كلما زاد النشاط الإشعاعي للنواة.

وإذا كان ن عدد النوى المشعة الغير مضمحلة بعد زمن مقداره ز فإن النشاط الإشعاعي مساوياً $\frac{د ن}{د ز}$

$$\frac{د ن}{د ز} = \lambda ن \quad \ldots (١)$$

حيث: λ ثابت النشاط الاشعاعي، ويساوى قيمة ثابتة لكل نواة .

$\frac{د ن}{د ز}$: النشاط الإشعاعي أو معدّل الاضمحلال بالنسبة للزمن .

وبتكامل المعادلة (1) ينتج أن :

$$ن = ن_{.} \, هـ^{-\lambda ز} \quad \ldots (٢)$$

حيث ن: عدد الوى المشعة الغير مضمحلة عند أي زمن ز .

ن.: عدد النوى المشعة الأصلية عند ز = صفر.

هـ : أساس اللوغاريتم الطبيعي (= 2.718) .

ويسمى هذا القانون قانون الاضمحلال (التحلل) الإشعاعي.

فترة عمر النصف

من الممكن التعبير عن سرعة اضمحلال نوى عنصر مشّع بدلالة مفهوم عمر النصف الذي يعرّف على أنه:

1. متوسط الزمن اللازم ليصل عدد النوى المشعة الغير مضمحلة في العينة إلى النصف . أو أنه:

2. متوسط الزمن اللازم ليصل النشاط الاشعاعي إلى النصف.

ولنفرض أن (ن.) هو عدد أنوية العنصر عند ز = صفر . أي عند بداية التحلل فإنه بعد مرور عمر النصف للعنصر ز $_{\frac{1}{2}}$ من العنصر $\frac{1}{2}$ عدد الأنوية ($\frac{1}{2}$ ن.) وبعد مرور عمر نصف آخر يبقى ($\frac{1}{4}$ ن.)

ولنفرض أن عمر النصف لعنصر ماء ز $_{\frac{1}{2}}$ = ٣ ساعات

وأن عدد الأنوية المشعة = 100 نواة في بداية الإضمحلال. فبعد مرور أو 3 ساعات فإن عدد الأنوية المشعة تنخفض إلى 50 نواة وبعد مرور 3 ساعات أخرى ينخفض إلى 25 نواة.

وإذا نظرنا إلى المعادلة (2):

$$ن = ن. هـ^{-\lambda ز}$$

فإن ز $_{\frac{1}{2}}$ هو الزمن الذي يصل فيه عدد النوى غير المضمحلة إلى النصف أي أن ن = $\frac{1}{2}$ ن

عندما تكون ز = ز $_{\frac{1}{2}}$

$$\frac{ن}{2} = ن. \quad هـ^{-\lambda ز_{\frac{1}{2}}}$$

وبإجراء عمليات حسابية على المعادلة ينتج أن :

$$ز_{\frac{1}{2}} = \frac{٠.٦٩٣}{\lambda}$$

حيث 0.693 = لو 2 لو (اللوغاريتم الطبيعي)

ويتضح من هذه المعادلة أن عمر النصف يتناسب عكسياً مع ثابت اضمحلال العنصر المشع (ا) فعندما يكون ثابت الاضمحلال كبيراً يكون عمر النصف قصيراً .

ويُقاس النشاط الإشعاعي عادة بوحدة الكوري وهي تساوي 3.7× 10^{10} اضمحلال / ث. وتستخدم أجزاء الكوري مثل الملي كوري والمايكرو كوري. وسنقوم لاحقاً بالحديث عن وحدات قياس الإشعاع.

مثال (1)

عينة من عنصر مشع تحتوي على (8×10^{-4}) غ منه. فإذ كان عمر النصف له 7 أيام، كم يتبقى من العنصر المشع بعد مرور (28) يوماً؟

الحل :

ن$_{\text{ا}}$ = 8×10^{-4} غ .

بعد مرور ٧ أيام (١ $\text{ز}_{\frac{1}{2}}$) ← يبقى ٤ × ١٠$^{-٤}$ غ .

بعد مرور ١٤ يوم (٢ $\text{ز}_{\frac{1}{2}}$) ← يبقى ٢ × ١٠$^{-٤}$ غ .

بعد مرور ٢١ يوم (٣ $\text{ز}_{\frac{1}{2}}$) ← يبقى ١ × ١٠$^{-٤}$ غ .

بعد مرور ٢٨ يوم (٤ $\text{ز}_{\frac{1}{2}}$) ← يبقى $\frac{1}{2}$ × ١٠$^{-٤}$ غ .

وبذلك يكون عدد الأنوية = 5×10^{-5} غم .

ولحساب عدد مرات التكرار = $\frac{\text{الزمن الكلي}}{\text{عمر النصف}} = \frac{٢٨}{٧} = ٤$

مثال (2)

عينة من عنصر مشع تحتوي على (3600) نواة منه تبقى منها (450) نواة بعد مرور ساعة على تحضيرها. أوجد عمر النصف للعنصر ؟؟؟

الحل

٣٦٠٠ ←^{١}— ١٨٠٠ ←^{٢}— ٩٠٠ ←^{٣}— ٤٥٠ .

عدد مرات التكرار = 3

الزمن الكلي = عمر النصف × عدد مرات التكرار

60 دقيقة = عمر النصف × 3

عمر النصف = $\frac{60}{3}$ = $\frac{60}{3}$ = ٢٠ دقيقة .

مثال (3)

عينة من عنصر مشع تبقى $\frac{1}{32}$ منها بعد مرور (١٥ يوما) من تحضيرها أوجد عمر النصف للعنصر.

الحل

١ ← $\frac{1}{2}$ ← $\frac{1}{4}$ ← $\frac{1}{8}$ ← $\frac{1}{16}$ ← $\frac{1}{32}$

عدد مرات التكرار = 5 .

عمر النصف = $\frac{\text{الزمن الكلي}}{\text{عدد مرات التكرار}}$ = $\frac{15}{5}$ = ٣ أيام

تطبيقات على عمر النصف

1- تقدير عمر الأرض

نظراً لأن اليورانيوم ينتشر بكثرة على سطح الأرض وفي باطنها، وبإعتقاد العلماء أن اليورانيوم موجود منذ نشأة الأرض قام العلماء بحساب "العمر الإشعاعي للأرض" عن طريق أخذ عينات من صخور القشرة الأرضية وتعيين نسبة اليورانيوم والرصاص في العينة، ومعرفة عمر النصف لليورانيوم، استطاع العلماء تقدير عمر الأرض. كما وأنه من الممكن استخدام بعض العناصر المشعة التي احتُبست في الصخور أثناء تكونها في تقدير عمر هذه الصخور. وكلما مر عليها الزمن فإن نسبة العنصر المشع (مثلاً: بوتاسيوم- 40) تقل، بينما يزداد العنصر الناتج عن الإضمحلال (آرجون- 40)، ويمكن استخدام نسبة هذه العناصر في تقدير عمر هذه الصخور.

2) التأريخ بالكربون

تقوم الأشعة الكونية بتحويل غاز النيتروجين $^{14}_{7}N$ إلى الكربون المشع $^{14}_{6}C$ وتقوم الرياح بتوزيع الكربون المشع بشكل متجانس في الغلاف الجوي على هيئة

غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يتناوله النبات في عملية البناء الضوئي. ويتناوله بعد ذلك الحيوان والإنسان في عملية تناول الغذاء. وتظل نسبة الكربون المشع $^{14}_{5}C$ ثابتة ما دام الكائن حياً. وعند وفاة الكائن الحي تبدأ نسبة $^{14}_{5}C$ في التناقص، وبمعرفة نسبة الكربون المشع في عينة معينة، وبالرجوع إلى منحنى التحلل الإشعاعي للكربون المشع يمكن معرفة الزمن الذي انقضى على الوفاة.

وحدات قياس الإشعاع

تستخدم وحدة الرونتجن لقياس جرعة أشعة جاما أو الأشعة السينية. والرونتجن هو "جرعة الإشعاع التي تمرر 18.7×10^{-5} جول من الطاقة في الكيلوغرام الواحد من الهواء".

الراد: عند حدوث تصادم إشعاعي مع المادة أدى ذلك لإحداث جرعة إشعاعية ممتصة

الرم: الجرعة الإشعاعية التي تتعلق بالإنسان تقاس بوحدة الرم ويستخدم حالياً وحدة السيفرت. (1 سيفرت = 100 / م).

الكوري: وحدات النشاط الإشعاعي الصادرة عن العناصر المشعة تقدر بالكوري أو البيكريل.

الكوري = $3.7 \times 10\ 10$ تحللاً / ث

البيكريل = 1 تحللاً / ث

الكوري = $3.7 \times 10\ 10$ بيكريل

أما وحدات قياس الجرعة الإشعاعية الممتصة فتقدّر بالرونتجن والجراي والسيفرت.

طرق الكشف عن الإشعاعات

1- عدادات جايجر (Geiger Counters)

هذا النوع من الأجهزة صغير وعملي وغير مكلف اقتصادياً. ويتكون من أنبوبة معدنية تُملأ بغاز الآرجون أو النيون تحت ضغط منخفض (0.2 ضغط جوي). وسلك معدني ينطبق تماماً على محور الأسطوانة ويوضع فرق جهد عالي بين الأسطوانة والسلك، وتقوم الإشعاعات الداخلة إلى الأنبوب (ألفا أو بيتا أ, جاما) بتأيين جزيئات الغاز، مما ينتج عنه نبضة كهربائية يمكن الكشف عنها. ويعبر

هذا العداد أفضل في الكشف عن جسيمات b ذات الطاقة العالية عن الكشف عن أشعة جاما أو جسيمات ألفا.

2- العدادت الوميضية (Scintillation Counters)

يستخدم هذا النوع للكشف عن إشعاعات جاما، وهذه الأجهزة عملية ويسهل استخدامها. وعندما تسقط إشعاعات جاما على بلورة معينة في هذا الجهاز فإنها تمتصه وتطلق ومضة من الضوء. وتمر هذه الومضة بمضاعفات تعمل على تكبيرها ومن ثم تحويلها إلى نبضة كهربائية. وتكون هذه النبضة مناسبة لطاقة الإشعاع الساقط.

3- العدادات السائلة (Liquid Scintillation Counters)

هذا النوع من الأجهزة عملية يستخدم للكشف عن كل أنواع الإشعاعات. وتتعرض أشعاعات لمادة تطلق ومضات من الضوء عند التفاعل مع مواد معينة, نستخدم هذه الومضات لقياس كمية الإشعاع التي تحويها المادة المشعة.

4- عدادات أشباه الموصلات (Solid State Detector)

تحتوي هذه العدادات على قطعة من الجرمانيون أو السيليكون الذي يصدر إشارة كهربائية عند سقوط إشعاع مؤين.

استعمالات النظائر المشعة

رأينا أنه يتوافر في الطبيعة العديد من النظائر المشعة الطبيعية التي تقوم بنشاطها الإشعاعي بشكل تلقائي. والجدول التالي يوضح فترة عمر النصف لبعض العناصر

لكن العلماء والباحثين استطاعوا تحضير نظائر مشعة في المعامل والمصانع بطرق عدة، منها تصويب قذائف مناسبة على أنوية بعض العناصر غير المشعة. وأفضل القذائف المستخدمة كما نعلم هي النيوترونات تليها البروتونات ثم الديوترونات.

فلو قذف النيوترون ($^{1}_{0}n$) على نواة نظير الكبريت ($^{34}_{16}S$) غير المشعة مثلاً فإنه ينتج لدينا النظير المشع ($^{35}_{16}S$) وفق المعادلة التالية :

العنصر	فترة عمر النصف
بوتاسيوم – 40	1.3×10^{9} سنوات
بلوتونيم – 239	24400 سنة
كربون – 14	5730 سنة
سترانثيوم – 90	28 سنة
ماغنيسيوم – 28	21 ساعة
رادون – 224	55 ثانية

$$^{34}_{16}S + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{35}_{16}S$$

وأهم النظائر المشعة هو نظير الكوبلت ($^{60}_{22}Co$) الذي يبعث بجسيمات (α) وأشعة (γ) ذات الطاقة العالية، التي تستخدم عادة في علاج الأورام السرطانية .

وقد اتسع نطاق استعمال النظائر المشعة في العديد من مجالات الحياة الطبيّة والزراعية والصناعية. ويمكن إيجاز بعض هذه الاستعمالات فيما يلي:

أولاً: استخدام النظائر المشعة في الأغراض الطبية

أ. استخدام النظائر في علاج السرطان حيث تخترق أشعة جاما الأنسجة وتقتل الخلايا الحية. ولذلك يسلط على الأورام السرطانية شعاع عالي التركيز من مصدر للكوبالت – 60 والذي يعمل على قتل الخلايا السرطانية في الورم.

ب. استخدم نظير الفوسفور المشع في علاج سرطان الدم، بإعطاء المريض جرعات خاصة تحتوي على نظير الفوسفور المشع ($^{32}_{15}P$)، حيث يحد من إنتاج كرات الدم الحمراء.

جـ. استخدم نظير اليود المشع في علاج مرض الخمول الذهني الذي ينتج عن تناقص كمية اليود الموجودة في جسم الإنسان ومعظمه في الغدة الدرقية. فإذا

أُعطي المريض جرعات من اليود المشع، فإن الدم يحمله إلى أنسجة الغدة الدرقية حيث يمتص. كما تعمل الإشعاعات الصادرة منه على قتل الخلايا المصابة لتعود الغدة إلى نشاطها.

د. يستعمل نظير الصوديوم المشع كقصّاص للأثر. فإذا أُعطي المريض كمية من ملح (كلوريد الصوديوم) الذي يحتوي على الصوديوم المشع فإن الدم يمتصه، ويستطيع الطبيب باستخدام (عداد جيجر) أن يقتفي أثره، ويعرف ما إذا كان دم المريض ينساب بصورة طبيعية في أوعيته الدموية أم أنه يتباطأ عند نقطة معينة، ومن ثمّ تحديد الموضوع بدقة.

هـ. يستخدم النظير المشع للكوبلت ($^{60}_{22}Co$) في تعقيم الأدوات الطبية، كالحقن الطبية والإبر والأسرّة وغيرها حيث تعمل على قتل الجراثيم والميكروبات.

ثانياً: استخدام النظائر المشعة في مجال الزراعة

أ. باستخدام الأسمدة الإشعاعية تمكن العلماء الإيطاليون من إنضاج القمح في مدة لا تتجاوز 64 يوماً، بينما هو في الحالة الطبيعية ينضج في 7 أشهر.

ب. زيادة المحصول باستخدام الأسمدة الإشعاعية، وكذلك تحسين الأنواع بالحصول على أنواع أفضل من الأرز والقمح والشعير بفضل التغييرات الناتجة بالتأثير الإشعاعي.

جـ. استخدم إشعاع الكوبلت في تغيير لون البلاستيدات الملوّنة، وذلك بتعريض النبات لفترات مختلفة للإشعاع، مما يتيح وجود أزهار بألوان مختلفة على النبات نفسه.

د. استخدم إشعاع الكوبلت المسلّط على طعام الماشية لزيادة السمنة فيها وزيادة إدرارها للّبن.

هـ. معالجة النباتات والأغذية بالأشعة لقتل لبكتيريا التي تعمل على إفساد الطعام. وتكون هذه المعالجة بحيث لايتغير طعم الأغذية ولاجودتها. ومن الجدير بالذكر أن المادة المشعة لاتلامس الأغذية ولايوجد خطورة من أن تتلوث الأغذية باللإشعاع.

و. يمكن استخدام النظائر المشعة في دراسة العمليات الكيميائية والحيوية في النباتات. وذلك بسبب تماثل هذه النظائر المشعة مع العناصر التي تدخل في

العمليات الكيميائية المختلفة في النبات. كما وانه من السهل اقتفاء أثر هذه النظائر باستخدام عداد جايجر أو أي من العدادات السابق ذكرها.

ثالثاً: استخدام النظائر المشعة في الكشف عن التسريب في الأنابيب الجوفية
ويتم ذلك عن طريق إضافة هذه النظائر إلى السوائل التي تجري في الأنابيب .

رابعاً: تستخدم أشعة (γ) في الكشف عن الشقوق في الصخور .

خامساً: أجهزة إنذار الحريق
تحتوي هذه الأجهزة على العنصر امريسيوم – 241 الذي يعتبر مصدرا لجسيمات (γ) التي تعمل على تأيين الهواء في حجرة صغيرة مما يولد تيارا. وعند حدوث حريق فإن الدخان المتصاعد الذي يدخل هذه الحجرة يعمل على جذب الأيونات ويقلل التيار الذي يُكشف عنه بدارة كهربائية تعمل على تشغيل إنذار الحريق.
وقد أثبتت الدراسات أن هذه الأجهزة تقلل من الحرائق الكبيرة بنسبة 80 % .

أخطار الإشعاعات النووية والوقاية منها
نواتج النشاط الإشعاعي الثلاثة ذات طاقات عالية، ولذلك فهي ضارة بالأنسجة الحيّة، حيث إنها تعمل على تفكيك جزيئاتها المعقدة فتميت الخلايا الحيّة أو تحرقها أو تضعف أدائها لوظائفها. ومن سوء حظ ماري كوري، أنها لم تكن تدرك أخطار هذه الإشعاعات، فدفعت حياتها وحياة ابنها وابنتها ثمناً باهظاً بسبب تعرضهم المستمر للمواد المشعة.
وتختلف آثار نواتج الإشعاع الثلاثة باختلاف نوعها وطاقتها وشدتها وزمن تعرّض الكائن الحي لها.
فجسيمات α مثلاً، قدرتها على النفاذ في الجسم الحي صغيرة، وبخاصة إذا كانت طاقتها صغيرة، ولذلك يكون أثرها أقل خطراً من جسيمات β وأشعة γ.
وجسيمات β قدرتها على النفاذ في الجسم الحي أكبر من قدرة جسيمات α، ولذلك يكون خطرها أكبر.

أما أشعة γ فأخطارها أكبر من جسيمات α وجسيمات β، لأن قدرتها على النفاذ في الجسم الحي أكبر بكثير، وقد تؤدي إلى أمراض مختلفة وعاهات مستديمة عند الكائن الحي إذا تعرض لها لفترات زمنية طويلة .

ومن جهة أخرى، فإن العالم يتجه إلى زيادة استخدام المواد المشعة في العديد من الأبحاث العلمية والأغراض الصناعية والزراعية، كما أوضحنا في البند السابق.

وقد اهتمت الأمم والشعوب المختلفة والهيئات الدولية المتخصصة وغير المتخصصة بالوقاية من الإشعاع، فعقدت لذلك المؤتمرات التي أقرّت الاتفاقيات الخاصة بالشروط المتعلقة باستخدام المواد المشعة واحتياطات السلامة، والقوانين الخاصة بحماية العاملين في ميادين الإشعاع، وفي محطات الطاقة النووية، والوقاية منها.

الشروط والاحتياطات الواجب اتخاذها في مجال الوقاية من الإشعاع

ومن أهم الشروط والاحتياطات الواجب اتخاذها في مجال الوقاية من الإشعاع ما يلي:

1- ضرورة حفظ المواد المشعة في أماكن خاصة، مع استخدام المغلفات المزدوجة عند نقل المواد المشعة.

2- تغطية المناضد والطاولات بطبقة من مواد ماصة للإشعاع يسهل التخلص منها في حالة التلوث.

3- تزويد أماكن العمل بحواجز وقائية ذات سمك كافٍ يمنع تسرب الإشعاع إلى العاملين.

4- فحص العاملين بصورة دورية واستخدام أفلام الوقاية وأجهزة كشف الإشعاع.

5- فحص جميع الأماكن التي يمكن أن تصل إليها الإشعاعات النووية بصورة دورية لتقدير مستوى الإشعاع بها.

6- عمل فحص دوري لأجهزة الوقاية وصيانتها، بحيث تكون صالحة للعمل عند أي طارىء.

7- ترك ملابس الوقاية في أماكن العمل، وعد الخروج بها حتى لا تنتقل الإشعاعات التي قد تكون عالقة بها.

العناصر المشعة

تعريف العنصر المشع

يعرف العنصر المشع بأنه عنصر يحتوي على نواة غير مستقرة تضمحل بإنبعاث جسيمات نووية (ألفا – بيتا – جاما) لتصل إلى حالة الإستقرار.

أنواع العناصر المشعة

يوجد نوعان من العناصر المشعة:

أ–عناصر مشعة طبيعية: وهي التي توجد في الطبيعة.

وتنقسم العناصر المشعة الطبيعية إلى قسمين تبعا لمصدرهما إلى:

1–عناصر مشعة طبيعية كونية

تتكون هذه العناصر نتيجة لتفاعل الأشعة الكونية (الأشعة الناتجة من الكواكب والشمس) بالمواد الموجودة في الفضاء، وينتج عن ذلك مواد مشعة مثل: H^3, C^{14}, Be^7, Na^{22}, P^{32}, S^{35} ومعظمها من العناصر الخفيفة، وتنتشر هذه العناصر على سطح الأرض.

2–عناصر مشعة طبيعية أرضية

توجد هذه العناصر في القشرة الأرضية، وتشمل كل المواد التي تحمل عدد ذري أكبر من 83، وتنتمي هذه المواد إلى السلاسل طويلة العمر ومن هذه السلاسل: سلسلة اليورانيوم 238 وسلسلة الثوريوم 232، بالإضافة إلى البوتاسيوم 40 الذي يوجد في القشرة الأرضيةبنسبة 0.0117% من البوتاسيوم المستقر K^{39}.

ب–عناصر مشعة صناعية: وهي التي تصنع بواسطة قذف العناصر الثابتة بواسطة إحدى القواذف ألفا أو البروتون أو النيوترون.

سلسلة اليورانيوم 238

وتبدأ هذه السلسلة بعنصر اليورانيوم 238 وتنتهي بعنصر الرصاص 206 الثابت ويتخللها غاز الرادون Rn^{222}_{86} .

سلسلة الثوريوم 232

وتبدأ هذه السلسلة بالثوريوم 232 وتنتهي بالرصاص 208 ، ويتخللها غاز الرادون 220 ويسمى في هذه السلسلة بغاز الثورون للتفرقة بينه وبين غاز الرادون في سلسلة اليورانيوم.

سلسلة البوتاسيوم 40

وحيث أن جسم الإنسان يحتوي على نسبة كبيرة من البوتاسيوم المستقر K^{39} تساوي تقريبا 2.5 كجم فإن عنصر K^{40} يوجد في جسم الإنسان والحيوان والنبات، وله أهمية كبيرة في تشغيل بعض أجهزة جسم الإنسان مثل القلب، فيعتبر K^{40} البطارية التي تقوم بتشغيل القلب.

العناصر المشعة المصنعة

لقد تم في السنوات القليلة الماضية صنع مئات العناصر المشعة وذلك بواسطة قذف عناصر غير مشعة بواسطة قذائف مختلفة مثل: النيوترون أو البروتون لتتحول إلى عنصر مشع يستخدم في أغراض مختلفة مثل الطب والصناعة والزراعة وفي الحروب. ومن أمثلة ذلك عناصر تستخدم في الطب مثل:

Ga^{67} ,Th^{201} ,I^{123} ,In^{111} ,Ru^{81} ,N^{15} ,F^{18} ,Cs^{134} ,Te^{95}

الجاليوم-67، الثاليوم-201، اليود-123، الإنديوم-111، الروبيديوم-81، النيتروجين-15، الفلور-18، السيزيوم-134 .

ومن أمثلة العناصر التي تستخدم في الصناعة:

لمعرفة المستوى Co^{60}, Cs^{134} وفي التصوير Sb^{124}، وفي أبحاث الأدويةH^3, C^{14} وفي إختبار اللحامات(الإختبارات اللا إتلافية) Ir^{192} .

خواص العناصر المشعة

لكي ندرس خواص العناصر المشعة يجب أن نعرف أولا تركيب الذرة والنواة.

الذرة والنواة The Atom and Nucleus

الذرة هي الوحدة الأساسية التي تكون المادة. وقد ظلت محاولة معرفة تركيبها التحدي الأكبر الذي واجه العديد من العلماء في العصور القديمة حتى أوائل القرن

العشرين حين وضعت النظرية الذرية الحديثة، ولا شك أنك على دراية مستفيضة بها من خلال دراستك في السنين الماضية.

تتكون الذرة (حسب التصور الحديث) من منطقتين أساسيتين هما: المركز المتناهي الصغر الذي تتركز فيه الشحنات الموجبة، وهذه المنطقة لا يتجاوز نصف قطرها 10^{-15} متر، وهي ما يطلق عليها النواة، ويحيط بهذه النواة فراغ هائل تسير فيه الإلكترونات ذات الشحنة السالبة ليكون نصف القطر الذري مساويا 10^{-10} متر.

إذا الذرة :The Atom تتكون من جسيم صغير يسمى النواة ويحيط بالنواة جسيمات صغيرة تسمى الإلكترونات تدور حولها في مدارات معينة.

أما النواة The Nucleus: فيها تتمركز كتلة الذرة ويبلغ نصف قطرها حوالي 10^{-13} سم، في حين يصل نصف قطر الذرة حوالي 10^{-8} سم. والنواة بدورها تتركب من نوعين من الجسيمات المتناهية الصغر تعرف بالبروتونات والنيوترونات، ويعود تعادل الذرة إلى تساوي عدد البروتونات مع عدد الإلكترونات وإختلافهما في الشحنة.

مفاهيم أساسية عن الذرة

من المفيد تحديد المفاهيم الأولية الآتية في التركيب الذري والنووي:

البروتونات The Proton

البروتون عبارة عن جسيم صغير تبلغ كتلته 101.67×10^{-24} جم وهو أكبر من الإلكترون بحوالي 1839 مرة وحمل شحنة كهربائية مساوية لشحنة الإلكترون ولكنها موجبة.

النيوترونات The Neutron

النيوترون عبارة عن جسيم صغير متعادل الشحنة مساوي تقريبا للبروتون في الكتلة وغالبا يعتبر النيوترون عبارة عن إتحاد بروتون وإلكترون.

النيوكليونات The Nucleun

هو إسم يطلق على الجسيمات النووية، أي البروتونات والنيوترونات ومجموع عددها هو عدد الكتلة إذن فهو مسمى مشترك لكل من البروتون والنيوترون

العددالذري The Atomic Number (Z)

هو عدد البروتونات ويساوي عدد الإلكترونات للذرة المتعادلة ويرمز له بالرمز Z ويعين العدد الذري الخصائص الكيميائية للذرة وبالتالي يحدد العنصر.

عدد الكتلة The Mass Number (A)

هو مجموع أعداد البروتونات والنيوترونات المكونة لنواة أي عنصر وهو عدد صحيح ويرمز له بالرمز A.

الترميز النووي

يقصد به طريقة كتابة العناصر بطريقة توضح العدد الذري وعدد الكتلة والطريقة كما هو موضح أعلاه تتم بكتابة عدد الكتلة إلى أعلى يسار رمز العنصر ويكتب العدد الذري أسفل يسار رمز العنصر.

ويمكن أن يشمل الترميز النووي عدد النيوترونات وهذه تكتب أسفل يمين رمز العنصر (أنظري المثال في حالة الأيزوترونات).

الأيزوبارات Isobars

هي عناصر مختلفة لها نفس عدد الكتلة ولكنها تختلف في العدد الذري أي في عدد البروتونات. ويطلق اسم أنوية المرآة على زوج الأيزوبارات التي تختلف في قيم N و Z بمقدار الوحدة.

الأيزوتونات Isotones

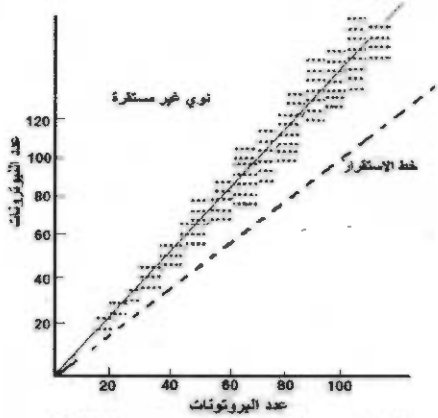
وهي عناصر مختلفة لها نفس عدد النيترونات.

الأيزومرات Isomers

وهي أنوية لها نفس العدد الذري وعدد الكتلة (أي أن لها نفس العدد من النيترونات أيضا) ولكنها تختلف في مقدار الطاقة الداخلية التي تحملها أو بعبارة أخرى أنها تشغل مستويات طاقة مختلفة. وبذلك فإن النواة التي تشغل مستوى الطاقة الأعلى هي النواة غير المستقرة. وفي ترميزها النووي يضاف الحرف الصغير m بجانب عدد الكتلة إلى جهة اليمين

إستقرار النواة

يوجد في أنوية العناصر الخفيفة الثابتة عدد متساوي تقريبا من البروتونات والنيوترونات، إلا أنه بإزدياد كتلة العنصر تزداد نسبة النيوترونات إلى البروتونات، وتظهر هذه الحقائق في الشكل (2) الذي يوضح العلاقة بين عدد النيوترونات وعدد البروتونات لعدد من النظائر .



شكل (2-1): حزام الثبات الذي يوضح العلاقة بين عدد النيوترونات والبروتونات.

ففي هذا الشكل تم رسم علاقة بيانية بين عدد البروتونات وعدد النيوترونات في الأنوية المعروفة فإننا نحصل على الرسم البياني الموضح في الشكل ( ) والذي نلاحظ منه ما يلي:

النوى المستقرة وهي النوى على الخط المتصل وتتصف هذه النوى بما يلي:

1) النوى في أسفل الخط المستقيم تمثّل النوى الخفيفة المستقرة وهنا عدد البروتونات يساوي عدد النيوترونات.

2) في النوى الثقيلة يكون عدد النيوترونات أعلى من عدد البروتونات بنسبة 50%.

3) أكثر النوى استقراراً هي الأنوية التي تحوي أعداداً زوجية من البروتونات والنيوترونات وذلك بسبب أن كل بروتونين ونيوترونين يكونان مجموعة مستقرة .

أما الأنوية غير المستقرة فتقع على جهتي الخط المتصل:

وتلجأ هذه الأنوية للاستقرار إما بإطلاق جسيمات ألفا (α) أو جسيمات بيتا (β) أو إطلاق إشعاعات جاما (γ) وهذا ما يسمى بالنشاط الإشعاعي للعناصر والتي سنتحدث عنه بالتفصيل فيما بعد.

ومن الشكل السابق، نلاحظ أن الإنحراف عن نسبة 1:1 يصبح واضحا عند عدد ذري من 20- 25 فأكثر، وفي هذا الشكل فإن النقط الواقعة على المنطقة المتعرجة أو حزام الثبات، تمثل نظائر ثابتة، أما النقط التي تقع خارج هذه المنطقة فتمثل عناصر مشعة، فإذا كانت نسبة N\Z للنواة عالية جدا يقال أنها غنية بالنيوترونات، لذلك يجب أن تمر بإنحلال النشاط الإشعاعي بالأسلوب الذي تقل فيه نسبة النيوترونات إلى البروتونات لتصل إلى قيمة قريبة جدا من قيمة الإستقرار (N/Z = 1)في هذه الحالة يجب على النواة أن تقل من N وتزيد من قيمةZ ، إذ يمكن عمل ذلك بتحويل النيوترونات إلى بروتونات وذلك بإنبعاث جسيمات بيتا السالبة. أما إذا كانت N/Z قليلة جدا للإستقرارحدث إنحلال للنشاط الإشعاعي الذي يقلل من قيمة Z ويزيد من قيمة N بتحويل البروتونات إلى نيوترونات وذلك بإنبعاث بوزيترون B^+ أو إمتصاص النواة للإلكترون المداري (E.C.) حجز الإلكترون .ونلاحظ أنه بعد البزموث تكون جميع الأنوية غير مستقرة تجاه إنحلال النشاط الإشعاعي بإنبعاث جسيمات ألفا في حين أن يكون بعضها غير مستقر أيضا تجاه إنحلال بيتا.

أي يمكن تقسيم المنحنى إلى ثلاث مناطق:

1- الأنوية التي لها Z = 20 هنا تكون النسبة N/Z للأنوية المستقرة مساوية للقيمة 1 أو 1.1.

2- الأنوية التي لها Z = 20-83 تزداد النسبة N/Z للأنوية المستقرة لتصل للقيمة 1.5 أي أننا في هذه الحالة نحتاج إلى عدد أكبر من النيوترونات لزيادة القوى النووية الجذبة حتى تتغلب على قوى التنافر الكولومية التي تنشأ بين العدد الكبير من البروتونات.

3-الأنوية التي لها Z > 83 هنا تزداد قوى التنافر الكولومية بين البروتونات بحيث يستحيل الحصول على أنوية ثابتة للعناصر ذات العدد الأكبر من 83.

الخواص الدورية للأنوية(الأعداد السحرية):

كما هو معروف فإن الخواص الكيميائية للعناصر تتكرر دوريا بعد الأعداد الذرية 2، 10، 18، 36، 54، 86. وعلى هذا الأساس تم وضع الجدول الدوري للعناصر. وبشكل مشابه فقد لوحظ أن خواص الأنوية تتكرر بصورة دورية وتنتهي كل دورة عند الأعداد 2، 8، 20، 50، 82، 126 من النيوترونات أو البروتونات وهي الأعداد التي يطلق عليها الأعداد السحرية Magic Numbers.

وقد فسرت هذه المشاهدة على أساس أنه كما تعمل الإلكترونات في الذرات على الإزدواج لتكوين روابط مستقرة كذلك فإن النيوكلونات ذات نفس النوع (بروتون – بروتون أو نيوترون – نيوترون) تعمل على الإزدواج لتزيد من ثبات النواة.

وهناك من الدلائل ما يدعم هذا الافتراض:

1- أن الأنوية ذات الأعداد الزوجية من البروتونات والنيوترونات هي أكثر ثباتا من غيرها 201 نواة من أصل 336

2- دائما ما تنتهي سلاسل الإشعاع عند عنصر يحمل رقما سحريا هو غالبا الرصاص للسلاسل الطبيعية حيث العدد الذري له 82 أو البزموث الذي عدد الكتلة له 126 في حالة سلسلة النبتونيوم وكلاهما رقم سحري.

3- بالنسبة لعنصر القصدير الذي عدده الذري 50 وهو رقم سحري فإن هناك 10 نظائر مستقرة وهذا رقم كبير على غير العادة، وبالمثل عنصر الكالسيوم الذي عدده الذري يساوي 20 له ستة نظائر مستقرة.

4- أن أكثر العناصر وجودا في الطبيعة سواء في القشرة الأرضية أو حتى الوجود الكوني هي العناصر الآتية:

$_{8}O^{16}$ ،$_{14}Si^{28}$ ،$_{50}Sn^{118}$ ،$_{38}Sr^{88}$ ،$_{39}Y^{89}$ ،$_{40}Zr^{90}$ ،$_{56}Ba^{138}$ ،$_{57}La^{139}$ ،$_{82}Ce^{140}$ ،$_{82}Pb_{126}$ ،$_{82}^{208}$. وهذه العناصر كما هو واضح تحتوي على أعداد سحرية.

5- إنبعاث نيوترونات من أنوية تحمل رقما سحريا يوضح أن لهذه الأنوية ثباتا غير عادي، فمن المعلوم أن الطاقة اللازمة لنزع نيوترون تساوي في المتوسط ما بين 7-8 مليون الكترون فولت، ولكن من الملاحظ في تفاعلات الإنشطار النووي

أنه عندما تتكون أنوية، مثل: $_{51}Sr^{89}$ أو $_{83}Xe^{137}$ في نواتج الإنشطار وهي أنوية كما هو ملاحظ تحمل عدد من النيوترونات أكبر من الرقم السحري بوحدة واحدة فإن مثل هذه الأنوية تتحلل تلقائيا عن طريق إشعاع نيوترون وبطاقة صغيرة لا تقارن بالقيمة المتوسطة.

6- الطاقة اللازمة لنزع نيوترون من أنوية نظائر الرصاص لها قيم تؤكد صحة فرضية ثبات الأنوية التي تحمل رقما سحريا، يوضح الجدول (2) أن أقل طاقة هي تلك الخاصة بالنظير 209 وهي لنزع النيوترون رقم 127، حيث أن هذا البروتون سيؤدي إلى تكون النظير 208 الذي يمتلك رقما سحريا في عدد البروتونات 82 وعدد النيوترونات 126.

جدول (2): الطاقة اللازمة لنزع نيوترون واحد من نظائر الرصاص المختلفة.

النظير	N	الطاقة(مليون إلكترون فولت)
Pb^{205}_{82}	123	6.64
Pb^{206}_{82}	124	8.16
Pb^{207}_{82}	125	6.73
Pb^{208}_{82}	126	7.38
Pb^{209}_{82}	127	3.87
Pb^{210}_{82}	128	5.23
Pb^{211}_{82}	129	3.77

طاقة الربط للنواة

تتعرض البروتونات الموجبة الشحنة داخل النواة إلى قوى تنافر تتناسب عكسيا مع مربع المسافة بين هذه البروتونات. وبما أن المسافة بين البروتونات صغيرة جدا فإنه من المتوقع أن تتحرر من النواة وبالتالي تتفكك النواة ولكن هذا لا يحدث. وعدم حدوثه يعني أن هناك قوة أخرى جاذبة أقوى من قوة التنافر المذكورة وتعرف بالقوة النووية التي تؤثر على مكونات النواة(النيوكلونات).

ولقد تبين من دراسة تركيب النواة والتفاعلات النووية وقياس الأوزان الذرية بإستخدام مطياف الكتلة أن الأوزان الذرية للعناصر أقل من مجموع أوزان مكونات النواة.

ΔM = Mass Deffect = النقص في الوزن

ΔM = Z Proton Mass + (A–Z) Neutron Mass + Z Electron Mass – MA_2

حيث أن MA_2 هو الوزن الحقيقي للذرة.

Z Proton Mass + Z Electron Mass = Z Hydrogen Mass

وزن البروتون + وزن الإلكترون = وزن ذرة الهيدروجين

إذا:

ΔM_2 = Z Hydrogen Mass + (A–Z) Neutron Mass – MA

وحسب قانون بقاء المادة الذي ينص على: المادة لا تفنى ولا تستحدث من عدم، فإن هذا النقص في الوزن يتحول إلى طاقة وهذه الطاقة تستخدم في ربط الجسيمات الموجودة في النواة بعضها ببعض، وتعرف بطاقة الربط، ولتفكيك النواة إلى مكوناتها نحتاج إلى نفس هذا القدر من الطاقة وهذه تشبه حرارة التكوين في الكيمياء الحرارية.

العلاقة بين الكتلة والطاقة

يستخدم علم الكيمياء النووية وحدة دولية لقياس الطاقة هي وحدة الإلكترون فولت ev ، وترتبط هذه الوحدة بوحدة الطاقة النظامية الجول بالعلاقة الآتية:

$$1Joule = 1.6x10^{-19}ev$$

مقدار الطاقة هذا صغير جدا لذلك غالبا ما تستخدم مضاعفات هذه الوحدة وهي:

كيلو إلكترون فولت (Kev) = 10^3 إلكترون فولت.

ميجا (مليون) إلكترون فولت (Mev) = 10^6 إلكترون فولت.

جيجا (بليون) إلكترون فولت (Gev) = 19^9 إلكترون فولت.

في عام 1904م توصل أينشتاين Einstein إلى علاقة تربط الطاقة والكتلة وإستنتج فيها أن كتلة الجسيم في الواقع هي مقياس لما يحتويه من طاقة. فإذا فقد الجسم بعضا من طاقته نقصت كتلته بكمية تتناسب مع هذا النقص تبعا للمعادلة:

$$E = -m \times C^2$$

هذه العلاقة تنطبق على جميع أنواع الطاقة وليس على طاقة الحركة فقط، مما يعني أننا نستطيع أن نستخدمها لحساب الطاقة المتولدة في التفاعلات النووية، حيث لوحظ أن أي تفاعل تحلل نووي يكون مصحوبا بنقص في كتلة الأنوية الأم مقارنة بكتل الأنوية الوليدة، وهذا ما يجعل العلاقة السابقة كالآتي:

$$\Delta E = \Delta m C^2$$

حيث أن Δm هي التغير في الكتلة الساكنة، C هي سرعة الضوء و ΔE هي كمية الطاقة النطلقة بعد حدوث التحلل. ولما كانت سرعة الضوء كبيرة وتساوي 103×10^{10} سم/ ثانية فإن مقدارا ضئيلا من المادة يتحول إلى قدر هائل من الطاقة.

حيث أوضح أينشتاين في نظريته أن كتلة الجسم تتغير بتغير سرعته وعندما تصل سرعة الجسم إلى سرعة الضوء فإن الكتلة يجب أن تؤول إلى الصفر.

ويمكن حساب الطاقة المصاحبة لوحدة الكتلة في الذرة والتي تساوي 101.66×10^{-24} جم بأنها تساوي = $(101.6 \times 10^{-12}) / ((103 \times 10^{10}) (1.66 \times 10 \times 10^{-24})) = 931$ مليون إلكترون فولت (Mev) .

نلاحظ أن الطاقة المنطلقة (المكافئة) لتغير صغير في الكتلة تكون كبيرة جدا ولا يمكن قياسها بأي نوع من الموازين، لذلك تهمل معادلة آينشتاين في التفاعلات الكيميائية ولكن تتضح أهميتها في الكيمياء النووية.

وتقاس أوزان الذرات أو النوى منسوبة إلى وزن نظير الكربون 12، حيث تعتبر كتلة هذا النظير مساوية 12.000 وحدة كتلة ذرية، وهي تكافئ 101.66×10^{-24} جم. ومن المتبع في التفاعلات النووية إستخدام وحدات الإلكترون فولت (ev) أو المليون إلكترون فولت (Mev) كوحدات لقياس الطاقة وتحسب الطاقة لكل ذرة بدلا من المول في التفاعلات الكيميائية.

ويعرف الإلكترون فولت بأنه كمية الطاقة التي يكتسبها الإلكترون إذا تحرك تحت تأثير فرق جهد يساوي 1 فولت، وحيث أن شحنة الإلكترون = 104.8029×10^{-10} وحدة كهروستاتيكية وأن الفولت = 300/1 وحدة كهروستاتيكية.

إذا الإلكترون فولت = 10^6 مليون إلكترون فولت.

ويمكن حساب متوسط طاقة الربط لكل نيوكلون للعناصر المختلفة وإستخدامها كمقياس متناسب لمدى الإستقرار النووي.

متوسط طاقة الربط لكل نيوكلون = طاقة الربط الكلية/العدد الوزني $\Delta E / A$