الكيمياء النووية والإشعاعية

Nuclear and Radiation Chemistry

١,١.المقدمة

الكيمياء النووية Nuclear Chemistry هو أحد فروع الكيمياء الذي تتعامل مع الفعالية الإشعاعية radioactivity، والعمليات النووية والخواص النووية.

وتعرف الكيمياء النووية بأنها التفاعلات التي تحدث نتيجة تغير في أنوية الذرات. ويهتم علم الكيمياء النووية بدراسة تركيب النواة وطبيعة الجسيمات الأساسية المكونة لها، وكيف يؤثر هذا التركيب على ثباتها، وبالتالي فهو العلم الذي يهتم بدراسة الظواهر التي تؤدي إلى تغير تركيب النواة سواء بعمليات الإشعاع الطبيعية .. أو بعمليات التغير الصناعية.. وقد أفادت أحدث النظريات في مجال الكيمياء النووية أن للنواة تركيب مكون من أغلفة طاقة بشكل يشبه التركيب الإلكتروني للذرة، وقد تم الاستدلال على هذه الحقائق من دراسة الظواهر المرتبطة بالإشعاع النووي.

وتعتبر تغيرات الطاقة التي تصاحب التغيرات النووية كبيرة جدا إذا ما قورنت بتغيرات الطاقة التي تصاحب التفاعلات الكيميائية، وهيأكبر منها بما يقرب من ملايين المرات، وذلك لأن القوى النووية التي تجمع الجسيمات المكونة للنواة أكبر بكثير من القوى الكيميائية التي تكون الروابط في الجزيئات والمواد.

أما علم الكيمياء الإشعاعية فهو يعتبر أحد أهم التطبيقات التقنية لدراسة المواد المشعة، وما يمكن أن تحدثه من تغيرات كيمائية، والفرق الجوهري بين العمليات الكيميائية العادية وتلك التي تحدث بتأثير الإشعاعات النووية هو اننا ي الحالة الأخيرة أن تتبع أي تغير يحدث بالقياسات الخاصة بعمليات قياس الإشعاع.

٢,١. اكتشاف ظاهرة الإشعاع النووي والمواد المشعة

بعد أن قدم راذرفورد تجربته الشهيرة لدراسة تأثير دقائق ألفا على صفائح المعادن، كان من أهم الاستنتاجات التي وضعها هي: أن الجسيمات موجبة الشحنة تتجمع في جزء صغير من الذرة وهو النواة، وفيها أيضا تتجمع كتلة الذرة أي أن تجربته وضعت التصور الأول للنموذج النووي لتركيب الذرة، حيث كانت هذه التجربة خطوة مهمة في تطوير هذا العلم.

اكتشف العالم الفرنسي هنري بيكريل H. Becquerel عام ١٨٩٥م أن أملاح اليورانيوم تبعث غشعاعات تؤثر على الألواح الفوتوغرافية المغلفة، وقد ظن في البداية أنها هي نفسها الإشعاعات التي اكتشفها العالم الألماني روتنجن Rotingenوالتي سميت الشعة السينية x-rays ولكنه لاحظ أن الإشعاعات التي تنطلق من أملاح اليورانيوم ذات قدرة عالية على الاختراق (

تفوق قدرة الأشعة السينية) وأن هذه الظاهرة تحدث تلقائيا دون وجود مثير أو مستحث (مؤثر) خارجي مثل: (ضوء الشمس مثلا)، كما أكد أن اشعاعات مشابهة تصدر من جميع املاح اليورانيوم بغض النظر عن التركيب الكيميائي للملح وأن مركبات الثوريوم تعطي ظاهرة مشابهة.

وفي عام ١٨٨٩م بدأ الزوجان بيير وماري كوري Pierre and Marie Curie أبحاثهما في هذا المجال، والتي مبنية على أساس ملاحظة أن بعض الخامات الطبيعية لليورانيوم (مثل البتشبلند) لها خواص إشعاعية أقوى من اليورانيوم النقي نفسه. وقد استنتجا من هذه الحقيقة أن هذه الخامات ربما تحتوي على عناصر أخرى غير اليورانيوم لها خاصية الإشعاع. حيث عملا جهود مضنية لإستخلاص الكمبات الضئيلة الموجودة في خام البتشبلند من عنصري البولونيوم $_{84}Po$ والراديوم $_{88}Ra$ وهما عنصران ذوي قدرة كبيرة على الإشعاع تفوق قدرة اليورانيوم، ومن هنا كانت الخاصية إشعاعية القوية للبتشبلند وهي خامة سوداء اللون تحتوي على أكسيد اليورانيوم U_3O_8 بنسبة ٧٥%.

وكان من أهم أعمال ماري كوري فصلها لمقدار ١٠٠ ملليجرام من كلوريد الراديوم بصورة نقية (حسب أحدث ما توصلت إليه القياسات الطيفية في ذلك الوقت)، وعينت الوزن الذري له بقيمة ٢٢٦,٥ (بفارق ٠,٢ عن القيمة المعينة في الوقت الحاضر) كما أستطاعت أن تحضر أول عينة نقية من فلز الراديوم من التحليل الكهربي لمصهور ملحه.

وفي الأعوام التي تلت عام ١٩٠٩م، قدم راذرفورد E. Rutherford مساهمات مهمة في هذا المجال حين استخدم الطرق الطيفية لتعيين طبيعة الجسيمات ألفا وأكد أنها عبارة عن أنبوبة الهيليوم وأن جسيمات بيتا تتصرف على نحو مماثل لجسيمات أشعة المهبط التي عرفها طومسون Tohmson بأنها عبارة عن إلكترونات أو جسيمات تحمل شحنة سالبة في الذرات، والتي تتشابه في طبيعتها في جميع الذ رات.

وبين العامين ١٩١١م و ١٩١٣م قدم العلمان فاجان وسودي K.Fajan and F. Soody أوراقهما البحثية الخاصة بدراسة عمليات الإنحلال الإشعاعي لعنصري اليورانيوم والثوريوم حيث أوضحا فيها أن عملية الانحلال تتضمن تحولا في النواة يؤدي إلى تكوين عنصر جديد من العنصر المنحل. وأن الانحلال بفقد جسيمات ألفا يؤدي إلى تناقص في العدد الذري بمقدار وحدتين، بينما يؤدي انحلال بيتا إلى زيادة في العدد الذري بمقدار وحدة واحدة.

وقد شهد العام ١٩٣٢م حدثا مهما تمثل في اكتشاف جادويك J. Chadwick لوجود النيوترون الذي انطلق من نواة البريليوم بعد قذفها بجسيمات ألفا ذات الطاقة العالية جدا، في تفاعل من النوع:

$$^{9}Be(\alpha,n)^{12}C$$

وكان لاكتشاف النيترون دور هام في تطوير امكانيات اجراء تفاعلات نووية عديدة، لأنه جسيم غير مشحون وهو قادر على اختراق النواة دون الحاجة لاكسابه طاقة عالية، وقد ساهمت هذه التفاعلات النووية في فهم الكثير عن طبيعة التركيب النووي.

وفي العام ١٩٣٤م 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.

١,٣. الإشعاع

تعريفه:

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

أنواعه:

ينقسم الإشعاع إلى نوعين إثنين:

١- الإشعاع الجسيمي

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

٢- الإشعاع الموجي

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

١,٤. الإشعاع النووي

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

وهناك **ثلاثة أنواع للإنحلال الإشعاعي** (الإشعاع النووي) هي:

أ.أشعة ألفا Alpha ray α

من خصائص أشعة ألفا ما يلي:

* **أشعة ألفا** عبارة عن نواة ذرة الهيليوم كتلتها تساوي ٤ وحدة كتلة ذرية (a.m.u.) وهي تحتوي على ٢ بروتون و ٢ نيوترون وتحمل شحنة تساوي +٢ .

* تسير ببطء (سرعتها تساوي عشر(١٠/١) 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 ٣-٥ سم).

* يمكن إيقاف أشعة ألفا بواسطة ورقة أو رقائق الومينيوم سمكها ١٠٠٠/١ 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 ٤-٩ مليون إلكترون فولت وذلك لأن دقائق ألفا الصادرة من العنصر الواحد لها نفس الطاقة.

ب. أشعة بيتا β Beta ray

من خصائصها ما يلي:

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

* تسيربسرعة 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 (1/1838 a.m.u.) من ذرة الهيدروجين وشحنتها تساوي الوحدة.

ج. أشعة جاما γ Gamma ray

من خصائصها ما يلي:

*هي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ذات أصل نووي تشبه أشعة الضوء المرئي وموجات الراديو والأشعة السينية.

* طولها الموجي قصير جدا يتراوح (من ٠,٠٠٠٣ إلى ٠,٠٣ 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 ^{60}Co

حيث يعطي نوعين من أشعة (طاقة) جاما γ وهي ذات الطاقة ١,٣٣٢ و ١,١٧٣ 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 I_o 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):

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

وبما أن عدد الفوتونات يمثل النشاط الإشعاعي A فإن:

$$A = A_o e^{-\mu x}$$

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:

$$\ln I/I_o = -\mu x$$

$$\ln (I_o/2)/I_o = -\mu x_{1/2} = \ln (1/2)$$

$$X_{1/2} = \ln 2/\mu = 0.693/\mu$$

١,٥. 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.

يوجد نوعان من العناصر المشعة:

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

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

وتنقسم العناصر المشعة الطبيعية إلى قسمين تبعا لمصدرهما إلى:

١-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: ^{3}H, ^{14}C, ^{7}Be, ^{22}Na,^{32}P, ^{35}S ومعظمها من العناصر الخفيفة، وتنتشر هذه العناصر على سطح الأرض. **ومن الأمثلة على هذه التفاعلات:**

$$^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{2}_{1}H + \beta^{+} + \gamma$$

$$^{2}_{1}H + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{3}_{2}He + \gamma$$

$$^{3}_{2}He + {}^{3}_{2}He \longrightarrow {}^{4}_{2}He + 2\ {}^{1}_{1}H$$

$$^{4}_{2}He + {}^{3}_{2}He \longrightarrow {}^{6}_{4}Li + n$$

$$^{6}_{4}Li + {}^{1}_{1}H \longrightarrow {}^{7}_{5}Be + \gamma$$

$$^{7}_{5}Be + e^{-} \longrightarrow {}^{7}_{4}Li + \gamma$$

$$3\ {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{12}_{6}C + \gamma$$

$$^{12}_{6}C + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{16}_{8}O + \gamma$$

$$^{16}_{8}O \quad + \quad ^{4}_{2}He \longrightarrow \quad ^{20}_{10}Ne \quad + \quad \gamma$$

$$^{20}_{10}Ne \quad + \quad ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{24}_{12}Mg \quad + \quad \gamma$$

$$^{24}_{12}Mg \quad + \quad ^{4}_{2}He \longrightarrow ^{28}_{14}Si \quad + \quad \gamma$$

من التفاعلات السابقة نستنتج أن العناصر الخفيفة ذات الوزن الذري يقبل القسمة على أربعة تكون متوفرة في الطبيعة

٢-عناصر مشعة طبيعية أرضية:

توجد هذه العناصر في القشرة الأرضية وتشمل كل المواد التي تحمل عدد ذري أكبر من ٨٣، وتنتمي هذه المواد إلى السلاسل طويلة العمر ومن أهم هذه السلاسل سلسلة اليورانيوم ٢٣٨ وسلسلة الثوريوم ٢٣٢، بالإضافة إلى البوتاسيوم ٤٠ الذي يوجد في القشرة الأرضيةبنسبة ٠,٠١١٧% من البوتاسيوم المستقر ^{39}K .

أ- سلسلة اليورانيوم ٢٣٨ :

$$^{238}_{92}U \xrightarrow{\alpha} ^{234}_{90}Th \xrightarrow{\beta} ^{234}_{91}Pa \xrightarrow{\beta} ^{234}_{92}U \xrightarrow{\alpha} ^{230}_{90}Th$$

4.468109y 24.1d 6.75h $2.45x10^5$y

$$^{230}_{90}Th \xrightarrow{\alpha} ^{226}_{88}Ra \xrightarrow{\alpha} ^{222}_{86}Rn \xrightarrow{\alpha} ^{218}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} ^{214}_{82}Pb$$

$1.6x10^3$ d 2.8235 d 3.05 m

$8x10^4$ y $1.6x10^3$ y

$$^{214}_{82}Pb \xrightarrow{\beta} ^{214}_{83}Bi \xrightarrow{\beta} ^{214}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} ^{210}_{82}Pb \xrightarrow{\beta}$$

26.8 m 19.7 m 164 Ms 22.3 y

$$^{210}_{83}Bi \xrightarrow{\beta} ^{210}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} ^{206}_{82}Pb$$

5.01 d 138.38 d

وتبدأ هذه السلسلة بعنصر اليورانيوم ٢٣٨ وتنتهي بعنصر الرصاص ٢٠٦ الثابت ويتخللها غاز الرادون $^{222}_{86}Rn$.

ب- سلسلة الثوريوم ٢٣٢:

$$^{232}_{90}Th \xrightarrow[1.41x10^{10}\ y]{\alpha} {}^{228}_{88}Ra \xrightarrow[5.76\ y]{\beta} {}^{228}_{89}Ac \xrightarrow[6.13\ h]{\beta} {}^{228}_{90}Th \xrightarrow[1.931\ y]{\alpha} {}^{224}_{88}Ra$$

$$^{224}_{88}Ra \xrightarrow[3.66\ d]{\alpha} {}^{220}_{86}Rn \xrightarrow[55.6\ s]{\alpha} {}^{216}_{84}Po \xrightarrow[0.15\ s]{\alpha} {}^{212}_{82}Pb \xrightarrow[10.64\ h]{\beta} {}^{212}_{83}Bi$$

$$^{212}_{83}Bi \xrightarrow[25m]{\beta} {}^{212}_{84}Po \xrightarrow[45s]{\alpha} {}^{208}_{82}Pb$$

وتبدأ هذه السلسلة بالثوريوم ٢٣٢ وتنتهي بالرصاص ٢٠٨ ، ويتخللها غاز الرادون ٢٢٠ ويسمى في هذه السلسلة بغاز الثورون للتفرقة بينه وبين غاز الرادون في سلسلة اليورانيوم.

ج- سلسلة البوتاسيوم ٤٠ :

$$^{40}_{18}Ar \xrightarrow[E.C.]{\beta} {}^{40}_{19}K \xrightarrow[1.28x10^{9}\ y]{\beta} {}^{40}_{20}Ca$$

وحيث أن جسم الإنسان يحتوي على نسبة كبيرة من البوتاسيوم المستقر ^{39}K تساوي تقريبا ٢,٥ كجم فإن عنصر ^{40}K يوجد في جسم الإنسان والحيوان والنبات، وله أهمية كبيرة في تشغيل بعض أجهزة جسم الإنسان مثل القلب، فيعتبر ^{40}K 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:**

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

الجاليوم-٦٧ ، الثاليوم-٢٠١ ، اليود-١٢٣ ، الإنديوم-١١١ ، الروبيديوم-٨١ ، النيتروجين-١٥ ، الفلور-١٨ ، السيزيوم-١٣٤ .
ومن أمثلة العناصر التي تستخدم في الصناعة:
لمعرفة المستوى ^{134}Cs , ^{60}Co وفي التصوير ^{124}Sb ، وفي أبحاث الأدوية ^{14}C , ^{3}H وفي إختبار اللحامات(الإختبارات اللا إتلافية) ^{192}Ir .

٦,١. خواص العناصر المشعة

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

الذرة والنواة The Atom and Nucleus

الذرة هي الوحدة الساسية 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.

من المفيد تحديد المفاهيم الأولية الآتية في التركيب الذري والنووي:

البروتونات The Proton:

البروتون عبارة عن جسيم صغير تبلغ كتلته $1.67x10^{-24}$ جم وهو أكبر من الإلكترون بحوالي ١٨٣٩ 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(Z) The Atomic Number : 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.

النظائر Isotopes: هي أشكال مختلفة من ذرات العنصر نفسه يكون لها نفس العدد من البروتونات (العدد الذري) ولكنها تختلف في عدد (عدد النيوترونات). ومن أمثلتها:

نظائر الهيدروجين وهي : $^{1}_{1}H$, $^{2}_{1}H$, $^{3}_{1}H$,

نظائر الصوديوم وهي : $^{22}_{11}Na$, $^{23}_{11}Na$, $^{24}_{11}Na$

نظائر الكلور وهي : $^{34}_{17}Cl$, $^{35}_{17}Cl$, $^{36}_{17}Cl$, $^{37}_{17}Cl$, $^{38}_{17}Cl$

نظائر اليورانيوم وهي : $^{233}_{92}U$, $^{234}_{92}U$, $^{235}_{92}U$, $^{238}_{92}U$,

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 كما يلي:

$$^{A}_{Z}X$$

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. ومن أمثلتها:

$^{40}_{19}K$, $^{40}_{20}Ca$ وكذلك $^{14}_{7}N$, $^{14}_{6}C$

ويطلق اسم أنوية المرآة على زوج الأيزوبارات التي تختلف في قيم N و Z بمقدار الوحدة كما في الأمثلة الآتية:

$^{23}_{12}Mg_{11}$, $^{23}_{11}Na_{12}$ وكذلك $^{13}_{6}C_{7}$, $^{13}_{7}N_{6}$

الأيزوتونات Isotones : وهي عناصر مختلفة لها نفس عدد النيترونات. ومن أمثلتها:

$^{83}_{38}Sr_{٤٥}$, $^{85}_{40}Zr_{45}$ وكذلك $^{23}_{11}Na_{12}$, $^{24}_{12}Mg_{12}$

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

$^{60m}_{27}Co_{33}$, $^{60}_{27}Co$

وحدة الكتلة الذرية Atomic Mass Unit (a.m.u.):

تستخدم لقياس كتل الأنوية وتساوي كتلة ذرة الهيدروجين، وهي تساوي ١٢/١ من كتلة ذرة الكربون.

بما أن الوزن الذري للهيدروجين يساوي واحد وبما أن الوزن الذري للعنصر يحتوي على عدد أفوجادرو من الذرات إذا:

1 gram contain $6.203x10^{23}$ atom

إذا وزن ذرة الهيدروجين = $1/6.203x10^{23}$

$= 1.661x10^{-24}$ g = a.m.u.

وحدة الطاقة الذرية Electron Volt (ev): وهي تستخدم لقياس الطاقة.

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

Kilo ev (Kev) = 10^3 ev = $1.6x10^{-16}$ Joul

Million ev (Mev) = 10^6 ev = $1.6x10^{-13}$ Joul

وحيث أن الطاقة = الوزن x سرعة الضوء أي : $E = m \times C^2$

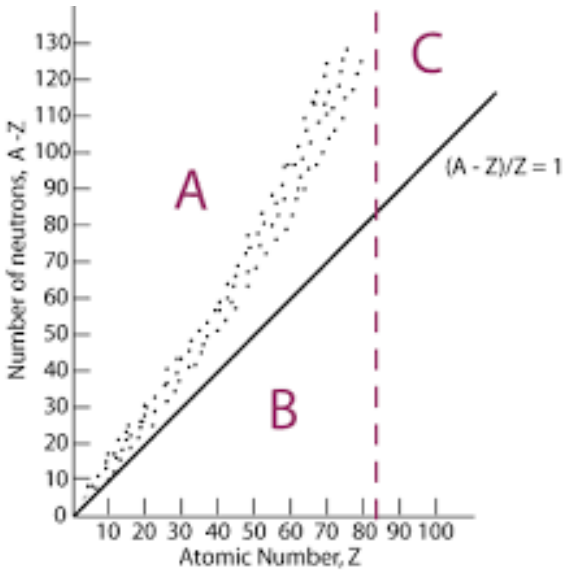
1 a.m.u. = 931 Mev

Ev = $1.6x10^{-19}$ Joul = $1.6x10^{-12}$ erg.

E = m ($1.6x10^{-21}$ kg.) x $(3x10^8)^2$ m/sec. = $15.03x10^5$ erg.

١,٢. 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 (١) الذي يوضح العلاقة بين عدد النيوترونات وعدد البروتونات لعدد من النظائر.



شكل (٢-١): حزام الثبات الذي يوضح العلاقة بين عدد النيوترونات والبروتونات.

نلاحظ أن الإنحراف عن نسبة ١:١ يصبح واضحا عند عدد ذري من ٢٠- ٢٥ 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 تقلل من N وتزيد من قيمة Z ، 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:

١- الأنوية التي لها **Z = 20** هنا تكون النسبة N/Z للأنوية المستقرة مساوية للقيمة ١ أو 1.1 .

٢- 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.

٣-الأنوية التي لها **Z > 83** هنا تزداد قوى التنافر الكولومية بين البروتونات بحيث يستحيل الحصول على أنوية ثابتة للعناصر ذات العدد الأكبر من ٨٣ .

. 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.

$$\Delta M = \text{Mass Defect} = \text{النقص في الوزن}$$

$$\Delta M = Z \text{ Proton Mass} + (A\text{-}Z) \text{ Neutron Mass} + Z \text{ Electron Mass} - MA_2$$

حيث أن MA_2 هو الوزن الحقيقي للذرة.

$$Z \text{ Proton Mass} + Z \text{ Electron Mass} = Z \text{ Hydrogen Mass}$$

$$\text{وزن البروتون} + \text{وزن الإلكترون} = \text{وزن ذرة الهيدروجين}$$

إذا:

$$\Delta M = Z \text{ Hydrogen Mass} + (A\text{-}Z) \text{ Neutron Mass} - MA_2$$

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.

٣,٢. 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:

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

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

- كيلو إلكترون فولت (Kev) = ١٠^{٣} إلكترون فولت.
- ميجا (مليون) إلكترون فولت (Mev) = ١٠^{٦} إلكترون فولت.
- جيجا (بليون) إلكترون فولت (Gev) = ١٩^{٩} إلكترون فولت.

في عام ١٩٠٤ م 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:

$$\mathbf{E = m\ x\ C^2}$$

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:

$$\mathbf{\Delta E = \Delta m_o\ C^2}$$

حيث أن Δm_o هي التغير في الكتلة الساكنة، C هي سرعة الضوء و ΔE هي كمية الطاقة النطلقة بعد حدوث التحلل . ولما كانت سرعة الضوء كبيرة وتساوي $3x10^{10}$ سم/ ثانية فإن مقدارا ضئيلا من المادة يتحول إلى قدر هائل من الطاقة.

حيث أوضح أينشتاين في النظرية النسبية 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 $1.66x10^{-24}$ جم بأنها تساوي =

$(1.6x10^{-12}) / ((3x10^{10}) \times (1.66x10^{-24}))$ = ٩٣١ مليون إلكترون فولت (Mev) .

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

وتقاس أوزان الذرات أو النوى منسوبة إلى وزن نظير الكربون ١٢ ، حيث تعتبر كتلة هذا النظير مساوية ١٢,٠٠٠ وحدة كتلة ذرية، وهي تكافئ $1.66x10^{-24}$ 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.

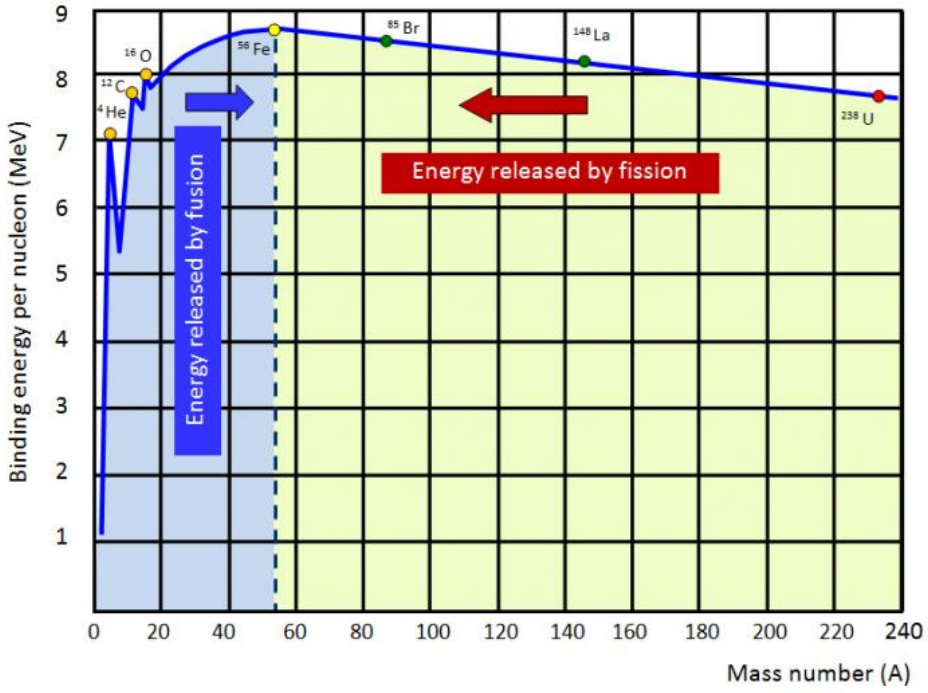
ويعرف الإلكترون فولت بأنه كمية الطاقة التي يكتسبها الإلكترون إذا تحرك تحت تأثير فرق جهد يساوي ١ فولت وحيث أن شحنة الإلكترون = $4.8029x10^{-10}$ وحدة كهروستاتيكية وأن الفولت = 1/300 وحدة كهروستاتيكية.

إذا الإلكترون فولت = ١٠^{٦} مليون إلكترون فولت.

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

متوسط طاقة الربط لكل نيوكلون = طاقة الربط الكلية / العدد الوزني ΔE / A

ويوضح الشكل (٢) العلاقة بين طاقة الربط لكل نيوكلون والعدد الوزني للعناصر المختلفة. حيث يوضح المنحنى أن طاقة الربط للنواة الخفيفة ^{2}H صغيرة جدا وهذا يدل على عدم إستقرار هذه الأنوية. وتزداد قيمة ΔE/A إلى أن تصل قيمة عالية حوالي ٨,٨ مليون إلكترون فولت عند النويدات ذات وزن ذري ٥٠ وبعدها تقل قيمة طاقة الربط كلما زاد الوزن الذري لتصل إلى ٧,٦ لليورانيوم (نواة غير مستقرة).



شكل (٢-٢): منحنى طاقة الربط لكل نيوكليون للأنوية المستقرة كدالة لعدد الكتلة A.

ومن المنحنى نجد أيضا أن طاقة الربط للأنوية التالية: ^{4}He, ^{12}C, ^{16}O أعلى من العناصر التي تجاورها وذلك لأنها أنوية مستقرة. وعلى ذلك فإن طاقة الربط لكل نيوكلون تعطي معلومات عن درجة ثبات النواة.

ويستنتج من ذلك أنه لو دمجت نواتا ذرتين خفيفتين فإن النواة الناتجة تكون أكثر إستقرارا إلا أنه يفقد مقدار من الكتلة (نتيجة لعملية الدمج هذه) رغم أن

لنواة الجديدة تشمل مجموع محتويات النواتين، ويتحول المقدار المفقود من الكتلة إلى طاقة منتشرة وهذا ما يحدث في عملية الإندماج النووي Nuclear Fusion مثل:

$$^{7}_{3}Li + {}^{1}_{1}H \longrightarrow 2\ {}^{4}_{2}He + Energy$$

$$^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \longrightarrow {}^{4}_{2}He + P + 18.35\ Mev$$

كذلك يصحب إنشطار نواة ذات كتلة كبيرة إلى نواتين أو أكثر وتسمى هذه العملية بالإنشطار النووي Nuclear Fission .

القوى بين النويات

ان صغر حجم النواة وثباتها يدلان على ان القوى النووية قوى قصيرة جدا

وهناك اربعة انواع من القوى وهي:-

١-القوى البروتونية –بروتونية P-P

٢- القوى النيوترونية –نيوترونية N-N

٣-القوى نيوترونية –بروتونية N-P

٤- القوى البروتونية –نيوترونية P-N

نظرية الميزون

ان النواة في اي ذرة تحتوي بروتونات بشحنة موجبة لذلك يحدث تنافر في داخل النواة والتفسير العلمي لهذا التنافر وضع من قبل العالم الالماني يوكا عام ١٩٣٢اذ استنتج انه داخل النواة يحدث تحول مستمر بين البروتونات والنيوترونات Pو N خلال جسيمات يطلق عليها بالميزون

وهناك ثلاثة انواع من الميزونات

- π^0 الميزون المتعادل ينتقل بين جسيمات متشابه مثل بين

P-P P ⟶ π^0 ⟶ P P-P

N-N N π0 N N-N

- π+ يحصل تجاذب بين بروتون ونيوترون
- π- يحصل تجاذب بين نيوترون وبروتون

الجسيمات الاولية

A-جسيمات الحاله المستقرة

١-الالكترونات e^-

١-كتلتها ١/١٨٣٧من كتلة الهيدروجين

٢-شحنة الالكترون السالبة تبلغ٤٨*١٠$^{-١٠}$وحدة كتلة ذرية

٣-تسير الالكترونات بسرعة مقاربة لسرعة الضوء وتنطلق بخطوط مستقيمة من المصدر

٤- كتلة الالكترون في حالة السكون تبلغ 0.0005486 amu .

٢-البروتونات p^+

١-دقائق مشحونه بشحنة موجبة وهي اثقل من الالكترونات بلالاف المرات كتلتها تساوي

1.0078amu

٢- شحنة البروتون تساوي شحنة الالكترون وعكسها بالاشارة

٣-ضديد البروتون p^-

تشبه البروتونات في كثير من صفات ولكن تكون اشاراتها سالبة غير مستقر له عمر نصف قصير جدا سرعان ما يتحدمع البروتون مكونه اشعه كهرومغناطيسية ذات طاقه عالية

٤-النيوترونات n

١-دقائق متعادلة الشحنه كتلتها مقاربة لكتلة البروتونات

٢-قدرتها الاختراقية عالية تمتص من قبل النواة في بعض الاحيان تخترق النواة دون ان تترك اثر

٥- النيوترونو Neutrino

١- دقائق متعادلة الشحنة
٢- كتلتها متقاربة الى كتلة البروتون
٣- دقائق صغيرة جدا يحصل عليها من التحلل الاشعاعي لبعض النظائر المشعة الاصطناعية
٤- متعادلة الشحنة وهي مسوؤلة عن تحولات الكتله والطاقه.

$$_{1}P^{1} \qquad _{0}n^{1}+_{-1}e^{0} + \qquad +ENERGY$$

٦-ضديد النيوترونو

١-شبيه النيوترونوويختلف عنه في بعض الصفات الاشعاعية

٢-اثناء التحلل يعطي طاقة عالية

$$_{0}n^{1} \qquad _{1}P^{1}+_{+1}e^{0} + \quad +ENERGY$$

٧-الفوتونات

اشعة تسلك سلوك دقائق وسلوك موجي ،عنداصطدام الفوتون بالاجسام يختفي يختفي تماما مكونا المزدوج الالكتروني النيكاترون والبوزترون وهذا المزدوج يختلف من حيث الطاقة وليس الشحنه والفوتون يمتلك كتله وليس له شحنه كهربائية او برم ويتفاعل بسرعة مع الاجسام .

B –الاشعة المؤينة

وتشمل

١- دقائق الفا
٢- اشعة بيتا
٣- اشعة كاما

النشاط الإشعاعي Radioactivity

يتميز العديد من النظائر سواء الطبيعية أو الصناعية بخاصية النشاط الإشعاعي، وهي عبارة عن تفكك (إضمحلال) نواة النظير تلقائيا إلى نواة أصغر بإصدار جسيمات نووية مثل جسيمات ألفا أو بيتا أو جاما، وتعرف هذه النظائر بالنظائر المشعة تميزا لها عن تلك النظائر المستقرة والتي لا تتعرض للتفكك Decay ولا تعتمد عملية التفكك على أي من الظروف الطبيعية مثل: الحرارة والرطوبة والضغط، كما أنها لا تعتمد أيضا على الظروف الكيميائية مثل: نوع المركب الكيميائي أو حالة النظير صلبة أو سائلة أو غازية.

١-التفكك بواسطة ألفا α-Decay

إن النوى الثقيلة (أثقل من الرصاص) تكون قيمة الترابط للنيوكلون فيها ضعيفة، لذلك فإنها تعتبر غير مستقرة فتلجأ إلى أن تتفكك إلى أنوية أخف وأكثر إستقرارا.

فمثلا: تتفكك نواة اليورانيوم $^{238}_{92}U$ إلى نواة الثوريوم $^{234}_{90}Th$ الأخف وينطلق نتيجة لذلك جسيم ألفا،

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

ومن الخواص المميزة لجسيمات ألفا هو أنها تتميز بطاقات محددة وقد وجد أن جسيمات ألفا الصادرة من نظير معين لها تقريبا نفس الطاقة إذا كان النظير ينتقل من الحالة المثارة Exited State إلى الحالة المستقرة Ground State مباشرة أو تكون جسيمات ألفا الصادرة من نظير معين لها أكثر من طاقة وذلك لإنتقال النظير من الحالة المستقرة إلى حالة غير مستقرة أخرى قبل الوصول لحالة الإستقرار حيث ينبعث فرق الطاقة في صورة أشعة جاما لكي تصل النواة إلى حالة الإستقرار.

وعند إنبعاث جسيمات ألفا يقل العدد الوزني للعنصر بأربعة ويقل العدد الذري إثنين.

وبالنسة لتفكك بيتا إذا كانت النسبة غير ذلك فإن النظير يكون نشط بالنسبة لتفكك بيتا. وينقسم تفكك بيتا إلى ثلاثة أنواع.

أ.التفكك الإلكتروني (النيجاترون) β^- Decay :

إذا قل عدد البروتونات عن عدد النيوترونات فإن هذا يعني أن النواة تحاول أن تصل إلى حالة الإستقرار وذلك عن طريق تحول اليوترون إلى بروتون كالتالي:

$$^{1}_{0}n \qquad {}^{1}_{1}P + {}^{0}_{-1}e$$

ونتيجة لذلك ينطلق إلكترون سالب الشحنة خارج النواة بسرعة تساوي سرعة الضوء وطلق عليه جسيم β أو النيجاترون، وعلى ذلك فإن النواة الوليدة يزداد عددها الذري Z بمقدار واحد عن النواة الأم أما العدد الكتلي فلا يتغير بتغير A .

وتخرج جسيمات بيتا من المادة المشعة بطاقات مختلفة ولكنها مميزة بمقدار معين وهو الطاقة العظمى ويسمى بطاقة إنحلال وهو مميز لكل عنصر. فمثلا في حالة ^{116}In فإن طاقة بيتا العظمى تساوي Beta E_{max} = 2.95 Mev وفي معظم التفكك يصحب جسيمات بيتا أشعة جاما ولكن في حالات قليلة يكون التفكك بواسطة جسيمات بيتا فقط مثل:

Isotpe	^{3}H	^{14}C	^{32}P	^{35}S	^{45}Ca	^{60}Co
E_{max}	0.019	0.155	1.710	0.167	0. 258	0.316

ورغم أن طاقات بيتا للعناصر المختلفة التي تستخدم أقل من طاقات ألفا فنجد أن جسيمات بيتا لها مدى أكبر لتخترق المواد أكثر من جسيمات ألفا وذلك يرجع لصغر وزنها (١٧٥٨/١ من α) .

ب.التفكك البوزيتروني Positron Decay :

إذا قل عدد النيترونات عن عدد البروتونات فإن النواة تحاول أن تستقر عن طريق تحول أحد البروتونات إلى نيوترون وينطلق نتيجة لهذا التحول جسيم موجب الشحنة يعرف بإسم البوزيترون.

$$^{1}_{1}P \longrightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{+1}\beta^{+}$$

وعدد خروج البوزيترون من النواة يفقد طاقته وذلك بإصطدامه بالذرات الأخرى وحينئذ تيحد مع أحد الإلكترونات خارج النواة ويتحول الاثنان إلى أشعة جاما (٢ فوتون متساويين في الطاقة وطاقة كل منهما تساوي 0.511Mev). ويمكن حسابها كالتالي:

$$E = mC^2$$

وزن الإلكترون = 9.1095×10^{-31} Kg

سرعة الضوء = 2.998×10^{8} m/sec

إذا تكون الطاقة المنطلقة = $9.1095 \times 10^{-31} \times (2.998 \times 10^{8})^2 \times 2 = 1.6375 \times 10^{-13}$ J

$= (1.6375 \times 10^{-13})/(1.6022 \times 10^{-19})$

$= 1.022 \times 10^{6}$ ev

= 1.022 Mev

وهذه طاقة ٢ فوتون، وكل فوتون يحمل طاقة قدرها 0.511 Mev وهي أشعة خارقة يمكن قياسها بسهولة .

ج. الأسرالإلكتروني Electron Capture(EC) :

عندما يكون النظير غني بالبروتونات ولكن الطاقة الناتجة عن تحويل بروتون إلى نيوترون أقل من 1.022 Mev فلا يمكن حدوث تفكك بوزيتروني ولكن تأسر النواة أحد الإلكترونات الذرية في المدار الأول ثم يتحد مع أحد البروتونات داخل النواة فيتحول هذا البروتون إلى نيوترون دون إنطلاق أي جسيمات بيتا خارج النواة

$$^{1}_{1}P + {}^{0}_{-1}e \longrightarrow {}^{1}_{0}n$$

وأقرب إلكترون للنواة هو الإلكترون الذي في المدار K ولهذا يطلق عليه الأسر (K- Capture) ، وينزل الإلكترون في المدار الأعلى ليملأ فراغ هذا الإلكترون. وهكذا حتى تصل إلى المدار الأخير. وتخرج أشعة نتيجة لترتيب الإلكترونات في

المدارات هي أشعة إكس (x-ray) . ويمكن الإستدلال على الأسر الإلكتروني في النظائر بواسطة أشعة إكس الناتجة.

٣. التفكك بواسطة أشعة جاما:

رأينا فيما سبق أن إنبعاث جسيمات ألفا أو بيتا يعطي نواة الإبنة في حالة غيؤ مستقرة وعلى هذا فإن النواة تفقد طاقة مساوية لفرق الطاقة بين الحالة المستقرة والحلة غير المستقرة. وهذه الطاقة تفقد على هيئة أشعة ذات طول موجي قصير تسمى أشعة جاما.

ويوجد نوعان من التحلل (التفكك):

١.**التفكك البسيط:** وفيه تشع جسيمات ألفا أو بيتا ذات طاقة واحدة ويصاحبها إنبعاث لأشعة جاما ذات طاقة واحدة أيضا.

٢.**التفكك المركب:** وفيه يشع العنصر أكثر من حسيم بيتا أوألفا ذات طاقات مختلفة وهذا يؤدي إلى أكثر من حالة لعدم الإستقرار للنواة الإبنة وهذا يحتاج إلى إنبعاث أكثر من أشعة جاما بطاقات مختلفة لكي تصل إلى حالة الإستقرار