Unit Two

University of Anbar	**جامعة الانبار**
College of Science	**كلية العلوم**
Department of Chemistry	**قسم الكيمياء**
Second Year	**المرحلة الثانية**
Inorganic Chemistry	**الكيمياء اللاعضوية**

Lec.11 (Unit 2)

الكيمياء النووية والإشعاعية

Nuclear and Radiation Chemistry

مدرس المادة

أ.د. عمر حمد العبيدي

Prof. Dr. Omar Al-Obaidi

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، وهي أكبر 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. يوضح الجدول (١) بعض الأمثلة.

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 أنتتبع 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.

جدول (١): مقارنة بين كمية الطاقة المتحررة من التفاعلات النووية والتفاعلات الكيميائية.

التفاعل	المعادلة	نوعه	كمية الطاقة المتحررة (eV/molecule)
احتراق الكربون	$C_{(s)} + O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)}$	كيميائي	4.1
انفجار مادة TNT[1]	$C_7H_5(NO_2)_3 \rightarrow$ explosion products	كيميائي	9.2
انحلال بيتا لـ Co	$^{60}Co \rightarrow Ni + \beta +$ energy	نووي	$2.5x10^6$
الإنشطار النووي	$^{235}U + {}^1n \rightarrow$ fission products+ energy	نووي	$200x10^6$

[1] ثلاثي نيترو تولوين Trinitro toulwene

اكتشف العالم الفرنسي هنري بيكريل H. Becquerel عام ١٨٩٥م أن أملاح اليورانيوم تبعث اشعاعات تؤثر على الألواح الفوتوغرافية المغلفة، وقد ظن في البداية أنها هي نفسها الإشعاعات التي اكتشفها العالم الألماني روتنجن Rotingenوالتي سميت الاشعة السينية x-raysولكنه 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 لاستخلاص الكميات 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 الاشعاعية القوية للبتشبلند وهي خامة سوداء اللون تحتوي على أكسيد اليورانيوم U_3O_8 بنسبة ٧٥%.

وكان من أهم أعمال ماري كوري فصلها لمقدار ١٠٠ مللي جرام 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 استطاعت 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 الذرات.

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 لا كسابه طاقة عالية، وقد ساهمت هذه التفاعلات النووية في فهم الكثير عن طبيعة التركيب النووي.

وفي العام ١٩٣٤م أوضحت أيرين كيوري (ابنة 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: 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 Beta ray β

من خصائصها ما يلي:

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

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

ج. أشعة جاما Gamma ray γ

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:

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

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. و**من الأمثلة على هذه التفاعلات:**

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

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

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

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

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

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

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

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

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 الأرضية بنسبة 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** **2.45×10^{5}y**

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

ب- سلسلة الثوريوم ٢٣٢:

$$^{232}_{90}Th \xrightarrow{\alpha} {}^{228}_{88}Ra \xrightarrow{\beta} {}^{228}_{89}Ac \xrightarrow{\beta} {}^{228}_{90}Th \xrightarrow{\alpha} {}^{224}_{88}Ra$$

1.41×10^{10} y **5.76 y** **6.13 h** **1.931 y**

$$^{224}_{88}Ra \xrightarrow{\alpha} {}^{220}_{86}Rn \xrightarrow{\alpha} {}^{216}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} {}^{212}_{82}Pb \xrightarrow{\beta} {}^{212}_{83}Bi$$

3.66 d **55.6 s** **0.15 s** **10.64 h**

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

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 الاساسية 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 :

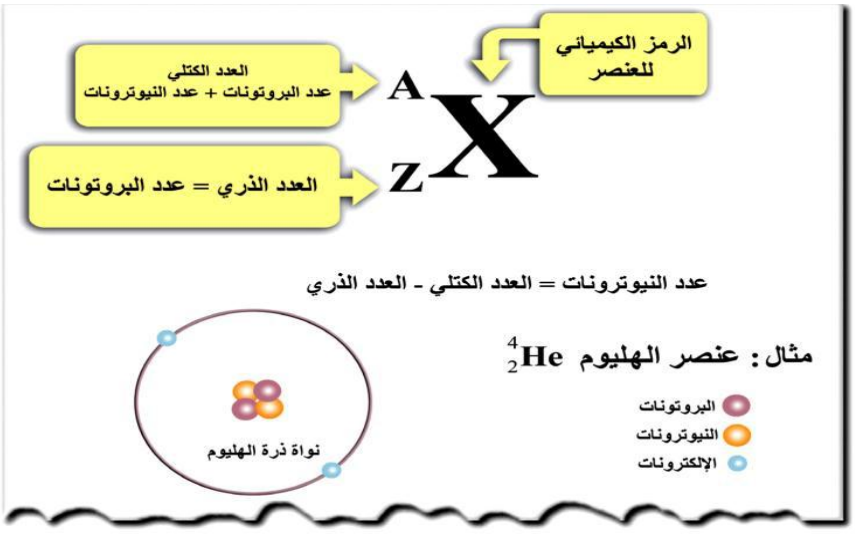
النيوترون عبارة عن جسيم صغير متعادل الشحنة مساوي تقريبا للبروتون في الكتلة وغالبا يعتبر النيوترون عبارة عن إتحاد بروتون وإلكترون.

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.

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:



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

الاصناف النووية Nuclear Species

تتألف النواة في ضوء الفرضية البروتونية – النيوترونية من البروتونات والنيوترونات. وتتميز الاصناف النووية بعضها عن بعضها الاخر بمحتويات نواتها من البروتونات والنيوترونات وبأشكال الانحلال وطاقاته.

وتنقسم الاصناف النووية الى اربعة اصناف هي:

1- النظائر Isotopes: هي أشكال مختلفة من ذرات العنصر نفسه يكون لها نفس العدد من البروتونات (العدد الذري) ولكنها تختلف في اعداد الكتلة (أي تحتوي على اعداد مختلفة من النيوترونات). ومن أمثلتها:

$^{35}_{17}Cl$ يحتوي على 17 بروتونا و 18 نيوترونا بينما يحتوي الصنف $^{37}_{17}Cl$ على 17 بروتونا و 20 نيوترونا

نظائر الهيدروجين وهي : $^{3}_{1}H$ (Tritium) , $^{2}_{1}H$ (Deuterium) , $^{1}_{1}H$

(اكتشاف نظير الهيدروجين الديوتريوم عام 1931 من قبل العالم الأمريكي هارولد أوري والذي استلم جائزة نوبل بالكيمياء عام 1934 على هذا الاكتشاف. **الديوتيريوم** هو الذرة التي تحتوي نواتها على بروتون واحد ونيوترون واحد وتسمى هذه الذرة بالهيدروجين الثقيل)

(ويستخدم التريتيوم في استخراج الطاقة النووية بواسطة الاندماج النووي، كما يحدث في القنبلة الهيدروجينية .ويبلغ وزنه ثلاثة أضعاف وزن الهيدروجين العادي. يرجع أصل الاسم تريتيوم إلى الكلمة اللاتينيةTri ومعناها ثلاثة. ويتحلل التريتيوم عن طريق إصدار أشعة بيتا ويتحول إلى الهيليوم-1 ، ويتحول نصف التريتيوم إلى هيليوم في حوالي 12 عامًا)

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

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

ونظراً لكون النظائر اصناف لعنصر واحد فأن لها نفس الخصائص الكيميائية ولكنها تتباين في صفاتها الفيزيائية. والنظائر اما ان تكون مشعة Radioactive او غير مشعة اي مستقرة Stable .

ان للعناصر التي تتراوح اعدادها الذرية من 1-83 ثلاثة نظائر مستقرة كمعدل. وان لبعض العناصر كالفسفور والبزموث والزرنيخ نظيرا مستقرا واحدا ، ولبعض العناصر كالقصدير مثلا عشرة نظائر مستقرة.

٢- 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:

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

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

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

٤- 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:

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

الجسيمات الأولية

1. جسيم بيتا (β) أو إلكترون $^{0}_{-1}\beta$ ، $^{0}_{-1}e$
2. جسيم ألفا (α) $^{4}_{2}\mathbf{He}$
3. النيوترون $^{1}_{0}\mathbf{n}$
4. البروتون $^{1}_{1}\mathbf{p}$ ، $^{1}_{1}\mathbf{H}$
5. البوزيترون $^{0}_{+1}\beta$ ، $^{0}_{+1}\mathbf{e}$

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

الإنحلال أو النشاط الإشعاعي المركب:

وفيه يوجد أكثر من نويدة مشعة حيث يعمل الكاشف على قياس النشاط الإشعاعي الكلي الصادر من النويدات المشعة.

النشاط الإشعاعي المركب (الإنحلال المختلط):

وهو عبارة عن النشاط الإشعاعي لعينة تحتوي على أكثر من عنصر مشع ليس لها إرتباط وراثي ويعمل الكاشف على قياس كمية من النشاط الإشعاعي لكل نوع حسب المعادلة التالية:

$$A = A_0^1 e^{-\lambda t} + A_0^2 e^{-\lambda t}$$

الإنحلال المتعاقب

في هذا النوع من الإنحلال تنحل النواة الأصل (الأم) إلى النواة الوليدة التي تنحل بدورها إلى نوع ثالث وهي النواة الحفيدة (Grand Daughter) ، ويكون معدل تكوين الذرة الوليدة يساوي محصلة الفرق بين تكوينها ومعدل إنحلالها، أي أن:

$$dN/dt = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

حيث أن N_1 و N_2 هي عدد ذرات الأصل والوليدة و λ_1 و λ_2 ثوابت إنحلالهما على التوالي ويكون حل المعادلة كالتالي:

$$N_2 = \lambda_1/(\lambda_2 - \lambda_1)\ N^0_1\ (e^{-\lambda}\ 1^t - e^{-\lambda}\ 2^t) + N^0_2\ e^{-\lambda}\ 2^t$$

N_2 عدد ذرات الوليدة عند زمن t وبتطبيق هذه المعادلة تعطي ثلاث حالات وهي:

الحالة الأولى: الإتزان العابر Transient Equilibrium

عندما يكون عمر النصف للنواة الوليدة أقل من عمر النصف للنواة الأم أي أن:

$$T_{1/2}\,\text{Parent} > T_{1/2}\,\text{Daughter}$$

$$T_{1/2}\,(1) > T_{1/2}\,(2)$$

إذا معدل إنحلال النواة الأصل إلى معدل إنحلال النواة الوليدة مقدار ثابت أي أن هناك إتزان بين النشاط الإشعاعي للوليد والأصل.

ويسمى هذا الإتزان **بالإتزان العابر** حيث أن النشاط الإشعاعي للوليدة ينمو حتى يفوق النشاط الإشعاعي للوالدة وبعد ذلك يصبح معدل النشاط الإشعاعي للوليدة إلى معدل النشاط الإشعاعي للأصل يساوي مقدار ثابت. ويمكن حساب الزمن اللازم للوليدة ليكون نشاطها الإشعاعي أعلى قيمة λ_{max} من المعادلة:

$$T_{max} = 1/(\lambda_2 - \lambda_1)\ \ln \lambda_2/\lambda_1$$

$$^{140}_{56}Ba \xrightarrow{\beta^-} {}^{140}_{57}La \xrightarrow{\beta^-} {}^{140}_{56}Ce\ (Stable)$$

$$\mathbf{T_{1/2}(1) = 12.8\ day} \qquad \mathbf{T_{1/2}(2) = 40\ hours}$$

$$^{95}Zr \xrightarrow{\beta} {}^{95}Nb \xrightarrow{\beta} {}^{95}Mo\ (stable)$$

$$\mathbf{64d} \qquad \mathbf{515d}$$

$$^{88}Kr \xrightarrow{\beta^-} {}^{88}Rb \xrightarrow{\beta^-} {}^{88}Sr\ (Stable)$$

$$2h \qquad 20min$$

الحالة الثانية: حالة الإتزان المديد Seculer Equilibrium

عندما يكون عمر النصف للوالدة (النواة الأصل) أكبر بكثير من عمر النصف للوليدة أي أن:

$$T_{1/2}\,(1) >>> T_1(2)$$

أي أن النشاط الإشعاعي للوالدة يساوي النشاط الإشعاعي للإبنة وهذا يعني أن الوليدة تتحلل بنفس معدل تكوينها.

ومن أمثلة هذا النظام (الإتزان):

$$^{137}Cs \xrightarrow{\beta^-} {}^{137}Ba \xrightarrow{\gamma} {}^{137}Ba\ (Stable)$$

$$30\ y \qquad 26min$$

$$^{90}_{38}Sr \xrightarrow{\beta^-} {}^{90}_{39}Y \xrightarrow{\beta} {}^{90}_{40}Zr$$

28.1 y 64 h

الحالة الثالثة: اللااتزان Non Equilibrium

عندما يكون عمر النصف للوليدة أكبر من عمر النصف للوالدة (الأصل) في هذه الحالة يزداد نشاط الوليدة إلى قيمة أعلى وتنحل بعدها بثابت إنحلال خاص بها، أما الوالدة فتتفكك بسرعة وتنتهي بعد زمن معين وتبقى الوليدة.

$$T_{1/2}(1) < T_{1/2}(2)$$

$$\text{Ie} \quad \lambda_1 > \lambda_2$$

مثال ذلك:

$$^{218}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} {}^{214}_{92}Pb$$

$$T_{1/2}(1) = 3\ \text{min} \quad , \quad T_{1/2}(2) = 26.8\ \text{min}$$

١.٣. التفاعلات النووية

يتم التفاعل النووي بين نواة العنصر، وتسمى الهدف وجسيم له طاقة حركة يسمى القذيفة هذا الجسيم إما أن يكون ذات شحنة كبيرة مثل البروتون p ، الديوترون d ، جسيم ألفا α . أو أن يكون متعادل مثل النيوترون n وتتحد القذيفة باهدف ليكونا النواة المركبة التي تتفكك لتعطي نواتج التفاعل التي تعتمد على طاقة القذيفة.

النواة المركبة:

ذكر بوهر أن القذيفة تفقد جزءا من الطاقة الحركية أثناء التصادم الأول مع النيوكليونات داخل النواة، وتلتصق بالنواة وتكوننالنواة المركبة وتعمل طاقة الحركة للقذيفة مع كمية الطاقة الناتجة لربط هذه القذيفة داخل النواة على إثارة النواة المركبة التي تتفكك بعد وقت قصير يبلغ حوالي 10^{-14} من الثانية. فعندما يحدث عدد كبير من التصادمات بين النيكليونات يكتسب أحد هذه النيوكليونات طاقة كافية للسماح بالهروب من طاقة الإثارة للنواة المركبة بكمية مساوية لطاقة الربط لهذا النيوكليون. فإذا كانت طاقة الإثارة للنواة المركبة ما زالت عالية (أكبر من طاقة الربط للنيوكليون) فإن نيوكليون آخر يقذف من النواة، أما إذا كانت طاقة الإثارة أصغر من طاقة الربط للنيوكليون فإن الطاقة الزائدة تخرج في صورة أشعة جاما.

٢.٣. أنواع التفاعلات النووية

تختلف التفاعلات النووية بإختلاف القذيفة فإما تكون القذيفة نيوترون أو بروتون أو ديوترون أو جسيم ألفا.

أولا: التفاعلات النووية بالنيوترونات:

هناك نواتج تفاعل مختلفة للتفاعل النووي بالنيوترونات وهذا الإختلاف ناتج عن إختلاف لطاقة النيوترون التي بدأ بها التفاعل.

- **تفاعل نيوترون- جاما Reaction (n,γ)**

يتم هذا التفاعل عندما تكون سرعة النيوترونات منخفضة مثل التفاعل التالي:

$$^{27}Al_{13} + {}^{1}_{0}n \longrightarrow [{}^{28}_{13}Al + \gamma]$$

وفي هذا التفاعل يكون الناتج نظير للعنصر المتفاعل.

- **تفاعل نيوترون- بروتون Reaction (n,p)**

في هذا التفاعل يتحد البروتون بالكترون من الوسط المحيط بالنواة ويتحول البروتون إلى ذرة هيدروجين مثل التفاعل التالي:

$$^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \longrightarrow [{}^{15}_{7}N] \longrightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}H$$

- **تفاعل نيوترون – ألفا Reaction (n,α)**

في هذا التفاعل يجب أن تكون سرعة النيوترون عالية. مثل:

$$^{27}_{13}Al + {}^{1}_{0}n \longrightarrow [{}^{27}_{13}Al]^{+} \longrightarrow {}^{24}_{11}Na + {}^{4}_{2}He$$

- **تفاعل نيوترون- نيوترون Reaction (n,n)**

يتم هذا التفاعل عندما تكون طاقة النيوترون ما بين ١٠٠ كيلو إلكترون فولت إلى بضعة ميكا إلكترون فولت (100 Kev – few Mev) وفي هذا التفاعل تكون طاقة النيوترون الخارج أقل من طاقة النيوترون الداخل (القذيفة) وتترك النواة في حالة إثارة تصل بعدها إلى حالة الإستقرار بإنبعاث أشعة جاما، والنواة الناتجة هي عبارة عن النواة المتفاعلة.

- **تفاعل نيوترون – ٢ نيوترون Reaction (n,2n)**

يحتاج هذا التفاعل نيوترون ذو طاقة عالية تكفي للتغلب على طاقة الربط للنيوترونين ويكون الناتج في هذا التفاعل هو عبارة عن نظير للنواة المتفاعلة ذات وزن ذري أقل من الوزن الذري للمادة المتفاعلة بواحد مثل التفاعل التالي:

$$^{27}_{13}Al + {}^{1}_{0}n\,(fast) \longrightarrow {}^{26}_{13}Al + 2\,{}^{1}_{0}n$$

- **تفاعل النيوترون الذي يؤدي إلى الإنطار النووي Fission Reaction**

هو تفاعل بين نيوترونات سريعة أو بطيئة مع الأنوية الثقيلة $Z > 92$ وينتج عم هذا التفاعل عدد من النيوترونات ونواتين متوسطتين وطاقة هائلة 200 Mev لكل إنشطار وسوف يتم التعرف عليه فيما بعد.

ثانيا: التفاعلات النووية بالبروتونات P- Reactions

تختلف التفاعلات النووية بالبروتونات تبعا لاختلاف الطاقة الحركية للقذيفة (البروتون)، والبروتون عبارة عن نواة ذرة الهيدروجين. ومن تفاعلات البروتون ما يلي:

- **تفاعل بروتون – ألفا Reaction (p-α)**

ينتج عن هذا التفاعل نواة مختلفة ونواة الهيليوم مثل:

$$^{27}_{13}Al + {}^{1}_{1}H \longrightarrow [{}^{28}_{14}Si]^{*} \longrightarrow {}^{24}_{12}Mg + {}^{4}_{2}He$$

$$^{19}_{9}F + 1_1H \longrightarrow [{}^{20}_{10}Ne]^{*} \longrightarrow {}^{16}_{8}O + {}^{4}_{2}He$$

- **تفاعل بروتون – نيوترون Reaction (P,n)**

يكون هذا التفاعل ماص للحؤاؤة دائما Endoergic ويرجع ذلك إلى أن مجموع أوزان المواد الناتجة أكبر من مجموع أوزان المواد المتفاعلة لأن وزن النيوترون أكبر من وزن البروتون مثال ذلك:

$$^{18}_{8}O + ^{1}_{1}H \longrightarrow [^{19}_{9}F] \longrightarrow ^{18}_{9}F + ^{1}_{0}n$$

- **تفاعل بروتون – جاما Reaction (P,γ)**

في هذا التفاعل تخرج أشعة جاما بطاقة عالية كأحد نواتج التفاعل مثل:

$$^{27}_{13}Al + ^{1}_{1}H \longrightarrow [^{10}_{5}B]^{*} \longrightarrow ^{28}_{14}Si + \gamma$$

- **تفاعل بروتون – ديوترون Reactin (P, d)**

في هذا التفاعل يكون الناتج عبارة عن نظير للنواة المتفاعلة مثل:

$$^{9}_{4}Be + ^{11}H \longrightarrow [^{10}_{5}Be]^{*} \longrightarrow ^{8}_{4}Be + ^{2}_{1}H$$

والديوترون هو عبارة عن الهيدروجين الثقيل الذي يحتوي على بروتون ونيوترون.

ثالثا: التفاعلات النووية بالديوترونات d- Reaction

يوجد ثلاثة أنواع من التفاعلات النووية بالديوترونات، ويتم إنتاج الديوترون بواسطة السيكلترون بطاقة عالية تصل إلى عدة ميجا إلكترون فولت ومن هذه التفاعلات ما يلي:

- **تفاعل ديوترون – ألفا Reaction (d,α)**

ويعتبر هذا التفاعل طارد للحرارة Exothermic ومن الأمثلة على هذا التفاعل ما يلي:

$$^{27}_{13}Al + ^{2}_{1}H \longrightarrow [^{29}_{14}Si]^{*} \longrightarrow ^{25}_{12}Mg + ^{4}_{2}He$$

$$^{16}_{8}O + ^{2}_{1}H \longrightarrow [^{18}_{8}F]^{*} \longrightarrow ^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He$$

- **تفاعل ديوترون – بروتون Reaction (d,P)**

يعتبر هذا النوع من التفاعل طارد للحرارة والنواة الناتجة من التفاعل عبارة عن نظير للنواة النتفاعلة مثل:

$$^{23}_{11}Na + ^{2}_{1}H \longrightarrow [^{25}_{12}Mg]^{*} \longrightarrow ^{24}_{11}Na + ^{1}_{1}H$$

$$^{31}_{15}P + ^{2}_{1}H \longrightarrow [^{33}_{16}S]^{*} \longrightarrow ^{32}_{15}P + ^{1}_{1}H$$

- **تفاعل ديوترون – نيوترون Reaction (d,n)**

من أمثلة هذا النوع من التفاعل ما يلي:

$$^{12}_{6}C + ^{2}_{1}H \quad [^{14}_{7}N]^{*} \quad ^{13}_{7}N + ^{1}_{0}n$$

$$^{9}_{4}Be + ^{2}_{1}H \quad [^{11}_{9}B]^{*} \quad ^{10}_{5}B + ^{1}_{0}n$$

رابعا: تفاعلات ألفا α- Reaction

يوجد نوعين فقط من تفاعل ألفا يكون الناتج فيهما إما نيوترون أو بروتون وهما:

- **تفاعل ألفا – نيوترون (α,n) Reaction**

من أمثلة هذا النوع من التفاعل ما يلي:

$$^{27}_{13}Al + {}^{4}_{2}He \longrightarrow [^{31}_{15}P]^{*} \longrightarrow {}^{30}_{15}P + {}^{1}_{0}n$$

$$^{23}_{11}Na + {}^{4}_{2}He \longrightarrow [^{27}_{13}Al]^{*} \longrightarrow {}^{26}_{13}Al + {}^{1}_{0}n$$

- **تفاعل ألفا – بروتون (α, P) Reaction**

مثال هذا التفاعل ما يلي:

$$^{17}_{13}Al + {}^{4}_{2}He \longrightarrow [^{31}_{15}P]^{*} \longrightarrow {}^{30}_{14}Si + {}^{1}_{1}H$$

خامسا: تفاعلات بأشعة كاما γ- Reaction

من تفاعلات أشعة جاما النووية تفاعل جاما – نيوترون (γ,n) Reaction ومن أمثلة هذا التفاعل:

$$^{9}_{4}Be + \gamma \longrightarrow [^{9}_{4}Be]^{*} \longrightarrow {}^{8}_{4}Be + 1_{0}n$$

$$^{31}_{15}P + \gamma \longrightarrow [^{31}_{15}P]^{*} \longrightarrow {}^{30}_{15}P + {}^{1}_{0}n$$

وعندما تكون طاقة أشعة جاما عالية يمكن حدوث تفاعل جاما – بروتون (γ,P) Reaction .

٣.٥. تفاعل الإشعاع مع المادة

يعتمد فهمنا لطبيعة الأشعة النووية على معرفة كيفية تفاعل هذه الأشعة مع المادة. وتعتبر هذه المعرفة ضرورية في إنشاء وإستخدام الكواشف الإشعاعية وأجهزة القياس وفي التطبيقات المتنوعة للأشعة في العلوم والطب والصناعة والزراعة. وتنقسم الأشعة إلى أربعة أنواع هي:

١- جسيمات مشحونة ثقيلة مثل: جسيمات ألفا والديوترونات $^{2}_{1}H$ والبروتونات ونوى الذرات الخفيفة.
٢- جسيمات مشحونة خفيفة وهي الإلكترونات e^{-} والبوزيترونات e^{+} .
٣- أجسام غير مشحونة مثل النيوترونات.
٤- أشعة كهرومغناطيسية مثل أشعة جاما وأشعة إكس.

وجميع هذه الاشعة لها القدرة على إحداث تأين لذرات المادة التي تمر خلالها ولذلك تسمى بالأشعة المؤينة.

أولا: تفاعل الجسيمات المشحونة الثقيلة مع المادة:

عندما يتم التصادم بين جسيم ثقيل مشحون بذرة المادة، فإنه يكسبها جزء من طاقته تكفي لإثارتها أو تأينها، وإذا كانت كمية الطاقة المكتسبة أكبر من طاقة التأين فإن الإلكترون المتحرر ينطلق بطاقة حركية تساوي الفرق بين الطاقتين.

طاقة حركة الإلكترون = الطاقة المكتسبة – طاقة التأين

ثانيا: تفاعل الجسيمات الخفيفة مع المادة:

أ-فقد الطاقة بالتصادم: عندما تكون طاقة الإلكترونات أو البوزيترونات صغيرة تفقد هذه الإلكترونات طاقتها في إثارة أو تأين ذرات المادة. ونظرا لصغر كتلة الإلكترون تكون سرعته عالية نسبيا لسرعة جسيمات ألفا التي لها نفس الطلقة. وهذا يؤدي ألى إنخفاض إحتمال التأين لأن زمن تواجد الإلكترون بالقرب من الذرة صغير جدا

ب-فقد الطاقة بالإشعاع: عندما تكون طاقة الإلكترون عالية فعند سقوطه على المادة يتعرض الإلكترون للمجال الكهربي لشحنة النواة أو الإلكترونات فينتج تغير حاد في سرعة الإلكترون أثناء سيره في المادة، أي أنه يفقد جزء من طاقته الحركية التي تتحول إلى أشعة كهرومغناطيسية. ويتم تفاعل البوزيترون مع المادة نفس الطريقة لتفاعل الإلكترون مع المادة إلا أنه عندما يفقد البوزيترون طاقته يكون هناك إحتمال لأسر البوزيترون بواسطة أحد الإلكترونات في الوسط ومن ثم فنائهما وإنبعاث فوتونين طاقة كل منهما تساوي 0.511 Mev وهي عبارة عن أشعة كهرومغناطيسية تسمى أشعة الفناء Annihilation Radiation.

ثالثا: تفاعل الجسيمات غير المشحونة مع المادة:

لا يحدث التفاعل مع الإلكترونات في هذا التفاعل تفقد الجسيمات غير المشحونة (النيوترونات) طاقتها بواسطة:

١-التصادم مع الأنوية الخفيفة (التصادم المرن):

تتناسب كمية فقد الطاقة عكسيا مع كتلة النواة، فكلما زادت كتلة النواة قلت الطاقة المنتقلة، لذلك يعتبر الهيدروجين أنسب المواد التي تفقد عليها النيوترونات طاقتها، ولذلك يستخدم الهيدروجين أو المواد الغنية به مثل البارافين (الشمع) في تهدئة النيوترونات في المفاعلات النووية.

٢-الأسر النيوتروني:

وهو يحدث مع النيوترونات ذات الطاقة المنخفضة حيث يتم أسر النيوترون بواسطة نواة المادة، وتتكون نواة جديدة (نظير) وتنبعث أشعة جاما (تفاعل(n,γ)).

رابعا: تفاعل الأشعة الكهرومغناطيسية مع المادة (أشعة كاما):

تتفاعل أشعة كاما مع المادة بإحدى الطرق الثلاث الآتية:

أ-تفاعل إلكتروضوئي Photoelectric Effect

وتسمى الظاهرة الإلكتروضوئية، وفي هذا التفاعل يتفاعل الفوتون (أشعة جاما) مع أحد الإلكترونات المرتبطة بالذرة أي مع أحد الإلكترونات في المستويات الداخلية للذرة فيختفي الفوتون تماما ويظهر الإلكترون الذري منطلق ويسمى الإلكترون الضوئي ويحمل طاقة تساوي الفرق بين طاقة الفوتون الساقط وطاقة ربط الإلكترون بالذرة.

$$E_e \text{ (Energy of electron)} = E_\gamma - B E_e$$

حيث أن BE_e هي طاقة ربط الإلكترون بالذرة و E_γ هي طاقة أشعة كاما.

ويملأ المكان الشاغر للإلكترون المنبعث بواسطة إلكترونات من المدارات الخارجية للذرة ويتبع ذلك إنبعاث أشعة إكس المميزة للعنصر.

ب-أثر كومبتون Compton effect

وهو تفاعل أشعة جاما مع الإلكترونات الحرة للذرة (إلكترونات المدار الأخير). وفي هذا التفاعل يتشتت الشعاع الساقط أي يتغير إتجاهه، وتقل طاقته بمقدار ما يعطى للإلكترون من طاقة وينطلق هذا الإلكترون بطاقة E.

$$E = E_\gamma - E_\gamma^-$$

حيث E_γ طاقة أشعة جاما الساقطة و E_γ^- هي طاقة أشعة جاما بعد التشتت (الإنحراف).

ج-إنتاج الأزواج Pair Production

عندما يتفاعل الفوتون (أشعة جاما) مع النواة يختفي تماما هذا الفوتون ويظهر بدلا عنه إلكترون وبوزيترون e^-, e^+ ، وتحدث هذه الظاهرة عندما تكون طاقة جاما الساقطة أكبر من 1.022 Mev، وبعد ١ذلك يفقد كل من الإلكترون والبوزيترون طاقتهما الحركية نتيجة للتصادمات المتتابعة مع الذرات حتى يصلا إلى السكون. ويتفاعل الإلكترون مع البوزيترون ويكونا فوتونين طاقة كل منهما 0.511Mev (أشعة الفناء).

الاستخدامات الطبية للنظائر المشعة

تستخدم النظائر المشعة في الطب لأغراض التشخيص و العلاج فأعراض التشخيص الطبي تعطي للمريض كمية صغيرة من مركب يحتوي على نظير مشع . وبما ان لهذه المركبات التي تحتوي على النظائر المشعة الخواص الكيميائية نفسها التي نعرفها للمركبات التي لا تحتوي على النظائر المشعة ، فأنها تتجمع في الاماكن نفسها التي تتجمع فيها المركبات غير المشعة ، وبذلك تمكن الاطباء المختصين من الكشف على اماكـن تجمعها . و للنظائر او المركبات المحتوية على نظائر المشعة المطلقة لاشعة غاما (γ) قيمة في الطب النووي اكثر من تلك المطلقة لدقائق (α) و (β) ، وذلك لسهولة الكشف عن اشعة غاما بعكس (α) و (β) لان ليس لها القدرة على اختراق انسجة الجسم من الداخل الى الخارج . و تستعمل نظائر ذات اعمار قصيرة حتى تضمن عدم تعرض المريض لقدر كبير من الاشعاع . و من اهم النظائر المستعملة في الطب النووي ما يلي :

1. **اليود I^{131}** :يطلق هذا النظير اشعة غاما و دقائق بيتا ، وله نصف عمر يساوي ثمانية ايام ، وهو يعطى عن طريق الفم على شكل محلول يوديد الصوديوم وذلك لفحص نشاط الكبد و الكلية و الغدة الدرقية . حيث ان ايون اليوديد يتركز في الغدة الدرقية ، مما يفيد في الكشف عن مشاكل هذه الغدة . ومن المعروف ان الغدة الدرقية تفرز هرمونات وظيفتها تنظيم التغيرات الكيميائية التي تطرأ على المواد الغذائية التي تؤمن الطاقة الضرورية للعمليات و للنشاطات الحيوية . فاذا كان نشاط الغدة الدرقية اعلى من الوضع الطبيعي مما يؤدي الى ضعف الانسان و انخفاض وزنه . اما اذا كان للغدة الدرقية نشاط اقل من النشاط الطبيعي ، فان التغييرات الكيميائية الحيوية تكون اقل من الوضع الطبيعي ، ويمكن معرفة نشاط الغدة الدرقية من خلال استهلاك ايونات اليوديد . الغدة الدرقية ذات النشاط الطبيعي تخزن 12 % من اليود I^{131} في خلال ساعات . فاذا كان التجمع اكثر من 12 % فان التشخيص يدل على الحالة الاولى و يساعد على علاجها اعطاء جرعات كبيرة من I^{131} لأتلاف بعض خلايا الغدة الدرقية . ويمكن الكشف عن نشاط الكبد وذلك باستخدام مركب خاص وهو احد الاصبغة . لذا يمكن دراسة نشاط الكبد بتتبع افراز المركب و ذلك بالكشف عن اليود I^{131} المشع .

2. **الكوبلت Co^{60}** : نصف العمر له 5.3 سنة و يطلق اشعة غاما و دقائق بيتا ، ويستعمل في جهاز قنبلة الكوبلت التي تطلق اشعة غاما لمعالجة الاورام السرطانية و القضاء عليها . ويمكن التخلص من دقائق بيتا بواسطة لوحة رقيقة من الالمنيوم توضع امام المصدر حيث يسمح بمرور اشعة غاما بينما تمتص دقائق بيتا .

3. **الفسفور P^{32} :** هو نظير مطلق لدقائق بيتا وله نصف عمر يساوي 14.3 يوما و يستخدم على شكل ملح فوسفاتي حين معالجة اللوكيميا و سرطان النخاع العظمي حيث ان املاح الفوسفات تتركز في العظام التي يدخل في تركيبها الفوسفور .